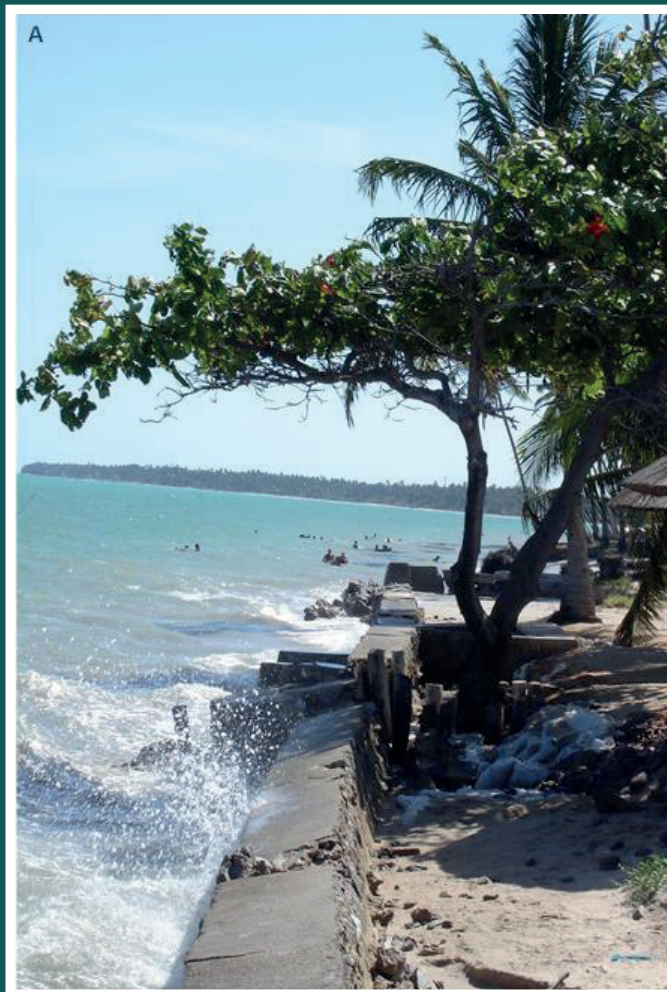


BIOSSALINIDADE

PRODUÇÃO DE ALIMENTOS E PRODUTOS AGROINDUSTRIAIS

PEDRO DANTAS FERNANDES
CLAUDIVAN FEITOSA LACERDA
HANS RAJ GHEYI
MARIA BETÂNIA GALVÃO DOS SANTOS FREIRE
(Organizadores)





UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA

Profª. Célia Regina Diniz (Reitora)

Profª. Ivonildes da Silva Fonseca (Vice-Reitora)



EDITORA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA

Cidoval Moraes de Sousa (Diretor)

CONSELHO EDITORIAL

Alessandra Ximenes da Silva (UEPB)

Alberto Soares de Melo (UEPB)

Antonio Roberto Faustino da Costa (UEPB)

José Etham de Lucena Barbosa (UEPB)

José Luciano Albino Barbosa (UEPB)

Melânia Nóbrega Pereira de Farias (UEPB)

Patrícia Cristina de Aragão (UEPB)

EXPEDIENTE EDUEPB

Erick Ferreira Cabral (Design Gráfico e Editoração)

Jefferson Ricardo Lima A. Nunes (Design Gráfico e Editoração)

Leonardo Ramos Araujo (Design Gráfico e Editoração)

Elizete Amaral de Medeiros (Revisão Linguística)

Antonio de Brito Freire (Revisão Linguística)

Danielle Correia Gomes (Divulgação)

Efigênio Moura (Comunicação)

Carlos Alberto de Araujo Nacre (Assessoria Técnica)

Thaise Cabral Arruda (Assessoria Técnica)

Walter Vasconcelos (Assessoria Técnica)



EDITORA INDEXADA NO SCIELO DESDE 2012



EDITORA FILIADA A ABEU

EDITORA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA

Rua Baraúnas, 351 - Bairro Universitário - Campina Grande-PB - CEP 58429-500

Fone: (83) 3315-3381 - <http://eduepb.uepb.edu.br> - email: eduepb@uepb.edu.br

Pedro Dantas Fernandes
Claudivan Feitosa Lacerda
Hans Raj Gheyi
Maria Betânia Galvão dos Santos Freire
(Organizadores)

BIOSSALINIDADE

PRODUÇÃO DE ALIMENTOS E PRODUTOS AGROINDUSTRIAIS



Campina Grande-PB | 2024



**INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM AGRICULTURA
SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO TROPICAL**

Departamento de Engenharia Agrícola/CCA/Universidade Federal do Ceará,
Campus do Pici, Bloco 804 - CEP 60440-554 - Fortaleza-CE, Brasil

Fone: (85) 3366-9754 - Website: <https://inctagris.com.br/>

email: inctagris.coordenacao@ufc.br

Depósito legal na Câmara Brasileira do Livro - CDL

B616 Biossalinidade [recurso eletrônico] : produção de alimentos e produtos agroindustriais / organização de Pedro Dantas Fernandes ... [et al.] ; apresentação de Cidoval Moraes de Sousa ; prefácio de Jorge F. S. Ferreira. – Campina Grande : EDUEPB, 2024.
765 p. : il. color. ; 25 x 28 cm.

ISBN: 978-85-7879-995-3 (Impresso)

ISBN: 978-85-7879-990-8 (Epub)

ISBN: 978-85-7879-991-5 (PDF)

1. Agricultura Sustentável. 2. Culturas Agrícolas. 3. Semiárido Brasileiro. I. Fernandes, Pedro Dantas. II. Lacerda, Claudivan Feitosa. III. Gheyi, Hans Raj. IV. Freire, Maria Betânia Galvão dos Santos. V. Título.

21. ed. CDD 631.584

Ficha catalográfica elaborada por Fernanda Mirelle de Almeida Silva – CRB-15/483

RESPONSABILIDADE - O conteúdo expresso em todos os Capítulos é da inteira responsabilidade dos respectivos Autores.

Copyright © **EDUEPB**

A reprodução não-autorizada desta publicação, por qualquer meio, seja total ou parcial, constitui violação da Lei nº 9.610/98.

AGRADECIMENTOS

A elaboração do livro **BIOSSALINIDADE - PRODUÇÃO DE ALIMENTOS E PRODUTOS AGROINDUSTRIAIS** foi possível graças à junção harmoniosa de pesquisadores, atuantes na investigação científica sobre salinidade, nos mais diversos ramos da ciência, vinculados a renomadas instituições brasileiras e de outros países. Sem esses autores e suas instituições de origem, a publicação desta obra não teria sido concretizada, portanto, nossos sinceros agradecimentos a todos. Constitui a primeira grande contribuição do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Agricultura Sustentável no Semiárido Tropical (INCTAgriS/CNPq/ FUNCAP/CAPES) para a disseminação de conhecimento sobre o tema **BIOSSALINIDADE - SEMIÁRIDO**, numa ação conjunta com a Editora da Universidade Estadual da Paraíba - EDUEPB. Os Organizadores agradecem, também, ao CNPq, à CAPES e às Agências Estaduais de Fomento, pelo financiamento das pesquisas que possibilitaram os estudos desenvolvidos pelos autores dos diversos capítulos do livro. Por fim, não é possível deixar de agradecer a todos os agricultores e às empresas que permitiram e permitem a realização de pesquisas sobre agricultura bioessalina em suas propriedades, para o bem de toda a comunidade produtora do semiárido tropical.

ORGANIZADORES

PEDRO DANTAS FERNANDES - pedrodantasfernandes@gmail.com

*Bolsista de Produtividade em Pesquisa 1B
Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola
Centro de Tecnologia em Recursos Naturais
Universidade Federal de Campina Grande, PB, Brasil*

CLAUDIVAN FEITOSA LACERDA - cfeitosa@ufc.br

*Bolsista de Produtividade em Pesquisa 1C
Departamento de Engenharia Agrícola
Centro de Ciências Agrárias
Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil*

HANS RAJ GHEYI - hgheyi@gmail.com

*Bolsista de Produtividade em Pesquisa 1A
Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola
Centro de Tecnologia em Recursos Naturais
Universidade Federal de Campina Grande, PB, Brasil*

MARIA BETÂNIA GALVÃO DOS SANTOS FREIRE - maria.freire@ufrpe.br

*Bolsista de Produtividade em Pesquisa 2
Departamento de Agronomia
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, Brasil*

Campina Grande, julho de 2024

APRESENTAÇÃO

Cidoval Morais de Sousa

Diretor da Eduepb

O livro **BIOSSALINIDADE - PRODUÇÃO DE ALIMENTOS E PRODUTOS AGROINDUSTRIAIS** desponta como uma obra de grande relevância para o contexto brasileiro e internacional, ao abordar uma das maiores problemáticas da atualidade: como produzir alimentos de forma sustentável, em regiões áridas e semiáridas, onde a escassez de água e a alta tendência de salinização dos solos representam enormes desafios. Com a colaboração de pesquisadores de destaque e instituições renomadas, este livro se posiciona como uma contribuição pioneira para a biossalinidade e propõe novas abordagens para a produção agrícola e agroindustrial, adaptadas às condições adversas e respeitando o equilíbrio ambiental.

A relação direta entre os temas abordados no livro e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 é clara. Um dos seus principais objetivos é explorar alternativas sustentáveis para a agricultura, oferecendo soluções que contribuem para a segurança alimentar (ODS 2 - Fome Zero e Agricultura Sustentável) e para a preservação de recursos hídricos (ODS 6 - Água Potável e Saneamento). A proposta de utilizar águas salobras e solos salinizados na produção agrícola, sem demandar o consumo excessivo de água doce, é essencial para regiões como o semiárido brasileiro, onde a escassez hídrica é uma realidade que impacta, diretamente, a vida das populações locais e a produção de alimentos.

A obra está dividida em três grandes seções, com abordagens sobre diferentes aspectos da biossalinidade. A primeira seção explora os conceitos básicos e os mecanismos naturais que permitem às plantas sobreviverem em ambientes salinos. Esse conhecimento é crucial, pois define os fundamentos para o desenvolvimento de tecnologias e práticas agrícolas adaptadas à salinidade. Para a sustentabilidade, o entendimento desses mecanismos é um passo fundamental, ao possibilitar a gestão inteligente dos recursos e promover a resiliência das culturas agrícolas.

Na segunda seção, o livro se debruça sobre aplicações práticas da biossalinidade na agricultura. Este é o ponto em que as pesquisas apresentadas se alinham com o ODS 15 (Vida Terrestre), ao valorizar a utilização de plantas halófitas (tolerantes à salinidade) em solos degradados. Ao propor o uso dessas espécies para fins agrícolas, o livro reforça a importância da restauração dos ecossistemas e da preservação dos recursos naturais. Culturas como a de abacaxi, coco, citros e de outras frutas tropicais, além do cultivo de hortaliças, são estudadas com o intuito de avaliar a viabilidade econômica de sua produção em condições

de salinidade elevada, com incentivos a práticas de produção responsável e consciente, que reduzem a necessidade de insumos externos e preserva os solos.

A terceira seção aborda os aspectos econômicos e técnicos da bioassalinidade, ao explorar as possibilidades de tornar a agricultura, em solos salinizados, uma prática economicamente viável. Ao orientar que agricultores utilizem suas terras de maneira produtiva, mesmo em condições adversas, a bioassalinidade também promove a geração de renda e oportunidades de trabalho nas comunidades locais, diretamente relacionadas ao ODS 8 (Trabalho Decente e Crescimento Econômico). O livro propõe que, ao incorporar técnicas de agricultura salina, o semiárido brasileiro possa não apenas sustentar suas populações, mas também contribuir para a economia regional de maneira sustentável e duradoura.

Ao longo do livro, fica evidente o compromisso dos autores com a sustentabilidade, não apenas no contexto da produção agrícola, mas, também, no que se refere à conservação ambiental e ao bem-estar das comunidades afetadas pelas mudanças climáticas e pela degradação dos solos. A obra destaca a necessidade de um manejo sustentável dos recursos naturais e mostra como a inovação e a ciência podem se tornar aliadas importantes na adaptação aos desafios que o Brasil e o mundo enfrentarão nas próximas décadas.

‘Bioassalinidade - Produção de Alimentos e Produtos Agroindustriais’ é uma obra que dialoga diretamente com a Sustentabilidade e os ODS da Agenda 2030, oferecendo soluções práticas e embasadas para um desenvolvimento duradouro que se adapte às particularidades do semiárido brasileiro. Ela incentiva práticas que respeitam os limites ecológicos e promovem o desenvolvimento econômico e social de regiões vulneráveis, fortalecendo a resiliência das comunidades e contribuindo para um futuro mais equilibrado e sustentável para todos.

SUMÁRIO

PREFÁCIO	13
<i>Jorge F.S. Ferreira</i>	

SEÇÃO A **BIOSSALINIDADE ASPECTOS BÁSICOS**

BIOSSALINIDADE: CONCEITOS E APLICAÇÕES	19
<i>Claudivan Feitosa de Lacerda, Pedro Dantas Fernandes, Hans Raj Gheyi, Maria Betânia Galvão dos Santos Freire, Jonnathan Richeds da Silva Sales, Aiala Vieira Amorim, Márcio Henrique da Costa Freire</i>	

ECOFISIOLOGIA DE HALÓFITAS	51
<i>Oriel Herrera Bonilla, César Serra Bonifácio Costa, Eliseu Marlônio Pereira de Lucena</i>	

MECANISMOS DE TOLERÂNCIA À SALINIDADE EM GLICÓFITAS	77
<i>Rafael de Souza Miranda, Lineker de Sousa Lopes, Humberto Henrique de Carvalho, Rosilene Oliveira de Mesquita, Enéas Gomes-Filho</i>	

MICROORGANISMOS E SALINIDADE	121
<i>Giselle Gomes Monteiro Fracetto, Felipe José Cury Fracetto, Cintia Caroline Gouveia da Silva, William Ramos da Silva, Nayara Rose da Conceição</i>	

SEÇÃO B

BIOSSALINIDADE E AGRICULTURA

OLEAGINOSAS: ALGODÃO, AMENDOIM E GERGELIM 145

Geocleber Gomes de Sousa, Geovana Ferreira Goes, Márcio Henrique da Costa Freire, Henderson Castelo Sousa, Carla Ingryd Nojosa Lessa, Jonnathan Richeds da Silva Sales, Maria Vanessa Pires de Souza, José Thomas Machado de Sousa, Claudivan Feitosa de Lacerda

ABACAXI 171

Domingo Haroldo Reinhardt, Pedro Dantas Fernandes, Hans Raj Gheyi, Miguel Barreiro Neto

ANONÁCEAS - PINHA E GRAVIOLA 189

Francisco Vanies da Silva Sá, Tayd Dayvison Custódio Peixoto, Geovani Soares de Lima, André Alisson Rodrigues da Silva, Luderlândio de Andrade Silva, Hans Raj Gheyi

CANA-DE-AÇÚCAR 215

Francisco de Assis da Silva, Mirandy dos Santos Dias, Cassiano Nogueira de Lacerda, Idelvan José da Silva, Carlos Henrique de Azevedo Farias, Josely Dantas Fernandes, Carlos Henrique Salvino Gadelha Meneses, Alberício Pereira de Andrade, Pedro Dantas Fernandes

CITROS 239

Marcos Eric Barbosa Brito, Walter dos Santos Soares Filho, Pedro Dantas Fernandes

DWARF GREEN COCONUT 277

Miguel Ferreira-Neto, José Simplicio de Holanda, Hans Raj Gheyi, Francisco José Loureiro Marinho, Elton Camelo Marques, Pedro Dantas Fernandes, Claudivan Feitosa de Lacerda, Jorge Freire da Silva Ferreira, Breno Leonan de Carvalho Lima, Francisco Vanies da Silva Sá

CUCURBITÁCEAS MELÃO, MELANCIA E ABOBRINHA 301

Tayd Dayvison Custódio Peixoto, Francisco Vanies da Silva Sá, Miguel Ferreira Neto, Rômulo Carantino Lucena Moreira, Francisco de Assis de Oliveira, Nildo da Silva Dias

FEIJÃO-CAUPI (<i>Vigna unguiculata</i> L. Walp.)	333
<i>Alberto Soares de Melo, Claudivan Feitosa de Lacerda, Rosilene Oliveira Mesquita, Rener Luciano de Souza Ferraz, Rômulo Carantino Lucena Moreira, Igor Eneas Cavalcante, Yuri Lima Melo, Antônia Leila Rocha Neves, Hans Raj Gheyi</i>	
FLORES, PLANTAS ORNAMENTAIS E PAISAGISMO	357
<i>Alan Bernard Oliveira de Sousa, Claudivan Feitosa de Lacerda, Antônia Leila Rocha Neves, Alberto Soares de Melo, Jorge Freire da Silva Ferreira, Francisco Mardones Sérvulo Bezerra, Carla Ingryd Nojosa Lessa, Wiliana Júlia Ferreira de Medeiros, Hans Raj Gheyi</i>	
PLANTAS TOLERANTES A SAIS E SEU POTENCIAL ECONÔMICO PÓS REMEDIAÇÃO DE SOLOS SALINOS E SÓDICOS	379
<i>Gabriel Henrique Maximo Clarindo Silva, Clarissa Buarque Vieira, Jorge Freire da Silva Ferreira, Josimar Gurgel Fernandes, Maria Betânia Galvão dos Santos Freire</i>	
FORRAGENS PARA RUMINANTES	417
<i>Gherman Garcia Leal de Araújo, Fleming Sena Campos, Edson Mauro Santos, Juliana Silva de Oliveira</i>	
HORTALIÇAS CULTIVO HIDROPÔNICO	441
<i>Alide Mitsue Watanabe Cova, Mairton Gomes da Silva, Petterson Costa Conceição Silva, José Amilton dos Santos Júnior, Tales Miler Soares, Hans Raj Gheyi</i>	
MARACUJÁ-AMARELO	471
<i>Lourival Ferreira Cavalcante (In memoriam), Ítalo Herbert Lucena Cavalcante, Marlene Alexandrina Ferreira Bezerra, Antônio Gustavo de Luna Souto, Francisco Thiago Coelho Bezerra</i>	
PLANTAS MEDICINAIS EM AMBIENTES SALINOS	505
<i>Ana Laura de Cabral Sobreira, Diégina Araújo Fernandes, Pedro Isaac Vanderlei de Souza, Ieda Maria Bortolotto, Geraldo Alves Damasceno Júnior, Maria de Fátima Vanderlei de Souza</i>	
CULTIVOS ALTERNATIVOS PARA A AGRICULTURA EM AMBIENTES SALINOS NO SEMIÁRIDO	541
<i>Luiz Guilherme Medeiros Pessoa, Maria Betânia Galvão dos Santos Freire, Josimar Gurgel Fernandes, Clarissa Buarque Vieira, Tiago Cavalcante da Silva, Fernando José Freire</i>	

CULTIVOS BLOSSALINOS EM ÁREAS COSTEIRAS 571

*Pedro Dantas Fernandes, Claudivan Feitosa Lacerda, Hans Raj Gheyi,
Maria Betânia Galvão dos Santos Freire, Rennan Fernandes Pereira*

SEÇÃO C

**BLOSSALINIDADE - ASPECTOS TÉCNICOS E
ECONÔMICOS**

SALINIDADE E SEMENTES 623

*Riselane de Lucena Alcântara Bruno, Karialane da Silva Belarmino, Edna Ursulino Alves,
Lucas Kennedy Silva Lima, Onildo Nunes de Jesus, Jackson Silva Nóbrega,
Alberício Pereira de Andrade, Eva Maria Rodrigues Costa, Idália Souza dos Santos*

SALINITY AND FOOD QUALITY 659

*Matheus Augusto de Bittencourt Pasquali, Iara Bezerra de Oliveira,
Shênia Santos Monteiro*

SALINIDADE E O EFEITO SOBRE DOENÇAS E PRAGAS 675

*Élida Barbosa Corrêa, Jéssica Karina da Silva Pachú, Halanna Campos Porto,
Ramon Quaresma Zeferino*

SISTEMAS DE MICROIRRIGAÇÃO PARA USO DE ÁGUAS SALINAS 701

*Antonio Pires de Camargo, José Antônio Frizzone, José Dantas Neto,
Vera Lúcia Antunes de Lima*

**ASPECTOS ECONÔMICOS E SUSTENTABILIDADE DA AGRICULTURA
BLOSSALINA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO** 739

*José Antônio Frizzone, Raimundo Nonato Távora Costa, José Dantas Neto,
Vera Lúcia Antunes de Lima*

PREFÁCIO

Em regiões de clima árido e semiárido, onde a irrigação com água de boa qualidade é escassa e onerosa, a irrigação suplementar ainda é viável. No entanto, as fontes de água disponíveis geralmente apresentam baixa qualidade e altos níveis de salinidade, os quais ultrapassam os limites toleráveis pelas principais culturas agrícolas. Práticas de adubação e irrigação recomendadas para uma cultura, baseadas em conceitos pré-estabelecidos em solos e com água não salina, não se aplicam quando a cultura é conduzida em solos afetados por sais e/ou com irrigação salina. Seguir tais práticas, onde o solo ou a água (ou ambos) são salinos, resultaria em um desperdício de fertilizantes e de água, já que as plantas não absorveriam parte da água salina e dos fertilizantes nela dissolvidos. Entra em cena a biossalinidade.

A presente obra é um esforço conjunto de pesquisadores de diferentes instituições de pesquisa e ensino na elaboração do primeiro livro em biossalinidade no Brasil, o qual visa à produção de culturas agrícolas de uso alimentar e agroindustrial. A pesquisa em biossalinidade é importante, pois nossas principais culturas agrícolas foram melhoradas para aumentar sua produtividade em condições agrícolas ideais e não para tolerar o excesso de sais no solo e/ou na água de irrigação e, portanto, são inadequadas para sustentar a produção de alimentos em áreas de clima semiárido, onde as altas temperaturas, baixa umidade relativa e baixa pluviosidade exacerbam o estresse salino.

As informações contidas neste livro resultam de vários anos de experimentos controlados, conduzidos, apresentados e discutidos por pesquisadores competentes e sedimentados em diversas áreas da biossalinidade. Sua publicação vem atender a uma crescente demanda por informações sobre culturas agrícolas e suas cultivares mais tolerantes a solos e águas salinas. O momento não poderia ser mais propício devido à necessidade de alimentar uma população

em expansão e às atuais mudanças climáticas que resultam em temperaturas mais altas, secas frequentes e prolongadas e um sistema de chuvas errático que juntos ameaçam a segurança alimentar no planeta, principalmente em regiões áridas e semiáridas.

Este livro se insere no momento histórico em que se iniciam as atividades do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Agricultura Sustentável do Semiárido Tropical (INCTAgriS), fruto do esforço dos seus autores-pesquisadores. O grupo trabalhou no projeto deste livro sobre BIOSALINIDADE, desde o lançamento do Edital CNPq nº 58/2022, em 22/07/2022, quando submeteu a proposta do INCTAgriS ao CNPq. Os incansáveis esforços do grupo mantiveram um ideal que hora se consolida na primeira contribuição do INCTAgriS à Agricultura do Semiárido brasileiro: o livro BIOSALINIDADE – PRODUÇÃO DE ALIMENTOS E PRODUTOS AGROINDUSTRIAIS. O livro incorpora os objetivos do Instituto de *promover a divulgação do conhecimento técnico-científico, visando ao desenvolvimento da agricultura no semiárido brasileiro, com foco na sustentabilidade produtiva, alimentar, social, econômica e ambiental.*

O livro é apresentado numa linguagem científica clara e concisa que pode ser seguida por estudantes e profissionais da área de pesquisa, ensino e extensão. O conteúdo deste livro é de grande valor a estudantes e profissionais das áreas de agricultura e meio ambiente, pesquisa, extensão rural, legislação de financiamento à pesquisa e ao desenvolvimento e a outras áreas afins. O livro servirá de referência a professores e pesquisadores estrangeiros de língua portuguesa e espanhola lidando com semelhantes desafios na produção de alimentos e em busca de um livro de referência em pesquisa básica e aplicada que se molde a cursos de agronomia envolvendo biossalinidade e agricultura sustentável em regiões semiáridas.

O livro cobre vários tópicos e foi dividido em três seções relevantes dentro da biossalinidade – A: Aspectos Básicos - com 4 capítulos em conceitos básicos, ecofisiologia de plantas halófitas, mecanismos de tolerância em glicófitas e o efeito de microrganismos na adaptação de plantas à salinidade; B: Biossalinidade e Agricultura – com 16 capítulos envolvendo culturas agrícolas para a produção de alimentos (cucurbitáceas, feijão Vigna), fibras têxteis e óleos (algodão, amendoim, gergelim), frutas de preferência nacional (pinha, graviola, citros, abacaxi, maracujá e coco verde), bioenergia (cana de açúcar), paisagismo e ornamentação, produtos medicinais, forragens para animais, uso de plantas halófitas para fito-remediação de solos salinos, culturas alternativas para ambientes salinos do semiárido, cultivo hidropônico para a produção de hortaliças, culturas biossalinas para áreas costeiras; e C: Aspectos Técnicos e Econômicos – com 5 capítulos, abordando os efeitos da salinidade na germinação de sementes, na qualidade de alimentos, sobre pragas e doenças, sistemas de irrigação para uso de águas salinas e aspectos econômicos e de sustentabilidade da agricultura biossalina.

Parabenizo os professores e pesquisadores que contribuíram para esta obra e aos editores que perseguiram seu ideal de reunir colegas e colaboradores na organização desta coletânea de experiências em agricultura bioassalada que será de grande valia na busca da segurança alimentar e da sustentabilidade agrícola no planeta, principalmente em áreas de climas áridos e semiáridos.

Jorge F.S. Ferreira

*Research Plant Physiologist, Ph.D.
Agricultural Water Efficiency and Salinity Research Unit
(U.S. Salinity Laboratory, USDA-ARS).
Riverside, CA, USA*



SEÇÃO A
BIOSSALINIDADE
ASPECTOS BÁSICOS

BIOSSALINIDADE: CONCEITOS E APLICAÇÕES

Claudivan Feitosa de Lacerda^{1*}, Pedro Dantas Fernandes², Hans Raj Gheyi², Maria Betânia Galvão dos Santos Freire³, Jonnathan Richeds da Silva Sales¹, Aiala Vieira Amorim¹, Márcio Henrique da Costa Freire¹

RESUMO: Os primeiros cultivos sob condições de salinidade, ao longo da história, deveram-se à necessidade de sobrevivência de populações que habitavam regiões inóspitas. Hoje, a utilização de recursos salinos para diversos fins é uma realidade em muitos países. Entretanto, há, ainda, enormes desafios para a produção biossalina em regiões áridas e semiáridas, face a outras fragilidades ambientais e socioeconômicas desses ambientes. Neste capítulo, são abordados aspectos conceituais que serão úteis na compreensão do conteúdo deste livro, tais como: a definição de tolerância e dos aspectos práticos a ela associados, a classificação dos vegetais em halófitas e glicófitas, os conceitos relacionados à biossalinidade e a uma visão geral das aplicações da agricultura biossalina no mundo e no Brasil. Como são temas que despertam muito interesse, certamente serão revisitados em outros capítulos do livro, e não há intenção de termos aqui uma visão finalizada sobre eles.

Palavras-chave: Tolerância à salinidade, halófitas, glicófitas, agricultura biossalina, agricultura salina

1 Universidade Federal do Ceará - UFC, Fortaleza - CE, Brasil

2 Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande - PB, Brasil

3 Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Recife - PE, Brasil

* Autor correspondente: cfeitosa@ufc.br

BIOSALINITY: CONCEPTS AND APPLICATIONS

ABSTRACT: The first cultivations under saline conditions, throughout history, were due to the need for survival of populations that inhabited in inhospitable regions. Today, the use of saline resources is a reality in many countries, for various purposes. However, there are still enormous challenges for biosaline production in arid and semi-arid regions, given other environmental and socio-economic weaknesses in these environments. This chapter covers conceptual aspects that will be useful in understanding the content of this book, such as: the definition of tolerance and the practical aspects associated with it, the separation of plants between halophytes and glycophytes, concepts related to biosalinity, and a general overview of the applications of biosaline agriculture in the world and in Brazil. As these are topics that arouse a lot of interest, they will certainly be revisited in other chapters of the book, and there is no intention of having a finalized view of them here.

Keywords: Salt tolerance, halophytes, glycophytes, biosaline agriculture, saline agriculture

1 INTRODUÇÃO

Num contexto de recursos hídricos e edáficos abundantes e população global bem menor, a evolução da agricultura se baseou em produzir apenas em condições satisfatórias, com culturas exigentes em recursos naturais (solo e água) e sensíveis aos diversos fatores bióticos e abióticos. Atualmente, é evidente o desbalanço entre disponibilidade de recursos naturais, especialmente água e solo, e as demandas pela humanidade, que incluem agricultura, indústria, consumo humano, dentre outras. Esse problema tende a se exacerbar com as mudanças climáticas globais e com o aquecimento do planeta, que trazem dificuldades adicionais para a convivência do homem na Terra, tanto nas regiões costeiras como nas regiões continentais (IPCC, 2013; Marengo et al., 2017). Nesse contexto atual, a bioassalinidade é uma alternativa que pode contribuir para a sustentabilidade do planeta (Fernandes et al., 2016; Porto et al., 2019; Choukr-Allah & Ragab, 2023).

Os estudos e aplicações da bioassalinidade não são recentes (Hollaender et al., 1979; Qureshi & Barrett-Lennard, 1998; Grigore & Cojocariu, 2021), pois os primeiros cultivos sob condições de salinidade, ao longo da história, deveram-se à necessidade de sobrevivência de populações que habitavam regiões inóspitas. Hoje, a utilização de recursos salinos para diversos fins é uma realidade em muitos países. Entretanto, há, ainda, enormes desafios para a produção bioassalina em regiões áridas e semiáridas, face a outras fragilidades ambientais e socioeconômicas desses ambientes. Há, portanto, enormes desafios para a ciência, a inovação e a transferência de tecnologias que, uma vez vencidos, podem facilitar o desenvolvimento sustentável dessas regiões.

Neste capítulo, serão abordados aspectos conceituais, úteis para a compreensão do conteúdo deste livro, tais como, definição de tolerância e dos aspectos práticos a ela associados, classificação dos vegetais em halófitas e glicófitas, conceitos relacionados à bioassalinidade e a uma visão geral da aplicação da agricultura bioassalina no mundo e no Brasil. Pelo grande interesse dos temas abordados, muitos podem ser aprofundados em capítulos subsequentes a este.

2 TOLERÂNCIA À SALINIDADE

2.1 Tolerância x resistência

De acordo com Larcher (2000), o estresse representa um desvio significativo das condições ótimas para a vida, a resultar em mudanças e respostas, em todos os níveis do organismo, as quais são reversíveis, a princípio, mas podem se tornar permanentes. Mais recentemente, Galviz et al. (2022) e Silveira & Sousa (2024) definiram o estresse como o desdobramento da dinâmica de resposta da planta (dimensão temporal), em diferentes níveis de organização (dimensão espacial) a mudanças ambientais contínuas ou intermitentes, onde o resultado depende da memória adquirida ao longo do processo (componente de memória). De acordo

com esses autores, o estresse pode resultar em efeitos positivos, denominados de eustresse, ou efeitos negativos, chamados de distresse.

De acordo com os conceitos tradicionais apresentados por Levitt (1972) e Larcher (2000), considerados neste capítulo, as plantas podem apresentar resistência ou tolerância a fatores de estresse de duas formas, tolerando-os ou evitando-os. Ainda de acordo com esses autores, a resistência ao estresse ao longo da evolução tem sido mais eficiente em direção à aquisição de mecanismos que evitam o estresse do que mecanismos que toleram o estresse. Apesar dessa diferença conceitual, os termos resistência e tolerância são muitas vezes utilizados como sinônimos nos estudos da fisiologia do estresse em plantas.

E, em termos de estresse salino, como fica? Como está registrado no Agriculture Handbook 60, uma célebre publicação de 1954 (Richards, 1954), desde os primeiros estudos é mais utilizado o termo tolerância à salinidade. Inicialmente, buscavam-se plantas indicadoras da salinidade do solo, e, portanto, a tolerância era a capacidade de sobreviver em solos salinos. Posteriormente, passou-se a considerar, como critérios de tolerância, o rendimento absoluto e o rendimento relativo das culturas em solos salinos, sendo este último a base para o conceito de salinidade limiar, popularizado por Maas & Hoffman (1977), o qual será abordado posteriormente neste capítulo. Portanto, a tolerância à salinidade é definida como a capacidade de a planta suportar os efeitos do excesso de sais no ambiente radicular, não importando os tipos de mecanismos envolvidos.

Porém, assim como acontece com o estresse hídrico, as respostas adaptativas das plantas ao estresse salino se dão, predominantemente, por meio de mecanismos de evitar e não os de tolerar, visto que o metabolismo vegetal não suporta elevadas concentrações de sais (Greenway & Munns, 1980). De acordo com esses autores, os processos bioquímicos e fisiológicos de muitas halófitas podem ser tão sensíveis à salinidade quanto os das glicófitas. Nesse sentido, as glândulas de sais de halófitas, a suculência foliar, a ultrafiltração de sais nas raízes de plantas de mangue, o ajuste osmótico, a compartimentalização de sais nos vacúolos, são importantes mecanismos que evitam que elevadas concentrações de sais atinjam os sítios do metabolismo vegetal localizados no citosol e nas organelas celulares.

É importante salientar que as respostas das plantas ao estresse salino são avaliadas por estudiosos de diferentes áreas, desde a ecologia até a agronomia. Então, achar consenso em matéria conceitual é algo difícil, como veremos mais adiante com o próprio conceito de halófitas. Apesar disso, este livro segue a literatura internacional, que predominantemente utiliza o termo tolerância à salinidade (Taiz et al., 2017), mas reconhece a liberdade do pensamento filosófico e científico de cada estudioso que se debruça sobre esse tema.

2.2 Indicadores e métodos para definição da tolerância à salinidade

Os principais indicadores utilizados para avaliação da tolerância à salinidade são: sobrevivência, injúrias foliares, crescimento, produtividade e taxas de fotossíntese, além das análises visuais e qualitativas para o caso de estudos com plantas ornamentais (Soares Filho et al., 2016; Neves et al., 2018; Oliveira et al., 2018; Moore et al., 2019). Dentre esses

indicadores, a produção de biomassa e a produtividade das culturas são os que melhor expressam a tolerância à salinidade e que despertam maior interesse.

Dentre os métodos de avaliação da tolerância das plantas à salinidade, destacam-se: Maas & Hoffman (1977), Fageria (1985), e Miyamoto et al. (2004). Esses métodos podem ser aplicados na avaliação da tolerância à salinidade do solo ou da água de irrigação, e permitem identificar genótipos sensíveis, moderadamente sensíveis, moderadamente tolerantes e tolerantes. De modo geral, os melhores resultados ou resultados de referência são aqueles obtidos com o estudo durante todo o ciclo da cultura, incluindo a etapa de germinação. Aplicação em estádios posteriores ou em fase específica da cultura impossibilitam comparações de níveis de tolerância com estudos realizados desde a semeadura.

O método proposto pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (Maas & Hoffman, 1977) é o mais amplamente utilizado, tendo servido de base para as diretrizes da tolerância relativa das culturas publicadas no documento FAO 29 (Ayers & Westcot, 1999). Essa classificação utiliza valores de rendimento relativo das culturas e considera que as respostas da planta permanecem inalteradas até certo nível de salinidade, definido como salinidade limiar. A partir desse limite, as respostas decrescem de modo linear, até alcançarem o valor zero para a variável, sendo esse o limite máximo de sobrevivência da planta. Para utilização desse método é necessário, portanto, estudar as respostas da planta em faixa ampla de salinidade, de modo a se obter um platô (valor relativo em torno de 100%) e os valores precisos de salinidade limiar, queda percentual no rendimento e o limite de sobrevivência do genótipo.

A proposta metodológica de Mass & Hoffman (1977) é exemplificada utilizando-se dos dados da Tabela 1. Os dados indicam uma região de platô (sem queda no rendimento), seguida de decréscimo linear com o incremento da salinidade. Obtém-se, então, a equação linear original e a equação de Maas & Hoffman (1977).

Tabela 1. Dados de produtividade e rendimento relativo de uma cultura hipotética em função da condutividade elétrica da pasta saturada do solo (CEes)

CEes dS m ⁻¹	Produtividade kg ha ⁻¹	Rendimento relativo %
0,1	2000	100
1,0	2000	100
2,0	1980	99
3,0	2040	102
4,0	1960	98
5,0	2000	100
6,0	1860	93
7,0	1680	84
8,0	1440	72
9,0	1200	60
10,0	1060	53
11,0	880	44
12,0	620	31

A equação de Maas & Hoffman (1977) tem a seguinte estrutura, conforme consta na Figura 1:

$$Y = 100 - 10,179 (CE - SL)$$

Na equação acima, CE representa um valor qualquer de salinidade do solo ou da água de irrigação, acima da salinidade limiar (SL). Estima-se a salinidade limiar a partir da equação linear original (Figura 1), obtida com os pontos fora da região do platô, e o rendimento de 100%:

$$\begin{aligned} Y &= 154,04 - 10,179X \\ 100 &= 154,04 - 10,179X \\ 100 - 154,04 &= - 10,179X \quad (-1) \\ 10,179X &= 54,04 \\ x &= 5,3 \text{ dS m}^{-1} \text{ (salinidade limiar)} \end{aligned}$$

Para os dados da Tabela 1, tem-se a seguinte equação completa de Maas & Hoffman:

$$Y = 100 - 10,179 (CEes - 5,3)$$

Essa equação mostra que a redução no rendimento é de 10,179% para cada incremento de 1,0 dS m⁻¹ na condutividade elétrica do solo, acima da Salinidade Limiar (5,3 dS m⁻¹). O limite de sobrevivência é obtido pela equação de Maas & Hoffman (1977), considerando-se o rendimento igual a zero:

$$\begin{aligned} Y &= 100 - 10,179 (CEes - 5,3) \\ 0 &= 100 - 10,179 (CEes - 5,3) \\ 0 &= 100 + 54,04 - 10,179CEes \\ CEes &= 15,1 \text{ dS m}^{-1} \end{aligned}$$

A tolerância relativa com base nos valores de salinidade limiar do solo e da água de irrigação, estabelecidos por Maas & Hoffman (1977), estão apresentados na Tabela 2. Tabela de tolerância das principais culturas, incluindo a salinidade limiar e diminuição do rendimento relativo por aumento unitário da CEes e CEa podem ser vistos em: Maas & Hoffman (1977), Cruciani (1987), Ayers & Westcot (1999), Rhoades et al. (2000), Grieve et al. (2012) e Dias et al. (2016).

Figura 1. Proposta metodológica de Maas & Hoffman (1977) para a classificação de tolerância à salinidade. A. Rendimentos relativos hipotéticos obtidos em um teste de tolerância à salinidade. B. Aplicação do método de Mass & Hoffman (1977).

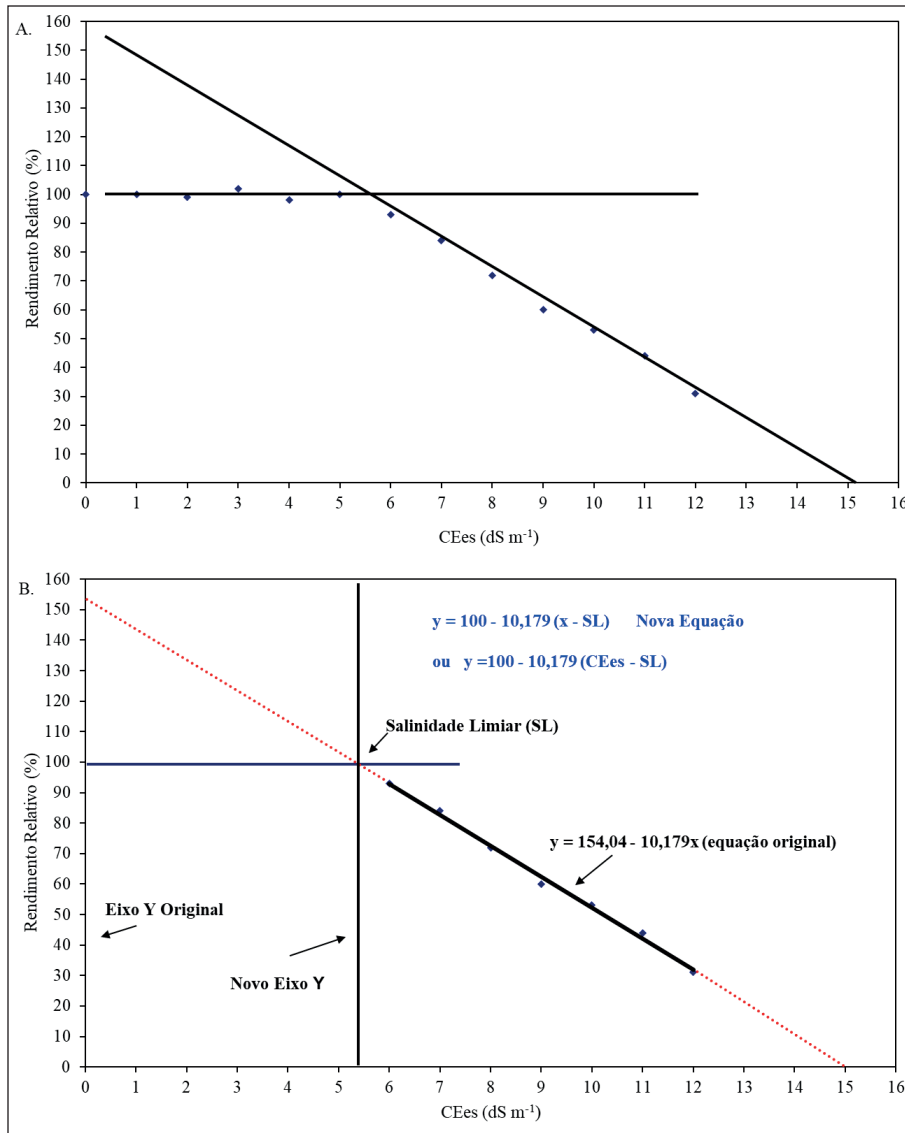


Tabela 2. Tolerância relativa das culturas e valores de salinidade limiar do solo e da água de irrigação

Tolerância relativa	Salinidade Limiar (dS m ⁻¹)	
	CEes	CEa
Sensível	< 1,3	< 0,9
Moderadamente sensível	1,3 a 3,0	0,9 a 2,0
Moderadamente tolerante	3,0 a 6,0	2,0 a 4,0
Tolerante	6,0 a 10,0	4,0 a 7,0

CEes = condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo; CEa = condutividade elétrica da água; considerou-se uma fração de lixiviação de 0,15, e a relação entre a CEes e CEa de irrigação em torno de 1,5, conforme Ayers & Westcot (1999).

É importante enfatizar a natureza metodológica dos limiares de salinidade do solo e da água. Uma análise preliminar poderia sugerir que as plantas são mais sensíveis à salinidade da água do que à do solo. Entretanto, note-se que é utilizada a condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo, naturalmente mais diluída do que o solo na capacidade de campo, por exemplo. Por outro lado, essa relação $CEes = CEa \times 1,5$ é válida quando há uma lixiviação entre 15 e 20% da água aplicada, conforme Ayers & Westcot (1999). Caso a irrigação seja realizada sem nenhuma fração de lixiviação, os limiares da água se tornam ainda menores.

A classificação proposta por Fageria (1985) foi inicialmente utilizada para identificar genótipos de arroz com diferentes graus de tolerância à salinidade. Esse método se baseia na redução relativa das variáveis de produção ou de crescimento, obtidas nos tratamentos salinos em relação a um tratamento de referência ou não salino. As plantas são classificadas como tolerantes (redução inferior a 20%), moderadamente tolerantes (20 a 40%), moderadamente sensíveis (40 a 60%) e sensíveis (> 60%). Esse método permite classificar cada genótipo para cada nível de salinidade, com base em valores crescentes de redução das variáveis estudadas (crescimento, produção etc.). Trata-se de um método mais simples que o anterior, pois pode ser empregado com grande número de genótipos e mesmo quando se utilizam poucos níveis de salinidade. Exemplos de aplicação desse método podem ser observados em Dantas et al. (2002), Soares Filho et al. (2016) e Bezerra et al. (2020). A Tabela 3 apresenta a classificação de Fageria (1985), utilizando-se dos mesmos dados da Tabela 1.

Tabela 3. Dados de produtividade, rendimento relativo, redução relativa e classificação da tolerância à salinidade (Fageria, 1985) de uma cultura hipotética

CEes	Produtividade	Rendimento relativo	Redução relativa	Classificação ¹
dS m ⁻¹	kg ha ⁻¹	%	%	
0,1	2000	100	0	T
1,0	2000	100	0	T
2,0	1980	99	1	T
3,0	2040	102	0	T
4,0	1960	98	2	T
5,0	2000	100	0	T
6,0	1860	93	7	T
7,0	1680	84	16	T
8,0	1440	72	28	MT
9,0	1200	60	40	MT
10,0	1060	53	47	MS
11,0	880	44	56	MS
12,0	620	31	69	S

¹ T = Tolerante; MT = Moderadamente tolerante; MS = Moderadamente sensível; e S = Sensível.

O método proposto por Miyamoto et al. (2004) teve como objetivo a obtenção de tabelas de tolerância à salinidade de vários tipos de culturas, as quais podem ser utilizadas por

horticultores e planejadores de paisagem, buscando-se identificar espécies adaptadas a áreas com problema de salinidade. Essa classificação é baseada na redução do crescimento (25%) ou danos causados às folhas (pelo menos 25% das folhas danificadas), levando-se em consideração a condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo (CEes). De acordo com esse critério, os autores classificaram as plantas dentro de cinco categorias: sensível (0 a 3 dS m⁻¹); moderadamente sensível (3 a 6 dS m⁻¹); moderadamente tolerante (6 a 8 dS m⁻¹); tolerante (8 a 10 dS m⁻¹); e altamente tolerante (>10 dS m⁻¹). Diferentemente do método de Fageria (1985), a proposta de Miyamoto et al. (2004) classifica os genótipos por faixa de salinidade, mantendo constante o valor de redução das variáveis estudadas.

Oliveira et al. (2018) adaptaram o método de Miyamoto et al. (2004) para estudo com plantas ornamentais sob irrigação com águas salobras, utilizando-se da produção de biomassa seca e dados qualitativos. Por se tratar de água de irrigação, considerou-se uma fração de lixiviação de 0,15, e relação entre a CEes e a condutividade elétrica da água (CEa) de irrigação em torno de 1,5 dS m⁻¹, porém, mantendo-se intervalos equidistantes. De acordo com esses critérios, foram definidas as seguintes categorias: sensível (CEa = 0 a 2 dS m⁻¹); moderadamente sensível (CEa = 2 a 4 dS m⁻¹); moderadamente tolerante (CEa = 4 a 6 dS m⁻¹); tolerante (CEa = 6 a 8 dS m⁻¹); e altamente tolerante (CEa >8 dS m⁻¹).

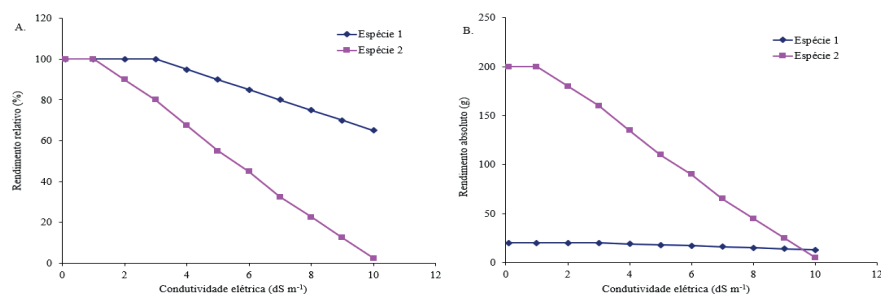
2.3 Tolerância relativa e absoluta

Os métodos de classificação descritos acima, trabalham com valores relativos, ou seja, têm como referência uma produção sob condições não salinas. Isso permite ter ideia geral sobre a resposta diferencial das espécies vegetais ou de genótipos de uma mesma espécie à salinidade do solo e da água. Essas classificações não apresentam informações sobre o que efetivamente a espécie ou cultivar produz em termos de biomassa, grãos, frutos etc. Obviamente, este é um conhecimento que se tem da maioria das culturas agrônômicas, mas há diferenças em função das condições de solo e de clima, por exemplo, além do genótipo utilizado no estudo.

Para esclarecer essa questão de produção relativa e absoluta, imagina-se uma condição extrema que é hipoteticamente apresentada na Figura 2 para produção de biomassa de duas espécies vegetais. Conforme os dados da figura, a espécie 1 é visivelmente mais tolerante à salinidade, com maior valor de salinidade limiar e alta capacidade de sobrevivência em elevados níveis de sais. Porém, quando se avalia a produção absoluta, verifica-se que a espécie 2 produz muito mais biomassa, exceto em níveis em torno de 10 dS m⁻¹. Por exemplo, se a salinidade do solo for de 4 dS m⁻¹, a espécie 2 (mais sensível) produz cerca de 4 vezes mais biomassa do que a espécie 1 (mais tolerante), e nesse caso a espécie mais sensível poderia ser a mais recomendada. Obviamente que o exemplo apresentado é uma condição extrema, para compreensão do conceito. Porém, resultados nessa direção podem, eventualmente, ser encontrados, quando são comparados genótipos cultivados (mais produtivos e mais sensíveis) com genótipos selvagens (menos produtivos e mais tolerantes) de uma mesma espécie. Por outro lado, esses materiais selvagens podem ser fontes de genes para incrementar a

tolerância à salinidade em espécies cultivadas, podendo-se obter genótipos mais tolerantes e com alto rendimento em níveis moderados de sais.

Figura 2. Rendimento relativo (A) e produção absoluta (B) de duas espécies hipotéticas em função da condutividade elétrica da água de irrigação.



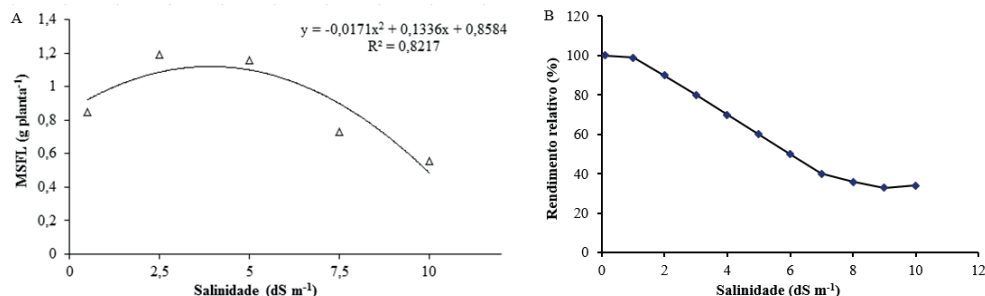
2.4 Respostas não lineares e estresses múltiplos: uma nova abordagem

Os métodos de avaliação da tolerância à salinidade, incluindo os de Maas & Hoffman (1977) e Fageria (1985), consideram que as demais condições abióticas estão em nível ótimo, principalmente a fertilidade do solo e o suprimento hídrico. Quando visto dessa forma isolada, podemos definir ou separar o estresse salino em dois principais componentes: osmótico e iônico. Desse modo, todos os efeitos sobre as plantas são associados exclusivamente aos sais, que promovem alterações na absorção de água e nos processos de absorção, transporte, assimilação e distribuição de nutrientes, provocando desordens fisiológicas que comprometem o desenvolvimento das culturas (Munns & Tester, 2008; Dias et al., 2016a; Prisco et al., 2016; Silveira et al., 2016; Taiz et al., 2017; Lacerda et al., 2021a).

O estresse salino isolado, conforme descrito acima, pode ser observado em cultivos hidropônicos com águas salobras (Alves et al., 2011) ou quando se tem uma planta irrigada com águas salobras em solo não salino (Cavalcante et al., 2021), situações que permitem a aplicação dos métodos de avaliação de tolerância descritos anteriormente. Entretanto, na aplicação desses métodos podem-se observar respostas não lineares com espécies cultivadas, diferente do que pressupõe o método de Maas & Hoffman (1997). Isso pode ser explicado por três principais causas: tipo de resposta estudada, condições experimentais limitantes (estresse múltiplo) e espécie avaliada. A Figura 3A mostra a resposta quadrática para produção de flores em espécies ornamentais, conforme observado por Neves et al. (2018) e Oliveira et al. (2018), com indução da resposta em baixos níveis de salinidade. A Figura 3B mostra a tendência de estabilização da resposta em elevados níveis de salinidade, que pode ser explicada por limitações à planta controle (baixa taxa de radiação fotossinteticamente ativa, deficiência de nutrientes, déficit hídrico moderado etc.), sendo comum especialmente em ensaios com vasos e no estudo de respostas fisiológicas (Maggio et al., 2007; Sanoubar et al., 2016). A deficiência extrema de luz ou de nutrientes resulta, inclusive, na reversão

do efeito da salinidade com o tempo, por conta da limitação da planta não estressada (C.F. Lacerda, dados não publicados). O terceiro caso está relacionado às espécies altamente tolerantes aos sais (halófitas obrigatórias), que alcançam máxima resposta de crescimento em níveis elevados de sais (Greenway & Munns, 1980).

Figura 3. A. produção de massa seca de flores (MSFL) em *C. roseus* em resposta à salinidade da água de irrigação (Fonte: Neves et al., 2018); B. Rendimento relativo em uma espécie hipotética em resposta à salinidade comumente observada em estudos em vasos (Fonte: Lacerda, C.F., dados não publicados).



A realidade se torna ainda mais complexa quando o estresse salino ocorre de forma combinada com déficit ou excesso hídrico. Esses estresses múltiplos podem impactar mais fortemente o crescimento e a fisiologia das plantas do que os estresses isolados (Tahjib-Ul-Arif et al., 2023), mesmo para o caso de halófitas. Por exemplo, o cultivo da *Atriplex nummularia* irrigada com rejeito de dessalinização resulta em maiores produtividade de biomassa (Porto et al., 2006), do que quando esta mesma espécie é submetida à níveis de salinidade similares sob cultivo de sequeiro em regiões áridas e semiáridas (Ribeiro et al., 2016). Obviamente, o estresse salino se torna bem mais intenso à medida que a umidade do solo decresce.

O excesso hídrico é outro fator relevante que altera a resposta das plantas à salinidade (Tahjib-Ul-Arif et al., 2023). A ocorrência simultânea de alta salinidade e excesso hídrico é comum em áreas com drenagem ineficiente (Kozłowsky, 1997; Sousa et al., 2011), em regiões de mangues, em áreas inundadas por marés altas (Santos et al., 2020) ou durante a ocorrência de tsunamis (Marohn et al., 2012). Este problema também é relevante quando o subsolo apresenta baixa permeabilidade associada com problemas de sodicidade, como se verifica em áreas de Planossolos, ou quando o lençol freático é raso, o que culmina em múltiplos estresses (Medeiros et al., 2023).

Essa combinação de excesso de sais e excesso de água resultam em respostas diferentes para espécies sensíveis e tolerantes ao excesso de sais, conforme ilustrado na Figura 4 para a cultura do arroz, considerada sensível à salinidade (Ayers & Westcot, 1999), e para o coqueiro, considerado tolerante à salinidade (Ferreira Neto et al., 2002; Santos et al., 2020). O arroz (*Oryza sativa* L.), a despeito de ser considerado sensível à salinidade, apresenta melhor desempenho do que o coqueiro em solos afetados por sais sob inundações com água de baixa salinidade, pois possui mecanismos para captar o oxigênio em solos inundados ou encharcados, sendo esta cultura recomendada para uso durante o processo de recuperação desses solos (Gheyi et al., 1995; Gomes et al., 2000; Costa et al., 2005; Lacerda et al., 2021a; Gheyi

et al., 2022). Por outro lado, o coqueiro é sensível ao encharcamento e pode ser cultivado em solos afetados por sais, desde que seja instalado um sistema de drenagem subterrâneo (Sousa et al., 2011; Medeiros et al., 2018).

Figura 4. A. Arroz cultivado em solo salino sódico sob inundação no Perímetro Irrigado de Morada Nova, Ceará (Fonte: Costa, R.N.T, arquivo pessoal); B. Coqueiro cultivado em solo salino sódico com problemas de drenagem (Fonte: Sousa et al., 2011).



O coqueiro é uma glicófita tolerante à salinidade. Por ser uma espécie perene de vida longa, ela experimenta diversas condições de estresses múltiplos relacionados a fatores do solo, incluindo salinidade, excesso hídrico, déficit hídrico, deficiência nutricional, dentre outros. Esta espécie é encontrada nas regiões litorâneas em várias partes do mundo, notadamente nas regiões tropicais. Nessa faixa costeira, os problemas de salinidade podem estar relacionados às inundações de marés, áreas de mangue, deposição de sais de aerossóis marinhos, intrusão marinha e ocorrência de tsunamis (Mattsson et al., 2009; Marohn et al., 2012). De acordo com Yang et al. (2021), a tolerância à salinidade do coqueiro pode estar relacionada à história evolutiva desta espécie, devido a sua proximidade à costa e às flutuações do nível do mar ao longo dos últimos milhões de anos, com a consequente adaptação do genoma da espécie para responder às variações da salinidade do meio ambiente. Porém, a capacidade de tolerar o estresse salino, diminui nitidamente quando o problema de salinidade está associado ao déficit ou excesso hídrico. Portanto, seria inimaginável encontrar coqueirais em áreas de mangues.

Regiões costeiras, especialmente na Ásia, podem ser impactadas por tsunamis, definidos como altas ondas oceânicas geradas por maremotos ou outros eventos geológicos. Tsunamis invadem grandes áreas de regiões costeiras, causando danos generalizados pela força da água e aumentando o nível de salinidade do solo e das fontes de água (Hulugalle et al., 2009; Mattsson et al., 2009; Marohn et al., 2012). O impacto dos tsunamis sobre a vegetação pode ocorrer de forma direta, através da quebra de árvores, ou indiretamente, por meio de danos foliares ou associados ao acúmulo de sais no ambiente radicular. No entanto, alguns estudos realizados após a ocorrência de tsunamis indicam que a mortalidade das árvores e o decréscimo da produtividade na área inundada variam consideravelmente entre as espécies.

Um estudo realizado na Indonésia mostrou que os danos aos coqueiros (65% das árvores danificadas) estavam relacionados à altura do tsunami, enquanto a seringueira (50% das árvores danificadas) foi afetada, principalmente, pela salinidade das águas. Os rendimentos de coqueiro (-35% em média) foram limitados pela salinidade das águas subterrâneas, um valor significativamente menor do que o observado para a seringueira (-65% em média) (Marohn et al., 2012). Um estudo realizado nas ilhas Maldivas, após a ocorrência de tsunamis em 2004, mostrou que a maioria das árvores frutíferas sensíveis aos sais (mangueira, goiabeira e bilimbi - *Averrhoa*) morreram ou foram danificadas, enquanto as tolerantes (coqueiro e hibiscus do mar - *Hibiscus tiliaceus*) não apresentaram danos (Lee et al., 2008).

Estudo realizado no Estado do Ceará demonstrou que as respostas ecofisiológicas e a produtividade do coqueiro Gigante, nas regiões costeiras, são impactadas, principalmente, pelos estresses hídrico e nutricional, que limitam o crescimento foliar e a frutificação. O estresse salino é menos relevante nessas áreas, não apenas pela tolerância da espécie aos sais, mas também porque a planta não habita as áreas de manguezais, as quais apresentam níveis de salinidade e de encharcamento incompatíveis com o desenvolvimento do coqueiro. De fato, os coqueirais na região nordeste do Brasil ocupam, principalmente, as áreas de planaltos costeiros, em solos não salinos, com boa drenagem natural. Nessas áreas, apenas

as plantas mais próximas à praia são influenciadas intermitentemente pelas marés altas, resultando em redução do crescimento foliar e diminuição da taxa de assimilação de CO₂ (Santos et al., 2020). Entretanto, esse problema pode se intensificar no futuro devido às mudanças climáticas globais, que podem resultar na elevação dos níveis dos oceanos, com consequente inundação de áreas costeiras e aumento da salinidade do solo e das águas subterrâneas (Renaud et al., 2015; Kheir et al., 2019; Corwin, 2021).

A ocorrência de estresse intermitente (salinidade e excesso de água) é facilmente demonstrada nos coqueirais das áreas de Preamar, ou seja, áreas sob domínio da Marinha nas quais as plantas estão submetidas às condições de maré-cheia. Nessa área, portanto, as plantas estão submetidas a dois tipos de estresse de forma intermitente, a salinidade e o excesso hídrico, os quais inibem as trocas gasosas foliares, reduzem os teores de elementos essenciais, especialmente N e K, e incrementam os teores de íons potencialmente tóxicos, especialmente cloreto e sódio (Santos et al., 2020). Esses estresses se repetem, inúmeras vezes, ao longo do ano, afetando a longevidade e a produtividade dos coqueirais.

Na Tabela 4 estão as variações na profundidade e na salinidade da água em coqueirais na praia de Cumbuco, no Estado do Ceará, confirmando a ocorrência dos estresses múltiplos e intermitentes. Observa-se que a salinidade varia, bruscamente, entre os períodos de maré baixa e maré alta, bem como, em termos de profundidade da água, em relação à superfície do solo. Essa dinâmica é, também, observada ao longo de cada dia e durante o ano, em função das estações seca e chuvosa que impactam a altura do lençol de água doce proveniente do continente. Isso significa que, em um dia de maré alta, as plantas são submetidas ao estresse severo por poucas horas, e que os níveis de estresse por salinidade e excesso hídrico também possuem um componente sazonal. Os dados apresentados na Tabela 4 foram obtidos na estação seca, de modo que, durante a estação chuvosa, espera-se incremento do excesso hídrico e atenuação do estresse salino, em função da elevação do lençol subterrâneo com água da chuva.

Tabela 4. Profundidade e condutividade elétrica da água medida em situação de maré alta e maré baixa, em amostras coletadas em diferentes posições em relação à linha de coqueiros Gigantes em novembro de 2017, na Praia de Cumbuco, Caucaia, Ceará, Brasil¹

Distância ²	Profundidade		CEa	
	Maré alta	Maré baixa	Maré alta	Maré baixa
m	cm		dS m ⁻¹	
-4	116,7	123,3	0,8	1,0
-2	106,7	117,7	9,7	0,9
0	90,0	102,7	44,4	3,4
2	75,0	88,7	48,1	7,4
4	60,0	78,0	48,2	10,3

¹C. F. Lacerda (dados não publicados). ²O número zero indica a linha de coqueiro, os números negativos são mais distantes do mar e os positivos os mais próximos.

3 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE HALÓFITAS E GLICÓFITAS

Podemos inicialmente imaginar que a separação entre glicófitas e halófitas poderia ser estabelecida por um limiar de salinidade, assim como observado na proposta de Maas & Hoffman (1977). Embora algo nessa linha já tenha sido feito, conforme demonstraremos mais adiante, essa abordagem não tem sido aceita globalmente e esbarra, principalmente, na definição de halófitas. De fato, essa discussão sobre definição e classificação de halófitas já vem desde o século XIX (Breckle, 1990; Grigore, 2021), com muitas visões e poucos consensos.

Uma definição mais convencional utiliza o critério ecológico: halófitas constituem a flora nativa de ambientes salinos (Jennings, 1976; Greenway & Munns, 1980). Em outras palavras, as espécies halófitas são nativas (originárias) de mangues, marismas, desertos salinos e solos halomórficos de regiões semiáridas, e vivem dentro dos limites naturais impostos por esses ambientes. Por exclusão, o grupo das glicófitas seria o conjunto das demais espécies vegetais do planeta terra, certamente um percentual superior a 99% das espécies terrestres, as quais evoluíram em ambientes de baixa salinidade (Greenway & Munns, 1980; Flowers et al., 2010; Cheeseman, 2015; Santos et al., 2016). As plantas cultivadas são glicófitas em quase toda sua totalidade, e podem ser classificadas como sensíveis, moderadamente sensíveis, moderadamente tolerantes e tolerantes à salinidade, conforme Maas & Hoffman (1977), Greenway & Munns (1980), Fageria (1985) e Miyamoto et al. (2004).

Aqui emergem algumas questões: os níveis de salinidade são constantes e sempre altos dentro dos ambientes salinos que originaram as halófitas? Apenas o fator salinidade impacta sobre essas espécies? As halófitas se desenvolvem bem apenas nesses ambientes? A resposta para as três questões acima é a mesma: Não. Os níveis de salinidade variam entre esses ambientes e dentro de cada ambiente, significando que o processo de evolução das halófitas se deu gerando grande variabilidade interespecífica na convivência com a salinidade do meio (Chapman, 1942; Flowers et al., 2010; Santos et al., 2016; Grigore, 2021). Conforme relatado anteriormente, a salinidade desses ambientes pode estar associada a outros fatores de estresse. Dessa forma, temos halófitas tolerantes à salinidade e ao excesso hídrico (hidro-halófitas), comuns em ambientes de manguezais, e halófitas de regiões secas (xero-halófitas), com características de xerófitas (Santos et al., 2016). Por fim, existem halófitas que apresentam melhor desenvolvimento em níveis de salinidade similares aos das glicófitas, ou seja, elas podem se desenvolver fora desses ambientes (Chapman, 1942).

As discussões relatadas acima estão presentes na classificação apresentada por Chapman (1942), a qual mostra os tipos de halófitas e os níveis de salinidade dos ambientes onde elas são encontradas (Tabela 5). Observem que as miohalófitas podem ser encontradas em áreas com baixa concentração de sais dentro dos ambientes halofíticos, sendo os valores limites inferiores absolutamente compatíveis com o crescimento de glicófitas sensíveis à salinidade, conforme Maas & Hoffman (1977). De acordo com Chapman (1942), muitas Miohalófitas se desenvolvem melhor em condições de baixa salinidade, porém podem tolerar níveis altos de sais durante parte de seu desenvolvimento. Por outro lado, algumas espécies de Euhalófitas, denominadas de halófitas obrigatórias, como *Suaeda maritima*, apresentam

máximo crescimento em níveis elevados de sais, conforme relatam Greenway & Munns (1980) e Flowers et al. (2010).

Tabela 5. Classificação de halófitas, adaptada de Chapman (1942)

Tipos de halófita	Salinidade (NaCl) do Habitat		
	%	(mmol _c L ⁻¹) ¹	(dS m ⁻¹) ¹
Miohalófitas			
- Glico-mesohalófitas	0,01 – 1,0	1,7 – 171,0	0,17 – 17,1
- Eurihalófitas	0,1 – 1,0	17,0 – 171,0	1,7 – 17,1
Euhalófitas			
- Mesohalófitas	0,5 – 1,0	86,0 – 171,0	8,6 – 17,1
- Euhalófitas	> 1,0	> 171,0	> 17,1

¹ Valores estimados a partir dos dados de concentração apresentados por Chapman (1942). As relações entre concentração de NaCl e condutividade elétrica estão de acordo com Richards (1954), considerando-se a relação mmol_c L⁻¹ ≈ CE x 10, à temperatura de 25°C.

Nas tabelas apresentadas em Ayers & Westcot (1999), com base no método descrito por Maas & Hoffman (1977), observa-se que nenhuma das culturas apresenta salinidade limiar igual a 8,6 dS m⁻¹ (considerando o extrato da pasta saturada do solo), ou seja, nenhuma espécie alcança o limite inferior de tolerância à salinidade das Euhalófitas. Esse, então, poderia ser o limiar de salinidade que separa as glicófitas das halófitas? A resposta, a princípio, seria não, pois a salinidade limiar é um conceito dirigido às plantas cultivadas (glicófitas), e representa a concentração de sais, em cujo nível a produção não é afetada. Por outro lado, os limites associados à classificação de halófitas, incluindo os apresentados por Chapman (1942), referem-se à capacidade de sobrevivência e reprodução e, não necessariamente, produtividade. De fato, existe um paradoxo entre tolerar altos níveis de sais e, ao mesmo tempo, obter-se elevada produtividade, algo ainda não superado pela ciência (Flowers et al., 2010).

A despeito dos conceitos ecológicos de halófitas acima referenciados, alguns autores têm buscado conceitos mais objetivos, baseados em níveis limiares de sais no meio radicular para classificar uma espécie como halófita. A tentativa mais exitosa nessa linha foi a proposta por Aronson (1989). O referido autor publicou uma lista de 1.560 halófitas (HALOPH database), tendo como critério a tolerância conhecida ou presumida a uma concentração de NaCl de 80 mmol_c L⁻¹, ou condutividade elétrica em torno de 7,8 dS m⁻¹, durante períodos significativos do ciclo completo da espécie. Este limiar de salinidade aplicado às halófitas refere-se à capacidade de germinar, crescer e reproduzir dentro desse nível de salinidade. Esses dados têm sido revisados e atualizados, e estão disponíveis no banco de dados eHALOPH - <http://www.sussex.ac.uk/affiliates/halophytes/> (Santos et al., 2016). Para os objetivos deste livro, o conceito ecológico é importante e deve ser seguido. Porém, as informações de limiares de tolerância à salinidade, capacidade produtiva e potencial econômico, tanto de halófitas como de glicófitas, devem ser buscadas e valorizadas, visto que possuem grande utilidade para a Agricultura Biossalina.

4 BIOSALINIDADE, AGRICULTURA SALINA E AGRICULTURA BIOSALINA

O conceito de biossalinidade prevê a interação harmoniosa de sistemas biológicos com os ambientes salinos para benefício final do homem, com sustentabilidade ambiental e econômica. Os elementos essenciais do conceito são os sistemas biológicos e um ambiente salino ou marinho. Os sistemas biológicos representam animais, plantas ou microorganismos, valiosos recursos em termos físicos e biológicos, notadamente quando associados aos oceanos e estuários, bem como aos recursos salinos continentais (solos afetados por sais e águas salobras) de terras áridas e semiáridas em todo o mundo (Hollaender et al., 1979; Pasternak & San Pietro, 1985).

Dentro do contexto da biossalinidade surgem dois conceitos que trazem a agricultura para o centro do debate: agricultura salina e agricultura biossalina. Esses dois conceitos não são recentes (Hollaender et al., 1979; Qureshi & Barrett-Lennard 1998; Grigore & Cojocariu, 2021), e nasceram com a visão do uso de halófitas para diversos fins, a qual foi expandida para inclusão de outros sistemas produtivos (Nikalge et al., 2017; Saqib et al., 2020; Tıprıdamaz et al., 2021; Negacz et al., 2022a; Choukr-Allah & Ragab, 2023).

Segundo Masters et al. (2007), agricultura biossalina é um termo amplo usado para descrever a agricultura sob uma variedade de níveis de salinidade em águas subterrâneas, solos ou uma combinação de ambos. Este conceito tem significado semelhante ao da agricultura salina, definida como práticas agrícolas que utilizam solos afetados por sais e águas salinas ou salobras na irrigação, para alcançar melhor produção através do uso sustentável e integrado de recursos genéticos (plantas, animais, peixes, insetos e microrganismos), evitando-se medidas dispendiosas de recuperação do solo (Negacz et al., 2022a).

Independentemente do termo utilizado (biossalina ou salina), este setor pode incluir outros tipos de atividades, uma vez que a salinidade está associada a outros problemas típicos de regiões áridas e semiáridas, incluindo a escassez de água, os quais podem ser intensificados pelas alterações climáticas globais (Marengo et al., 2017; Saqib et al., 2020; Choukr-Allah & Ragab, 2023). Um exemplo claro dessa visão mais abrangente pode ser visto no International Center of Biosaline Agriculture – ICBA (<https://www.biosaline.org/>), localizado nos Emirados Árabes Unidos. O ICBA atua em quatro temas principais: Manejo de recursos naturais em ambientes marginais; Modelagem e adaptação às mudanças climáticas; Melhoramento genético de culturas e produção sustentável; e Sistemas integrados de agricultura e aquicultura.

Face aos crescentes desafios globais, os avanços na gestão eficiente da água e na tolerância à salinidade serão cruciais para manter a segurança alimentar e reduzir a degradação do ambiente (Gheyi et al., 2023). Esses autores ressaltam, ainda, que existem grandes diferenças em termos de recursos salinos (plantas, solos e águas) nas regiões áridas e semiáridas ao redor do mundo, considerando aspectos quantitativos e qualitativos. Neste sentido, aplicar o conhecimento global às realidades locais é um grande desafio para a agricultura biossalina.

5 APLICAÇÕES DA AGRICULTURA BIOSALINA

5.1 No Mundo

A agricultura biossalina emerge como uma alternativa para o uso de águas salobras e solos afetados por sais na produção vegetal, quando associada ao emprego de boas estratégias de manejo (Araújo et al., 2021). No contexto global, a principal instituição que atua com agricultura biossalina é o ICBA. Este Centro tem como foco melhorar a segurança alimentar e nutricional, aumentar a segurança hídrica e a sustentabilidade ambiental e criar empregos e meios de subsistência em ambientes marginais (áreas que enfrentam problemas de salinidade, escassez de água, secas recorrentes, dentre outros problemas). O ICBA desenvolve diversos projetos em parceria com as comunidades, com o objetivo de ampliar as ações da agricultura biossalina como atividade sustentável.

No mundo, existem diversas experiências que retratam o desempenho da agricultura biossalina, principalmente em regiões áridas e semiáridas (Ladeiro et al., 2012; Negacz et al., 2022b). Aqui destacam-se algumas poucas para servirem como exemplos, as quais trazem temas relevantes, tais como: produção de forragem, produção de alimentos, valor nutricional e farmacêutico, alto valor agregado, sequestro de carbono e revegetação de áreas degradadas (Grattan et al., 2004; Wicke et al., 2013; Dakheel et al., 2015; Dias et al., 2016b; Díaz et al., 2018; Murad et al., 2018; Duarte et al., 2022).

Em San Joaquin Valley, Califórnia, o reaproveitamento de águas salinas de drenagem é uma opção de manejo sugerida para o fim de reduzir o volume de efluente de drenagem que precisa ser descartado. Dessa forma, o cultivo de forrageiras tolerantes a sais desempenha um papel importante nesta estratégia, ao mesmo tempo que produz uma fonte de alimento para ovinos e bovinos. Grattan et al. (2004) trazem como principais considerações que a maioria das forrageiras testadas poderia, facilmente, preencher um nicho dentro de um sistema de reaproveitamento de água de drenagem, principalmente as gramíneas. Com base na tolerância geral aos sais, taxas de acumulação de biomassa e qualidade da forragem das culturas que foram testadas, as principais espécies indicadas para um sistema de agricultura biossalina são capim alto 'José' e grama bermuda.

Estudos realizados em Bangladesh, Índia e Paquistão buscam explorar o equilíbrio dos gases de efeito estufa (GEE) e o desempenho econômico de sistemas (agro)floretais biossalinos, em áreas afetadas por sais (Wicke et al., 2013). A análise das emissões de GEE da (agro)silvicultura biossalina mostra que o sequestro de carbono ocorre como resultado do aumento dos estoques de carbono na biomassa subterrânea e no solo. A análise do desempenho econômico dos estudos de caso, indica que a (agro)silvicultura em solos afetados por sais é economicamente viável em diferentes contextos. O valor econômico do sequestro de carbono pela (agro)silvicultura biossalina depende da quantidade de carbono sequestrado, do preço do carbono, da taxa de desconto e, mais importante, de saber se tais sistemas são elegíveis para o comércio de carbono.

Apesar do bom desempenho econômico dos sistemas (agro)florestais bioassalinos em comparação com o uso da terra de referência, existem vários constrangimentos à implementação e sustentabilidade. Mais importante ainda, a (agro)silvicultura bioassalina tem custos iniciais elevados, uma barreira potencial para pequenos agricultores em países em desenvolvimento como Bangladesh, Índia e Paquistão. Fornecer subsídios para cobrir os custos do estabelecimento do sistema e empréstimos a juros baixos aos agricultores, bem como criar a possibilidade de participar num esquema de comércio de créditos de carbono ou alguma outra forma de compensação pela recuperação do solo, poderia melhorar a rentabilidade e a atratividade da (agro)silvicultura bioassalina para pequenos agricultores (Wicke et al., 2013).

O ICBA tem buscado estudar sistemas bioassalinos que foram testados na Península Arábica, proporcionando oportunidades para quebrar o ciclo da pobreza e recuperar terras salinizadas (Dakheel et al., 2015). Esses grupos podem ser classificados como sistemas convencionais de produção de forragem; produção de forragem não convencional; culturas de alto valor; sistemas de produção de culturas medicinais; sistemas baseados na água do mar, incluindo a aquicultura; e sistemas de produção baseados em águas residuais tratadas. Dessa forma, para a realização da agricultura bioassalina em diferentes locais da paisagem, devem ser introduzidas plantas mais tolerantes aos sais e à seca, permitindo a utilização de recursos hídricos marginais para aumentar a produção de plantas para alimentação ou forragem, reduzindo assim o risco da atividade agrícola.

Na Espanha, onde é comum a utilização de águas com qualidade inferior em sistemas bioassalinos de produção, as experiências propostas por Díaz et al. (2018) confirmam descobertas recentes relativas à tolerância a sais de variedades de alfafa, que sugerem que as diretrizes de tolerância estabelecidas na literatura para esta cultura devem ser reavaliadas. O estudo confirma que a alfafa, considerada moderadamente sensível à salinidade, pode crescer em condições de alta salinidade do solo e da água de irrigação (CE: 10 dS m⁻¹) sem grandes reduções na biomassa em comparação com condições não salinas. Estes resultados são particularmente importantes para as regiões áridas, que carecem de água de qualidade, mas têm fontes de águas salobras e solos afetados por sais, bem como uma elevada procura de alimentação do gado, uma das principais atividades econômicas nestas zonas.

Em países com grandes áreas de solos afetados por sais, significativa restrição de água doce e abundante recurso de águas salobras, como é o caso de Bangladesh, a agricultura bioassalina desempenha importante papel na produção de alimentos. Em estudo desenvolvido por Murad et al. (2018), foi constatado que o uso conjunto da mínima utilização de água de baixa salinidade associada a frequentes irrigações com água moderadamente salina pode melhorar significativamente o desempenho agrônomico da cultura do milho, com efeito marginal sobre o rendimento. Desta forma, os autores sugerem a utilização de uma irrigação inicial com água de baixa salinidade seguida de duas irrigações com água salobra, desta forma, reduzindo o uso do escasso recurso hídrico de melhor qualidade e garantindo uma produtividade satisfatória do milho com a utilização de águas de qualidade inferior.

Em Portugal, a agricultura bioassalina de halófitas tem sido explorada nas últimas décadas como uma alternativa às práticas agrícolas tradicionais em terras salinizadas. O cultivo

proposto para as halófitas testadas permitiu a produção de produtos vegetais com alto valor nutricional, apresentando, entre outras características, baixo teor de açúcares, alto teor de proteínas, ácidos graxos, juntamente com uma valiosa fonte de moléculas antioxidantes altamente concentradas. Além disso, o consumo dessas halófitas apresenta um elevado grau de segurança, fornecendo vários elementos, normalmente escassos nas dietas humanas modernas (por exemplo, iodo e selênio); todas essas características nutricionais encontram-se em níveis superiores aos observados em vegetais folhosos típicos, como o espinafre. Os resultados indicam que a reconversão de salinas abandonadas para a produção de halófitas comestíveis constitui uma valiosa fonte alimentar (Duarte et al., 2022).

5.2 No Brasil

No Brasil, as pesquisas sobre salinidade tiveram início no Nordeste Brasileiro nos Perímetros do DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (Instituto José Augusto Trindade), na década de 1950. Elas enfatizaram aspectos de solos, água, irrigação e drenagem. Entre idas e vindas, nesse período de cerca de 70 anos, uma iniciativa importante foi a criação do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade (INCTSal), pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) no ano de 2009. O INCTSal gerou muitos resultados de pesquisa e um livro texto de referência (Gheyi et al., 2016), porém, faltou continuidade de financiamento a partir de 2017. A falta de continuidade dificultou o avanço e a difusão de tecnologias, o que certamente diferenciam o INCTSal do ICBA. Em outras palavras, temos muitos resultados de pesquisa, mas falta avançar na difusão e aplicação dos conhecimentos existentes. Apesar das discrepâncias em termos culturais e edafoclimáticos, em relação ao Brasil, o ICBA deve servir como referência quando se trata da organização conceitual da agricultura biossalina.

Nesse contexto, um primeiro desafio que existe é ampliar o conceito de agricultura biossalina prevalecente no Brasil, que se restringe ao uso de águas salobras/rejeitos salinos e de solos afetados por sais, como se fossem coisas isoladas no ambiente semiárido. Com essa visão restrita não há como haver expansão dessa atividade. Os regimes pluviométricos, as secas recorrentes, as águas residuárias, a disponibilidade de recursos hídricos, as mudanças climáticas e as ações de difusão de tecnologia, devem estar inseridas no contexto de uma agricultura biossalina sustentável (Lacerda et al., 2023).

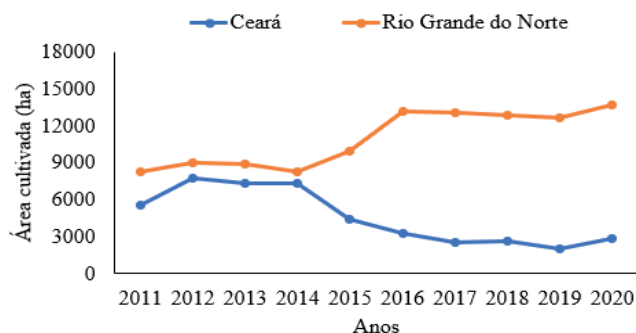
A possibilidade de restauração do solo e o potencial de aproveitamento das áreas salinizadas no semiárido brasileiro precisam ser considerados. Porém, muitos estudos demonstram os custos elevados do processo de recuperação de solos afetados por sais, muitas vezes inacessíveis para pequenos agricultores, notadamente quando é necessária a instalação de um sistema de drenagem subterrâneo. Em face dessas dificuldades, novas estratégias de manejo e de aproveitamento dessas áreas devem ser vislumbradas. Projetos de revegetação com espécies adaptadas ou cultivo de halófitas com potencial forrageiro, podem ser alternativas viáveis, tanto para melhoria das condições do solo como para geração de renda no campo (Souza et al., 2014). Em algumas áreas de solos sódicos, ditos 'irrecuperáveis', outras

atividades surgem, como o cultivo de camarão que se expandiu em áreas interioranas do Estado do Ceará, utilizando parte desses solos (Gheyi et al., 2022).

No semiárido brasileiro também se verifica a ocorrência de águas salobras, principalmente as de origem subterrânea (Silva Júnior et al., 1999; Holanda et al., 2016; Santos Júnior et al., 2021), sendo que a maioria das águas dessas fontes hídricas apresenta condutividade elétrica variando de 1,0 a 5,0 dS m⁻¹ e são menos restritivas em termos de riscos de sodicidade (Silva et al., 2007; Lessa et al., 2023). Entretanto, existem diferentes realidades dentro dessa região quando se trata, principalmente, da disponibilidade de água.

Na região de Mossoró, por exemplo, as águas do aquífero Calcário Jandaíra apresentam níveis relativamente altos de sais, notadamente em períodos de seca, porém os poços apresentam vazões superiores a 60 m³ h⁻¹. Essas águas têm sido utilizadas em misturas com águas do aquífero Arenito Açú (baixa salinidade, porém mais profunda e alta vazão), fato que favoreceu a ampliação do cultivo do melão no Rio Grande do Norte, principalmente na última década, quando ocorreu uma seca prolongada (2012 a 2017) na região. Inclusive, essa atividade é praticada por grandes empresas da região (Lacerda et al., 2021b; Terceiro Neto et al., 2021). Observa-se na Figura 5, a redução da área irrigada com melão no Estado do Ceará, pela redução das reservas hídricas superficiais, principalmente, na Região Jaguaribana, em decorrência da seca prolongada. Paralelamente, houve aumento na produção de melão no Rio Grande do Norte, com a ampliação do uso dos aquíferos Jandaíra e Arenito-Açú. Sem dúvidas, este é um dos principais exemplos de aplicação das técnicas da agricultura bioassalina no semiárido brasileiro.

Figura 5. Variação da área cultivada com melão nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte, no período de 2011 a 2020. Fonte: IBGE (2021).



Por outro lado, as águas salobras no aquífero cristalino, o qual predomina no território do semiárido brasileiro, apresentam baixas vazões. Feitosa & Diniz (2011) estimaram em mais de 100 mil poços situados no semiárido nordestino, sendo que a maioria dos poços tem vazão entre 1,0 e 2,0 m³ h⁻¹. Silva et al. (2007), avaliando 23 mil poços no Estado do Ceará, encontraram vazão média de 2,6 m³ h⁻¹, em poços do cristalino. Um estudo desenvolvido também no Estado do Ceará demonstrou que essas fontes hídricas são mais úteis para pequenos empreendimentos de agricultura familiar, especialmente aqueles sistemas

produtivos que utilizam menores volumes de água. Para estas condições, o cultivo de palma forrageira, a irrigação suplementar de culturas anuais e sistemas envolvendo peixes e vegetais (hidroponia ou produção de mudas, por exemplo) apresentam maior possibilidade de sucesso do que o cultivo de coco (espécie tolerante à salinidade), sendo esta última limitada pela elevada demanda hídrica e baixa produtividade de água dos poços (Lessa et al., 2023).

No Brasil, a prática da agricultura bioassalada por meio do consórcio de espécies moderadamente tolerantes aos sais tem se tornado promissora. Alves et al. (2022) destacaram que o sistema de consórcio entre palma forrageira e sorgo é uma excelente alternativa para o cultivo da agricultura bioassalada em ambientes semiáridos. Diversos outros estudos realizados no Brasil tratam dos assuntos os mais diversos, relacionados à produção bioassalada. Os principais temas incluem: halófitas exóticas e nativas (Costa & Bonilla, 2016; Fernandes et al., 2016; Freire et al., 2016), produção de forragem (Porto et al., 2019; Araújo et al., 2021; Araújo Júnior et al., 2023), glicófitas tolerantes (Ferreira Neto et al., 2002), produção hidropônica (Soares et al., 2016), diversificação de sistemas de agricultura bioassalada (Silva et al., 2015; Lessa et al., 2023), dentre muitos outros. Uma seção deste livro será dedicada à apresentação de vários tipos de cultivos bioassalados no Brasil.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os temas abordados neste capítulo mostram toda a complexidade do problema da salinidade, inclusive nos seus aspectos conceituais. Em termos de aplicações da agricultura bioassalada nota-se que os maiores avanços ocorreram na Ásia, onde se encontra o International Center of Biosaline Agriculture. No Brasil, já foram realizados muitos estudos sobre o tema salinidade, muitos compondo o conteúdo deste livro, mas ainda com pouca aplicação prática. Isso reforça a necessidade de parcerias com instituições públicas e privadas, com prefeituras e com as organizações de agricultores, para que as informações e tecnologias cheguem efetivamente ao homem do campo. É preciso, também, que o tema da agricultura bioassalada seja mais abrangente, vislumbrando o uso de recursos de solo e água e o reuso de água, dentro do contexto da produção sustentável de diversos produtos (frutos, grãos, forragem, plantas ornamentais, madeira, biocombustíveis, fármacos etc.) no ambiente semiárido tropical (Lacerda et al., 2023). Finalmente, é preciso que sejam criadas ferramentas que favoreçam a geração e a difusão das tecnologias necessárias ao desenvolvimento desse setor.

LITERATURA CITADA

Alves, C. P.; Jardim, A. M. R. F.; Araújo Júnior, G. N.; Souza, L. S. B.; Araújo, G. G. L.; Souza, C. A. A.; Salvador, K. R. S.; Leite, R. M. C.; Pinheiro, A. G.; Silva, T. G. F. How to enhance the agronomic performance of cactus-sorghum intercropped system: planting configurations, density and orientation. *Industrial Crops & Products*, v.184, 115059, 2022.

- Alves, M. S.; Soares, T. M.; Silva, L. T.; Fernandes, J. P.; Oliveira, M. L. A.; Paz, V. P. S. Estratégias de uso de água salobra na produção de alface em hidroponia NFT. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.491-498, 2011.
- Araújo, G. G. L.; Silva, T. G. F.; Campos, F. S. Agricultura bioassalada e uso de águas salobras na produção de forragem. In: Cerqueira, P. R. S.; Lacerda, C. F.; Araújo, G. G. L.; Gheyi, H. R.; Simões, W. L. (eds.). *Agricultura irrigada em ambientes salinos*. Brasília: CODEVASF. 2021. Cap.5, p.174-211.
- Araújo Júnior, G. N.; Morais, J. E. F.; Souza, L. S. B.; Steidlhe Net, A. J.; Araújo, G. G. L.; Silva, T. G. F. Use of lower quality water in irrigated agriculture and effects on forages with productive potential in semiarid regions: a review. *Environmental Processes*, v.10, p.1-28, 2023. <https://doi.org/10.1007/s40710-023-00655-6>.
- Aronson J. A. HALOPH a data base of salt tolerant plants of the world. Tucson: University of Arizona: Tucson, 1989. 77p.
- Ayers, R. S.; Westcot, D. W. A qualidade da água na agricultura. 2ed. Campina Grande: Estudos FAO - Irrigação e Drenagem 29, 1999. 153p.
- Bezerra, F. M. S.; Lacerda, C. F.; Ruppenthal, V.; Cavalcante, E. S.; Oliveira, A. C. Salt tolerance during the seedling production stage of *Catharanthus roseus*, *Tagetes patula* and *Celosia argentea*. *Revista Ciência Agronômica*, v.51, p.1-9, 2020.
- Breckle, S. W. Salinity tolerance of different halophyte types. In: El Bassam, N.; Dambroth, M.; Loughman, B. C. (eds.). *Genetic aspects of plant mineral nutrition*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990. p.167-175.
- Cavalcante, E.S.; Lacerda, C.F.; Costa, R.N.T.; Gheyi, H.R.; Pinho, L.L.; Bezerra, F.M.S.; Oliveira, A.C.; Canjá, J.F. Supplemental irrigation using brackish water on maize in tropical semi-arid regions of Brazil: yield and economic analysis. *Scientia Agrícola*, v.78, p.1-9, 2021.
- Chapman, V. J. The new perspective in the halophytes. *The Quarterly Review of Biology*, v.17, p.291-311, 1942.
- Cheeseman, J. M. The evolution of halophytes, glycophytes and crops, and its implications for food security under saline conditions. *New Phytologist*, v.206, p.557-570, 2015.
- Choukr-Allah, R.; Ragab, R. Biosaline agriculture as a climate change adaptation for food security. Cham: Springer, 2023. 427p.

- Corwin, D. L. Climate change impacts on soil salinity in agricultural areas. *European Journal of Soil Science*, v.72, p.842–862, 2021.
- Costa, C. S. B.; Bonilla, O. H. Halófitas brasileiras: formas de cultivo e usos. In: Gheyi, H. R., Dias, N. da S.; Lacerda, C. F. de; Gomes Filho, E. (eds.). *Manejo da salinidade na agricultura: estudo básico e aplicados*. 2.ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. Cap. 16. p.243-258.
- Costa, R. N. T.; Colares, D. S.; Saunders, L. C. U.; Souza, F. Análise das eficiências de aplicação e de uso da água em cultivo de arroz no perímetro irrigado Morada Nova, CE. *Irriga*, v.10, p.372-382, 2005.
- Cruciani, D. E. A. *A drenagem na agricultura*. 4 ed. São Paulo: Nobel, 1987. 337p.
- Dakheel, A.; Nanduri, R.; Soppe, R. Biosaline agriculture as an approach for combating desertification. In: *Living land. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD)*, Bonn: UNCCD, 2015, p.145-148.
- Dantas, J. P.; Marinho, F. J. L.; Ferreira, M. M. M.; Amorim, M. S. N.; Andrade, S. I. O.; Sales, A. L. Avaliação de genótipos de caupi sob salinidade. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, p.425-430, 2002.
- Dias, N. S.; Blanco F. F.; Souza, E. R.; Ferreira, J. S. S.; Sousa Neto, O. N.; Queiroz, I. S. R. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: Gheyi H. R.; Dias N. S.; Lacerda F. C.; Gomes Filho, E. (eds.). *Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados*. 2.ed. Fortaleza: INCTSal. 2016a. Cap. 9, p.151-162.
- Dias, N. S.; Ferreira, J. F. S.; Liu, X.; Suarez, D. L. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*, L.) maintains high inulin, tuber yield, and antioxidant capacity under moderately-saline irrigation waters. *Industrial Crops and Products*, v.94, p.1009-1024, 2016b.
- Díaz, F. J.; Grattan, S. R.; Reyes, J. A.; Roza-Delgado, B.; Benes, S. E.; Jiménez, C.; Dorta, M.; Tejedor, M. Using saline soil and marginal quality water to produce alfalfa in arid climates. *Agricultural Water Management*, v.199, p.11-21, 2018.
- Duarte, B.; Feijão, E.; Pinto, M. V.; Matos, A. R.; Silva, A.; Figueiredo, A.; Fonseca, V. F.; Reis-Santos, P.; Caçador, I. Nutritional valuation and food safety of endemic mediterranean halophytes species cultivated in abandoned salt pans under a natural irrigation scheme. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 265, 107733, 2022.
- Fageria, N. K. Salt tolerance of rice cultivars. *Plant and Soil*, v.88, p.237-243, 1985.

- Feitosa, F. A. C.; Diniz, J. A. Água subterrânea no cristalino da região semiárida brasileira. In: Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo. São Paulo: ABAS, 2011. 4p.
- Fernandes, P. D.; Brito, M. E. B.; Gheyi, H. R.; Andrade, A. P.; Medeiros, S. S. Halofitismo e agricultura bioassalada. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. (eds.). Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. 2.ed. Fortaleza: INCTsal, 2016. Cap. 15, p.209-242.
- Ferreira Neto, M.; Gheyi, H. R.; Holanda, J. S.; Medeiros, J. F.; Fernandes, P. D. Qualidade do fruto verde de coqueiro em função da irrigação com água salina. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, p.69-75, 2002.
- Freire, M. B. G. S.; Freire, F. J.; Sousa, E. R. Fitorremediação de solos afetados por sais. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. (eds.). Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. 2.ed. Fortaleza: INCTsal, 2016. Cap. 30, p.489-504.
- Flowers, T. J.; Galal, H. K.; Bromham, L. Evolution of halophytes: multiple origins of salt tolerance in land plants. *Functional Plant Biology*, v.37, p.604–612, 2010.
- Galviz, Y.; Souza, G.M.; Lüttge, U. The biological concept of stress revisited: relations of stress and memory of plants as a matter of space–time. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, v.34, p.239–264, 2022. <https://doi.org/10.1007/s40626-022-00245-1>
- Gheyi, H. R.; Azevedo, N. C.; Batista, M. A. F.; Santos, J. G. R. Comparação dos métodos na recuperação de solo salino-sódico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.19, p.173-178, 1995.
- Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. 2 ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. 504p.
- Gheyi, H. R.; Lacerda, C. F.; Freire, M. B. G. S.; Costa, R. N. T.; Souza, E. R. de; Silva, A. O. da; Fracetto, G. G. M.; Cavalcante, L. F. Management and reclamation of salt-affected soils: general assessment and experiences in the Brazilian semiarid region. *Revista Ciência Agronômica*, v.53, e20217917, 2022. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20220058>.
- Gheyi, H. R.; Sandhu, D.; Lacerda, C. F. Fields of the future: Pivotal role of biosaline agriculture in farming. *Agriculture*, v.13, 1774, 2023.
- Gomes, E. M.; Gheyi, H. R.; Silva, E. F. F. Melhorias nas propriedades químicas de um solo salino sódico e rendimento de arroz, sob diferentes tratamentos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, p.355-361, 2000.

- Grattan, S. R.; Grieve, C. M.; Poss, J. A.; Robinson, P. H.; Suarez, D. L.; Benes, S. E. Evaluation of salt-tolerant forages for sequential water reuse systems: I. Biomass production. *Agricultural Water Management*, v.70, p.109–120, 2004.
- Greenway, H.; Munns, R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annual Review of Plant Physiology*, v.31, p.149-190, 1980.
- Grieve, C.M.; Grattan, S.R.; Maas, E.V. Plant salt tolerance. In: Wallender, W.W., Tanji, K.K. (eds.) *Agricultural Salinity Assessment and Management*. 2.ed. Reston: ASCE, 2012. Cap. 13, p.405–459.
- Grigore, M. N. Definition and classification of halophytes as an ecological group of plants. In: Grigore, M. N. (ed.). *Handbook of halophytes*. Cham: Springer, 2021. Cap.1, p.4-50. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57635-6_1
- Grigore, M. N.; Cojocariu, A. Fighting with salt-affected areas. In: Grigore, M. N. (ed.). *Handbook of halophytes*. Cham: Springer, 2021. Cap.3, p.95-140. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57635-6_129
- Holanda, J. S. de; Amorim, J. R. A. de; Ferreira Neto, M.; Holanda, A. C.; Sá, F. V. Qualidade da água para irrigação In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. (eds.). *Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados*. 2.ed Fortaleza: INCTSal, 2016. Cap. 4, p.35-47.
- Hollaender, A.; Aller, J. C.; Epstein, E.; San Pietro, A.; Zaborsky, O. R. *The biosalseine concept: An approach to the utilization of underexploited resources*. New York: Springer, 1979. 391p.
- Hulugalle, N. R.; Jaya, R.; Luther, G. G.; Ferizal, M.; Daud, S.; Irhas, Y.; Yufniati, Z. A.; Feriyanti, F.; Han, B. Physical properties of tsunami-affected soils in Aceh, Indonesia: 2½ years after the tsunami. *Catena*, v.77, p.224–231, 2009.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção agrícola – lavoura temporária. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/14/10193>. Acesso em: Março, 2021.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate change 2013: the physical science basis*. Cambridge: University Press, 2013. 1535p.
- Jennings, D. H. The effect of sodium chloride on higher plants. *Biological Reviews*, v.51, p.453-86, 1976. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1976.tb01064.x>.

- Kheir, A. M.; El Baroudy, A.; Aiad, M. A.; Zoghdan, M. G.; El-Aziz, M. A. A.; Ali, M. G.; Fullen, M. A. Impacts of rising temperature, carbon dioxide concentration and sea level on wheat production in North Nile delta. *Science of Total Environment*, v.651, p.3161-3173, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.209>.
- Kozłowski, T. T. Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree Physiology*, v.17, p.1-28, 1997. <https://doi.org/10.1093/treephys/17.7.490>
- Ladeiro, B. Saline agriculture in the 21st century: using salt contaminated resources to cope food requirements. *Journal of Botany*, v.2012, Article ID 310705, 2012.
- Lacerda, C. F. de; Cavalcante, E. S.; Neves, A. L. R.; Melo, A. S. de; Medeiros, W. J. F. Estresse salino em plantas e forma de mitigação. In: Cerqueira, P. R. S.; Lacerda, C. F. de; Araújo, G. G. L.; Gheyi, H. R.; Simões, W. L. (eds.). *Agricultura irrigada em ambientes salinos*. 1.ed. Brasília: CODEVASF, 2021a. Cap. 7, p.202-228.
- Lacerda, C. F.; Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F.; Costa, R. N. T.; Sousa, G. G.; Lima, G. S. Strategies for the use of brackish water for crop production in Northeastern Brazil. In: Taleisnik, E.; Lavado, R. S. (eds.). *Saline and alkaline soils in Latin America*. Charm: Springer, 2021b. Cap.4, p.71-99.
- Lacerda, C. F.; Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F. Biosaline agriculture in Brazil. Available at: <https://agribrasilis.com/2023/06/21/biosaline-agriculture-challenges/>, AgriBrasilis, 2023.
- Larcher, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: RIMA, 2000. 531p.
- Lee, K. J.; Yoo, S.; Park, S. W.; Lee, S. J.; Suriyapananont, V.; Namuco, L. O. Effects of 2004-tsunami on the changes from 2005 to 2006 in salinity of soil profiles and groundwater wells and on mortality of garden fruit trees in Maldives. *Forest Science and Technology*, v.4, p.14-27, 2008. <https://doi.org/10.1080/21580103.2008.9656333>.
- Lessa, C. I. N.; Lacerda, C. F.; Cajazeiras, C. C. de A.; Neves, A. L. R.; Lopes, F. B.; Silva, A. O.; Sousa, H. C.; Gheyi, H. R.; Nogueira, R. da S.; Lima, S. C. R. V.; Costa, R. N. T.; Sousa, G. G. de. Potential of brackish groundwater for different biosaline agriculture systems in the Brazilian semi-arid region. *Agriculture*, v.13, 550, 2023.
- Levitt, J. *Responses of plants to environmental stresses*. New York: Academic Press INC., 1972. 697p.
- Maas, E. V.; Hoffman, G. H. Crop salt tolerance - Current assessment. *Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE*, v.103, p.115-134, 1977.

- Maggio, A.; Raimondi, G.; Martino, A.; De Pascale, S. Salt stress response in tomato beyond the salinity tolerance threshold. *Environmental and Experimental Botany*, v.59, p.276-282, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2006.02.002>
- Marengo, J. A.; Torres, R. R.; Alves, L. M. Drought in northeast Brazil: past, present and future. *Theoretical and Applied Climatology*, v.129, p.1189-1200, 2017.
- Marohn, C.; Distel, A.; Dercon, G.; Wahyunto, Tomlinson, R.; Noordwijk, M. V.; Cadisch, G. Impacts of soil and groundwater salinization on tree crop performance in post-tsunami Aceh Barat, Indonesia. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v.12, p.2879-2891, 2012.
- Masters, D. G.; Benes, S. E.; Norman, H. C. Biosaline agriculture for forage and livestock production. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.119, p.234-248, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.08.003>.
- Mattsson, E.; Ostwald, M.; Nissanka, S. P.; Holmer, B.; Palm, M. Recovery and protection of coastal ecosystems after tsunami event and potential for participatory forestry CDM – Examples from Sri Lanka. *Ocean & Coastal Management* v.52, p.1-9, 2009.
- Medeiros, W. J. F.; Lacerda, C. F.; Zandavalli, R. B.; Araújo, I. C. S.; Sousa, C. H. C.; Bezerra, A. M. E.; Ribeiro, A. A.; Braz, R. S. The ecophysiological responses of *Copernicia prunifera* palm trees to soil constraints and competition with invasive *Cryptostegia madagascariensis* in tropical dryland. *Acta Physiologiae Plantarum*, v.45, p.41, 2023.
- Medeiros, W. J. F.; Oliveira, F. I. F.; Lacerda, C. F.; Sousa, C. H. C.; Cavalcante, L. F.; Silva, A. R. A.; Ferreira, F. S. Isolated and combined effects of soil salinity and waterlogging in seedlings of 'green dwarf' coconut. *Semina*, v. 39, 2018. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n4p1459>.
- Miyamoto, S.; Martinez, I.; Padilla, M.; Portillo, A.; Ornelas, D. Landscape plant lists for salt tolerance assessment. El Paso: Texas Agricultural Experiment Station, USDA, 2004. 15p.
- Moore, K.; Wajsbrot, C.; Burgart, C.; Fisher, L. A. Test Method to evaluate salt tolerance of ornamentals. *HorthTechnology*, v.19, p.434-437, 2019.
- Munns, R.; Tester, M. Mechanism of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, v.59, p.651-681, 2008. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Murad, K. F. I.; Hossain, A.; Fakir, O. A.; Biswas, S. K.; Sarker, K. K.; Rannu, R. P.; Timsina, J. Conjunctive use of saline and fresh water increases the productivity of maize in saline coastal region of Bangladesh. *Agricultural Water Management*, v.204, p.262-270, 2018.

- Negacz, K.; Melek, Z.; de Vos, A.; Vellinga, P. Saline soils worldwide: Identifying the most promising areas for saline agriculture. *Journal of Arid Environments*, v.203, e104775, 2022a. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20220058>.
- Negacz, K.; Vellinga, P.; Barrett-Lennard, E.; Choukr-Allah, R.; Elzenga, T. Future of sustainable agriculture in saline environments (1 ed.). Boca Raton, CRC Press, 2022b, 519p.
- Neves, A. L. R.; Lacerda, C. F. de; Oliveira, A. C. de; Sousa, C. H. C. de; Oliveira, F. I. F.; Ribeiro, M. S. S. Quantitative and qualitative responses of *Catharanthus roseus* to salinity and biofertilizer. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.22, p.22-26, 2018. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n1p22-26>.
- Nikalje, G. C.; Srivastava, A. K.; Pandey, G. K.; Suprasanna, P. Halophytes in biosaline agriculture: mechanism, utilization, and value addition. *Land Degradation & Development*, v.29, p.1081-1095, 2017. <https://doi.org/10.1002/ldr.2819>.
- Oliveira, E. V.; Lacerda, C. F. de; Neves, A. L. R.; Gheyi, H. R.; Oliveira, D. R.; Oliveira, F. I. F.; Viana, T. V. A. A new method to evaluate salt tolerance of ornamental plants. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, v.30, p.173-180, 2018.
- Pasternak, D.; San Pietro, A. Biosalinity in action: Bioproduction with saline water. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers, 1985. 369p.
- Porto, E. R.; Amorim, M. C. C.; Dutra, M. T.; Paulino, R. V.; Brito, L. T. L.; Matos, A. N. B. Rendimento da *Atriplex nummularia* irrigada com efluentes da criação de tilápia em rejeito da dessalinização de água. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p. 97-103, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000100015>.
- Porto, E. R.; Hermes, L. C.; Ferreira, R. S.; Veiga, H. P.; Saia, A. Agricultura biosalina: desafios e alternativas para o uso de águas salobras e salinas no semiárido brasileiro. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2019. 38p.
- Prisco, J. T.; Gomes Filho, E.; Miranda, R. S. Physiology and biochemistry of plants growing under salt stress. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. (eds.). Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. 2.ed. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade. Fortaleza: INCTSal, 2016. Cap.12, p. 163-180.
- Qureshi, R. H; Barrett-Lennard, E. G. Saline agriculture for irrigated land in Pakistan: a handbook. Canberra: ACIAR, 1998.

- Renaud, F. G.; Le, T. T. H.; Lindener, C.; Guong, V.; Sebesvari, Z. Resilience and shifts in agro-ecosystems facing increasing sea-level rise and salinity intrusion in Ben Tre Province, Mekong Delta. *Climatic Change*, v.133, p.69-84, 2015.
- Rhoades, J. D.; Kandiah, A.; Mashali, A. M. Uso de águas salinas para produção agrícola. Campina Grande: Estudos FAO - Irrigação e Drenagem 48, 2000. 117p.
- Ribeiro, M. R.; Ribeiro Filho, M. R.; Jacomine, P. K. T. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: Gheyi, R. H.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. (eds.). Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. 2. ed. Fortaleza: INCTSAL, 2016. Cap. 2, p. 9-15.
- Richards, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Riverside: USDA/ United States Salinity Laboratory, 1954. 160p. Agriculture Handbook, 60
- Santos, J.; Al-Azzawi, M.; Aronson, J. Flowers, T. J. eHALOPH a database of salt-tolerant plants: Helping put halophytes to work. *Plant Cell Physiology*, v.57, e10, 2016.
- Santos, M. M. S.; Lacerda, C. F.; Neves, A. L. R.; Sousa, C. H. C.; Ribeiro, A. A.; Bezerra, M. A.; Araújo, I. C. S.; Gheyi, H. R. Ecophysiology of the tall coconut growing under different coastal areas of northeastern Brazil. *Agricultural Water Management*, 232, e106047, 2020.
- Santos Júnior, J. A.; Lacerda, C. F.; Gheyi, H. R. Fontes de águas salobras no semiárido brasileiro: ocorrência e caracterização química. In: Cerqueira, P. R. S.; Lacerda, C. F.; Araújo, G. G. L.; Gheyi, H. R.; Simões, W. L. (eds.). Agricultura irrigada em ambientes salinos. Brasília: CODEVASF, 2021. Cap. 4, p. 118-148.
- Saqib, M.; Akhtar, J.; Abbas, G.; Wahab, H. A. Saline agriculture: a climate smart integrated approach for climate change resilience in degraded land areas. In: Leal Filho, W. Handbook of climate change resilience. Cham: Springer, 2020. Cap.112, p.2287-2307.
- Sanoubar, R.; Cellini, A.; Veroni, A.M.; Spinelli, F.; Masia, A.; Vittori, A.L.; Orsini, F.; Gianquinto, G. Salinity thresholds and genotypic variability of cabbage (*Brassica oleracea* L.) grown under saline stress. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v.96, p.319-330, 2016. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7097>
- Silva, F. J. A.; Araújo, A. L.; Souza, R. O. Águas subterrâneas no Ceará – poços instalados e salinidade. *Revista Tecnologia*, v. 28, p.136-159, 2007.

- Silva, J. E. S. B.; Matias, J. R.; Guirra, K. S.; Aragão, C. A.; Araújo, G. G. L.; Dantas, B. F. Development of seedlings of watermelon cv. Crimson Sweet irrigated with biosaline water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, p.835-840, 2015.
- Silva Júnior, L. G. A.; Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F.; Composição química de águas do cristalino do nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.3, p.11-17, 1999. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v3n1p11-17>
- Silveira, J. A. G.; Silva, S. L. F. Silva, E. N.; Viegas, R. A. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. (eds.). 2.ed. Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTsal, 2016. Cap.13, p.181-196.
- Silveira, J.A.G.; Sousa, R. H. V. Looking for a systemic concept and physiological diagnosis of a plant stress state. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 2024. <https://doi.org/10.1007/s40626-024-00318-3>
- Soares, T. M.; Duarte, S. N.; Silva, E. F. F.; Paz, V. P. S.; Oliveira, J. L. B. Uso de águas salobras em sistemas hidropônicos de cultivo. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. (eds.). Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. 2.ed. Fortaleza: INCTsal, 2016, Cap.23, p.373-394.
- Soares Filho, W. S.; Gheyi, H. R.; Brito, M. E. B; Nobre, R. G.; Fernandes, P. D.; Miranda, R. S. Melhoramento genético vegetal e seleção de cultivares tolerantes à salinidade. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. (eds.). Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. 2.ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. Cap.17, p.259-274.
- Sousa, C. H. C. de; Silva, F. L. B.; Lacerda, C. F. de; Costa, R. N. T.; Gheyi, H. R. Instalação de um sistema de drenagem subterrânea em um solo salino-sódico cultivado com coco em Pentecoste - Ceará. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.5, p.16-23, 2011.
- Souza, E. R.; Freire, M. B. G. S.; Melo, D. V. M.; Montenegro, A. A. S. Management of *Atriplex nummularia* Lindl. in a salt affected soil in a semiarid region of Brazil. *International Journal of Phytoremediation*, v.16, p.73-85, 2014. <https://doi.org/10.1080/15226514.2012.759529>.
- Tahjib-Ul-Arif, M.; Hasan, M. T.; Rahman, M. A.; Nuruzzaman, M.; Rahman, A. M. S.; Hasanuzzaman, M.; Haque, M. R.; Hossain, M. A.; Latef, A. A. H. A.; Murata, Y.; Brestic, M. Plant response to combined salinity and waterlogging stress: current research progress and future prospects. *Plant Stress*, v.7, 100137, 2023.

Taiz, L.; Zeiger, E.; Møller, I. M.; Murphy, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

Terceiro Neto, C. P. C.; Medeiros, J. F. de; Dias, N. da S.; Gheyi, H. R.; Santos Júnior, J. A.; Chipana-Rivera, R.; Suddarth, S. A. R. P.; Lima, B. L. de C.; Fernandes, C. do S. S.; Lemos Neto, H. de S. Irrigation management strategies with brackish water in production and post-harvest quality of Toad Skin-melon. *Water Air and Soil Pollution*, v.232, p.1-9, 2021.

Tipırdamaz, R.; Karakas, S.; Dikilitas, M. Halophytes and the future of agriculture. In: Grigore, M. N. (ed.). *Handbook of halophytes*. Cham: Springer, 2021. Cap.70, p.2225-2239.

Wicke, B.; Smeets, E. M. W.; Akanda, R.; Stille, L.; Singh, R. K.; Awan, A. R.; Mahmood, K.; Faaij, A. P. C. Biomass production in agroforestry and forestry systems on salt-affected soils in South Asia: Exploration of the GHG balance and economic performance of three case studies. *Journal of Environmental Management*, v. 127, p. 324-334, 2013.

Yang, Y.; Bocs, S.; Fan, H.; Armero, A.; Baudouin, L.; Xu, P.; Xu, J.; This, D.; Hamelin, C.; Iqbal, A.; Qadri, R.; Zhou, L.; Lim J.; Wu, Y.; Ma, Z.; Issali, A. E.; Rivallan, R.; Liu, N.; Xia, W.; Peng, M.; Xiao, Y. Coconut genome assembly enables evolutionary analysis of palms and highlights signaling pathways involved in salt tolerance. *Communications Biology*, 4, 2021. <https://doi.org/10.1038/s42003-020-01593-x>.

ECOFISIOLOGIA DE HALÓFITAS

Oriel Herrera Bonilla^{1*}, César Serra Bonifácio Costa²,
Eliseu Marlônio Pereira de Lucena¹

RESUMO: Áreas costeiras e regiões semiáridas apresentam uma forte tendência para a salinização dos solos devido, principalmente, à influência da água do mar na costa, fatores climáticos, deficiência na drenagem do solo e às condições geológicas. A influência salina em todas as latitudes permitiu o desenvolvimento de muitas espécies vegetais capazes de crescerem e de se reproduzirem em solos sujeitos a esse estresse que inibe o crescimento e o desenvolvimento das maioria das plantas. Estas plantas são conhecidas como halófitas e conseguem crescer em solos com teor de sais acima de 50 mM, podendo algumas tolerarem concentrações salinas maiores do que da água do mar. As halófitas, no geral são altamente eficientes no uso da água, apresentam elevada pressão osmótica em suas células, o que favorece a absorção de água e a resistência ao deficit hídrico. As enzimas envolvidas no metabolismo do carbono ou na fotofosforilação das halófitas são tão sensíveis à presença de NaCl quanto nas glicófitas. Do ponto de vista fisiológico, a resistência ao sal nas espécies vegetais pode ser obtida pelo controle da presença do sal (exclusão, excreção, diluição e compartimentalização) ou tolerância ao sal (compartimentalização e tolerância/ajuste osmótico). Adicionalmente, várias características anatômicas e morfológicas presentes nas halófitas possibilitam que elas tenham taxas de transpiração menores do que as plantas glicófitas, o que resulta na redução da entrada de água salgada para

1 Universidade Estadual do Ceará - UECE, Fortaleza - CE, Brasil

2 Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Rio Grande - RS, Brasil

* Autor correspondente: oriel.herrera@uece.br

dentro das raízes. Halófitas também possuem formas de propagação e ocupação espacial que melhoram suas chances de sobrevivência em ambientes salinos, além de aumentarem suas capacidades de dispersão (e.g., polimorfismo das sementes, dormência induzida pela salinidade, avançado desenvolvimento embrionário e viviparidade). Todos esses aspectos e a capacidade de propagação vegetativa de várias espécies perenes são importantes para domesticar e produzir novos genótipos com características de halófitas. Estas já veem sendo cultivadas em solos salinos, irrigadas com águas salinas e da aquicultura salina, e alcançando valores de produtividade de biomassa equivalentes aos das cultivares glicófitas tradicionais irrigadas com águas doce. Essas qualidades fazem das halófitas, plantas desejáveis, para a produção de alimentos e forragens em áreas salinizadas e regiões com baixa precipitação pluvial e aquíferos profundos.

Palavras-chave: tolerância a salinidade, mecanismos de propagação, cultivos salinos.

ECOPHYSIOLOGY OF HALOPHYTES

ABSTRACT: Coastal areas and semi-arid regions show a strong tendency for soil salinization, mainly due to the influence of sea water on the coast, climatic factors, deficiency in soil drainage and geological conditions. The saline influence at all latitudes allowed the development of many plant species capable of growing and reproducing in soils subject to this stress, which inhibits the growth and development of most plants. These plants are known as halophytes and can grow in soils with salt content above 50 mM, and some can tolerate saline concentrations higher than those of sea water. In general, halophytes are highly efficient in water use, have high osmotic pressure in their cells, which favors water absorption and resistance to water deficit. Enzymes involved in carbon metabolism or photophosphorylation in halophytes are as sensitive to the presence of NaCl as in glycophytes. From a physiological point of view, salt resistance in plant species can be obtained by controlling the presence of salt (exclusion, excretion, dilution and compartmentalization) or salt tolerance (compartmentalization and tolerance/osmotic adjustment). Additionally, several anatomical and morphological characteristics present in halophytes allow them to have lower transpiration rates than glycophytic plants, which results in reduced entry of salt water into the roots. Particular mechanisms of propagation and spatial occupation develop by halophytes improve their chances of survival in saline environments, as well as increase their dispersal capabilities (e.g., seed polymorphism, salinity-induced dormancy, advanced embryonic development and viviparity). All these features and the capacity for vegetative propagation of several perennial species are important to domesticate and produce new genotypes with halophytic characteristics. Nowadays, halophytes are cultivated in saline soils, irrigated with saline waters and aquaculture effluents, reaching values of biomass productivity values similar to those of traditional glycophytic cultivars irrigated with fresh water. The highlighted traits make halophytes desirable plants for food and forage production in salt affected areas and regions with low rainfall and deep aquifers.

Key words: salinity tolerance, propagation mechanisms, saline cultivation.

1 INTRODUÇÃO

Uma abordagem holística é necessária para determinar a natureza das respostas das plantas aos habitats salinos, sendo o seu estabelecimento e adaptação a esses ambientes de estresse, condicionada à habilidade de driblar ou aproveitar esse excesso de sais, através de ajustes metabólicos. Além da tolerância de espécies das plantas à salinidade, um complexo de fatores bióticos e abióticos interagem para determinar o nível de produção de biomassa, reprodução e distribuição de espécies ao longo de gradientes ambientais em habitats com alto grau de salinidade. No grau em que esses fatores variam, estes afetam o crescimento e a distribuição das plantas em diferentes comunidades zonais e, de um ano para o outro, em função de marcantes variações da salinidade do solo. Fatores climáticos e edáficos também desempenham um papel significativo na determinação do sucesso dos vegetais em um determinado habitat (Ungar, 1991; Cheeseman, 2015).

As halófitas são plantas que conseguem desenvolver todos os estádios fenológicos em ambientes salinos, tais como, enfolhamento, desfolhamento, floração e frutificação. Essas plantas atraíram desde muito cedo, o interesse de botânicos e ecologistas em todo o mundo. Em sua maioria declaradas como “plantas estranhas”, mas logo se percebeu que são particularmente adaptadas a locais especiais com alto teor de sal (especialmente NaCl), apresentando poucas plantas competidoras nos ambientes onde elas crescem.

No decorrer das últimas décadas, muitas definições tem sido dadas, de quando chamar uma planta de halófito. Critérios bastante diferentes foram usados como base (Breckle, 1998; Manounasaki e Kalogeratis, 2011). O limiar de concentração de sal que separa as plantas halófitas das plantas sensíveis à salinidade (glicófitas) tem sido estabelecido em diferentes níveis por diferentes autores, porém sempre acima de 50mM de NaCl. Segundo Orcutt e Nilsen (2000), plantas halófitas suportam concentrações salinas variando entre 50 à 500 mM de NaCl. Flowers et al. (2010) utiliza um limiar de 200 mM NaCl, mas outros utilizaram 80 mM NaCl ($\approx 7,8 \text{ dS m}^{-1}$) para distinguir entre plantas halófitas e glicófitas. Adotando a última concentração citada, as plantas halófitas corresponderiam a aproximadamente 1% da flora mundial (ou 2000-3000 espécies). Halófitas apresentam origem polifilética, são encontradas em manguezais, marismas, desertos salgados e águas costeiras rasas, sendo que o nível de halofitismo (i.e., o grau de tolerância à salinidade) varia consideravelmente entre as espécies. Algumas plantas evoluíram tolerância à salinidade semelhante à água do mar e até maiores, na faixa de de 500-1000 mM (Flowers et al., 2010; Rozema e Schat, 2013). No planeta, teríamos de acordo com as condições climáticas e edáficas locais, vários grupos de halófitas, que corresponderem principalmente aquelas áreas com marcada presença salina no solo. Essas áreas salinas do mundo compreendem as marismas (banhados salinos) de latitudes temperadas, os mangues dos subtropicos e trópicos, solos salinos continentais (encontrados adjacentes a lagos salgados, por exemplo, o Grande Lago Salgado nos EUA, Neusiedler See na Áustria) e desertos salgados, entre outros (Poljakoff-Mayber e Gale, 1975; Ozturk et al., 2006).

Neste capítulo caracterizaremos as principais plantas halófitas em ambientes costeiros e continentais, em diferentes regiões geográficas do mundo, bem como apresentamos os principais mecanismos de prevenção do estresse salino e de tolerância a salinidade utilizados por estas plantas. Serão também discutidas as formas de propagação e ocupação espacial que melhoram as chances de sobrevivência das halófitas em ambientes salinos, bem como os diferentes sistemas de cultivo dessas plantas em solos salinizados e com irrigação salina.

2 DISTRIBUIÇÃO DA VEGETAÇÃO COSTEIRA: MARISMAS E MANGUEZAIS

2.1 Marismas

As marismas (“salt marshes”; conhecidas como pântanos salinos marinhos ou banhados salgados) são geralmente encontradas em áreas entremarés sedimentares em costas subtropicais e temperadas do mundo. A vegetação dominante é essencialmente de ervas fanerogâmicas, embora alguns arbustos ocorram, também pode ter uma extensa vegetação de algas. Em climas mais quentes das regiões tropicais, as marismas são substituídas por manguezais, onde a vegetação dominante são árvores, arbustos e alguns cipós que cobrem mais de 181 mil quilômetros quadrados em mais de 100 países (IUCN, 2002).

Em termos biogeográficos, as marismas tendem a ser caracterizadas por grupos típicos de plantas halofíticas para diferentes regiões geográficas. Com base nesta premissa Poljakoff-Mayber e Gale (1975), definiram os principais grupos vegetacionais costeiros com características halofíticas:

- **Grupo Ártico:** Essas marismas se estendem ao redor do círculo ártico e existem sob um ambiente extremo, de modo que as espécies são poucas e a sucessão é simples. A espécie dominante é a grama *Puccinellia phryganodes*, mas também são encontradas duas espécies de *Carex*, *C. subspathacea* e *C. Maritima*, sendo importantes nos níveis superiores mais secos.
- **Grupo da Europa do Norte:** Isso inclui marismas da Espanha para o norte ao redor do Canal Inglês e todo o Mar do Norte e costa do Mar Báltico, bem como ao redor da costa da Grã-Bretanha e Irlanda. Podem ser reconhecidos subgrupos de plantas halófitas que estão relacionados com diferenças do tipo de solo, por exemplo, no Sudoeste de Irlanda, às diferenças de salinidade, e no Báltico salino, ou à presença de espécies halofíticas espontâneas, como *Spartina maritima*, *Spartina townsendii* e *Spartina anglica* da Inglaterra, Irlanda e França.
- Em toda essa região há uma predominância de espécies de halófitas anuais como *Salicornia* spp, *Puccinellia maritima* e *Juncus gerardi*, acompanhada de uma grande comunidade heterogênea de halófitas herbáceas.

- **Grupo do Mediterrâneo:** Essas marismas apresentam espécies características de *Arthrocnemum* e *Limonium*. O subgrupo ocidental tem afinidades florísticas claras com o grupo do Norte da Europa, enquanto o subgrupo oriental tem afinidades florísticas com plantas dos desertos salinos do interior da Eurásia. Por exemplo, destaca-se a presença de *Halocnemum strobilaceum*, *Petrosimonia crassifolia*, *Suaeda altissima* e *Anabasis aphylla* próximo ao mar Cáspio.
- **Grupo australiano:** Este grupo é caracterizado por algumas espécies halofíticas especificamente do hemisfério sul, como *Salicornia australis*, *Samolus repens*, *Suaeda novae zelandiae*, e *Arthrocnemum spp.*, entre outras. Floristicamente, elas evidenciam características especiais, mas há diferenças florísticas suficientes para separar os pântanos salinos da Austrália dos da Nova Zelândia em dois subgrupos, *Arthrocnemum spp.* e *Frankenia spp.*, respectivamente.
- **Grupo sulamericano:** neste grupo se enquadram plantas halofitas que apresentam diversidade de geoformas associadas a geologia do terreno, topografia, regime de chuvas, fortemente influenciadas pela salinidade da água do mar e marcada incidência do spray marinho, solos com baixa disponibilidade de nutrientes e reduzida capacidade de retenção de água. Estas plantas são encontrados em ambas as costas da América do Sul e, comparados com outras plantas presentes em solos e marismas em outros lugares (Medina et al., 2008; Costa e Herrera, 2016). Floristicamente existem espécies locais dos gêneros *Spartina*, *Scirpus*, *Juncus*, *Distichlis*, *Salicornia*, *Heterostachys*, *Atriplex*, *Suaeda* e *Allenrolfea* (Cantero et al., 2016).
- **Grupo tropical:** Os solos salinos tropicais da costa brasileira recobertas por vegetação herbácea constituem marismas tropicais. Bancos de plantas halofitas herbáceas ocorrem como franjas nas bordas inferiores dos manguezais. Espécies típicas de franjas no entremarés inferior são *Spartina alterniflora* e *Sporobolus virginicus*. Outras marismas tropicais são frequentemente encontradas como zonas de transição de manguezais e áreas secas de terras altas, localizadas acima do nível médio das marés sizíguas (“marés vivas”), seja no semiárido ou em costas secas sazonalmente, e recebem diferentes notações como “apicum”, “salgado” e “areal”. As plantas vasculares são distribuídas cada vez mais esparsamente à medida que a salinidade do solo se eleva em áreas mais altas para 2-3 vezes a concentração da água do mar (Costa e Herrera, 2016). As espécies típicas desses ambientes atingidos apenas pelas marés sizíguas são *Sesuvium portulacastrum* e *Batis maritima*, entre outras (Herrera e Lucena, 2021).

2.2 Manguezais

As árvores de mangues são comumente halofitas facultativas, que desenvolvem-se na zona entre marés nos estuários, de solo instável, salino, lamacento, rico em matéria orgânica e sujeitos a inundação periódica. No hemisfério norte, os manguezais se estendem ao norte do equador até latitudes que variam entre 24° e 32° N (Hogarth, 2007). Manguezais ocorrem

também no sul do Japão, enquanto no Atlântico norte, Flórida e Bermudas representam seu limite mais setentrional. Na costa pacífica dos Estados Unidos eles não ocorrem ao norte da latitude 24° 38' N. No hemisfério sul, manguezais são encontrados no Brasil (até a localidade de Laguna, SC; 28° 30' S) ao sul do trópico de Capricórnio, mas na costa oeste da América do Sul eles não se estendem muito além de 4° S.

Na África, a vegetação de manguezal ocorre até 32° S na costa leste, mas na costa oeste o limite é 10°S, novamente relacionado fatores climáticos como a temperatura da água (mais especificamente a influência da corrente fria de Benguela). Na Austrália e na Nova Zelândia, *Avicennia* spp ocorre até 37° S.

3 DISTRIBUIÇÃO FLORÍSTICA CONTINENTAL DE HALÓFITAS DE SOLOS SALINOS E DESERTOS DE SAL

Solos salinos continentais e desertos salgados representam um tipo distinto de habitat, onde o problema da salinidade está essencialmente relacionado com as águas subterrâneas e também onde estão envolvidos sais de sódio diferentes do cloreto de sódio, bem como sais de magnésio. A vegetação dominante nestes habitats é essencialmente herbácea-arbustiva. Esses planos vegetados salinos continentais e desertos de sal podem ser divididos em grupos regionais da mesma forma que as marismas e os manguezais, nas regiões costeiras. A divisão é baseada essencialmente em diferenças florísticas, mas não há um centro de distribuição como na vegetação de mangue, nem o método de formação do deserto de sal parece ser tão importante quanto o método de formação de marismas. Os planos vegetados salinos no interior do Brasil compartilham traços genéticos e ecossistêmicos semelhantes de outros solos salinos do mundo, como o Oriente Médio “Sabkhas” e os franceses “tannes” (Albuquerque et al., 2014).

Os principais grupos vegetacionais halofíticos que encontramos nesses ambientes são (Zhao et al., 2011; Costa e Herrera 2016):

- **Grupo europeu** As principais espécies presentes neste grupo estão formados pelo: o capim *Puccinellia distans*, *Crispis aculeata*, *Aster tripolium* var. *pannonicus* e *Lepidium cartilagineum*, etc.).
- **Grupo asiático:** As principais espécies encontradas são: *Kalidium foliatum*, *K. Caspicum*, *Halocnemum crassifolia*, *Suaeda* spp, espécies do gênero *Atriplex*, *Salicornia* spp.; *Kochia* spp.; e *Artemisia*, entre outras.
- **Grupo africano** - principais espécies dominantes: *Salicornia fruticosa*, *Sphenopus divaricatus*, *Halopeplis perfoliata*, *Aeluropus lagopoides* e *Scirpus robutus*).
- **Grupo norteamericano** - principais exemplos: *Salicornia utahensis*, *Salicornia rubra*, *Allenrolfea occidentalis*, *Sarcobatis vermiculata*, *Atriplex confertifolia*, *Puccinellia nuttallii*, *Sporobolus airoides* e *Thamarix pentandra*.

- **Grupo Sul americano** - principais espécies: *Heterostachys Ritteriana*, *Allenrolfea patagonica*, *Spartina montevidensis*, *Sesuvium portulacastrum*, *Blutaparon vermiculare* e *Atriplex nummularia*.
- **Grupo australiano** - principais representante halofíticos: *Atriplex* spp., *Arthrocnemum halocnemoides*.

4 ESTRESSE SALINO E A SOBREVIVÊNCIA À SALINIDADE

4.1 O dano pelo sal à planta

De um modo geral, a maioria das plantas não necessita de sódio e não sobrevivem em ambientes extremamente salinos, pois nestas condições a solução de solutos adjacente às raízes pode ser mais concentrada que as células vegetais, promovendo a saída da água das raízes por osmose. Podemos fazer alguns exercícios para entender o processo: por exemplo, digamos que a planta consiga absorver a água e excluir os íons de sódio; nesta condição, a solução em torno das raízes ficará mais concentrada e conseqüentemente irá proporcionar a perda de água das raízes ao ponto de formar crostas de sal em torno dela, bloqueando o suprimento de água. Outro agravante é que os íons de sódio podem entrar na planta de forma preferencial em relação aos íons de potássio, deixando a planta deficiente neste nutriente e inibindo algumas enzimas importantes ao seu metabolismo (Raven et al., 2014).

As enzimas envolvidas no metabolismo do carbono ou na fotofosforilação das halófitas são tão sensíveis à presença de NaCl quanto nas glicófitas, podendo promover a inibição da fotossíntese quando o Na⁺ e/ou Cl⁻ estão em níveis elevados nos cloroplastos, mesmo sabendo que o transporte de elétrons na fotossíntese é menos sensível ao sal. Desta forma, são necessários de outros mecanismos para impedir o dano pelo sal nas halófitas, pois a sua resistência aos sais não é uma consequência do metabolismo ser resistente ao sal (Taiz et al., 2016). Adicionalmente, mesmo as mais tolerantes halófitas têm limites fisiológicos ao excesso de sal em seu sistema radicular (Glenn e O'Leary, 1984; Flowers et al., 1997; Glenn et al., 1998), que uma vez superados podem inibir fortemente o crescimento das plantas.

4.2 Estratégias da planta para evitar o dano pelo sal

Para reduzir o dano pelo sal, as plantas necessitam excluí-los de meristemas, principalmente da parte aérea, isto é, de folhas que estão se expandindo e fotossintetizando ativamente. Assim, em plantas sensíveis ao sal, a sua resistência a níveis moderados de salinidade depende da capacidade das raízes evitar que íons prejudiciais cheguem à parte aérea, enquanto que nas plantas resistentes, elas devem agir no momento em que as estrias de Caspary bloqueiam os íons para o xilema na via apoplástica e é necessário mudar para rota simplástica, isto é, atravessar as membranas celulares (Taiz et al., 2016).

A tolerância das halófitas à salinidade é devido a uma série de mudanças adaptativas fisiológicas, anatômicas e morfológicas de controle de entrada, compartimentação e excreção do cloreto de sódio, bem como produção de osmólitos e de mitigação do estresse oxidativo induzido pelo baixo potencial osmótico dos ambientes salinos (Duarte et al., 2013; Rozema e Schat, 2013; Raven et al., 2014).

A compreensão do sucesso de uma dada espécie halófitas em ambiente salino não depende apenas do conhecimento da forma como os organismos individuais otimizam a sua sobrevivência mediante estruturas morfo-anatômicas e/ou vias metabólicas. Halófitas também possuem formas de propagação e ocupação espacial que melhoram suas chances de sobrevivência em ambientes salinos, além de aumentarem suas capacidades de dispersão. Todos esses aspectos são importantes de serem conhecidos quando objetivamos domesticar e produzir novas cultivares halófitas.

5 ADAPTAÇÕES FISIOLÓGICAS À SALINIDADE

Neste tópico iremos priorizar as mudanças fisiológicas, as quais variam entre as espécies. Do ponto de vista fisiológico, a resistência ao sal nas espécies vegetais pode ser obtida pelo controle da presença do sal (exclusão, eliminação, diluição e compartimentalização) ou tolerância ao sal (compartimentalização e tolerância/ajuste osmótico).

5.1 Bomba de H⁺

As bombas de H⁺ (ATPase) na membrana plasmática e tonoplasto fornecem a força motora para o transporte secundário de íons associado as respostas das plantas ao estresse salino (Figura 1). A atividade das bombas de H⁺ é crescente com a salinidade e a sua regulação se dá pela expressão gênica induzida. Desta forma, o transporte de Na⁺ é intermediado pelo gene SOS1, transportador de Na⁺-H⁺ do tipo antiporte na membrana plasmática, o qual é regulado pelos genes SOS2 (serina/treonina quinase) e SOS3 (fosfatase), que são reguladas pelo Ca²⁺ (Figura 2) (Taiz et al., 2016).

Figura 1. Proteínas de transporte de membranas mediando o transporte de sódio, potássio e cálcio durante o estresse salino (Taiz et al., 2016).

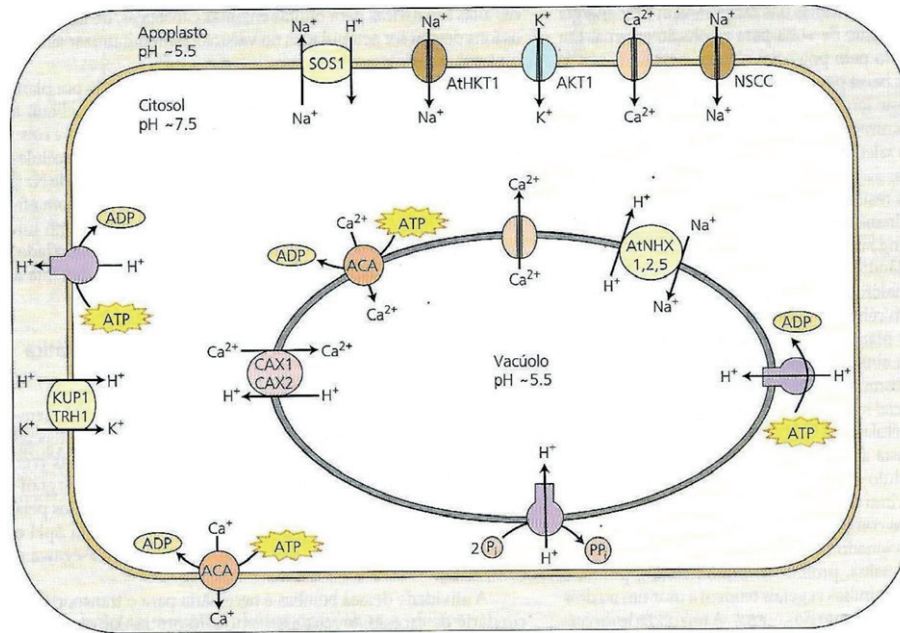
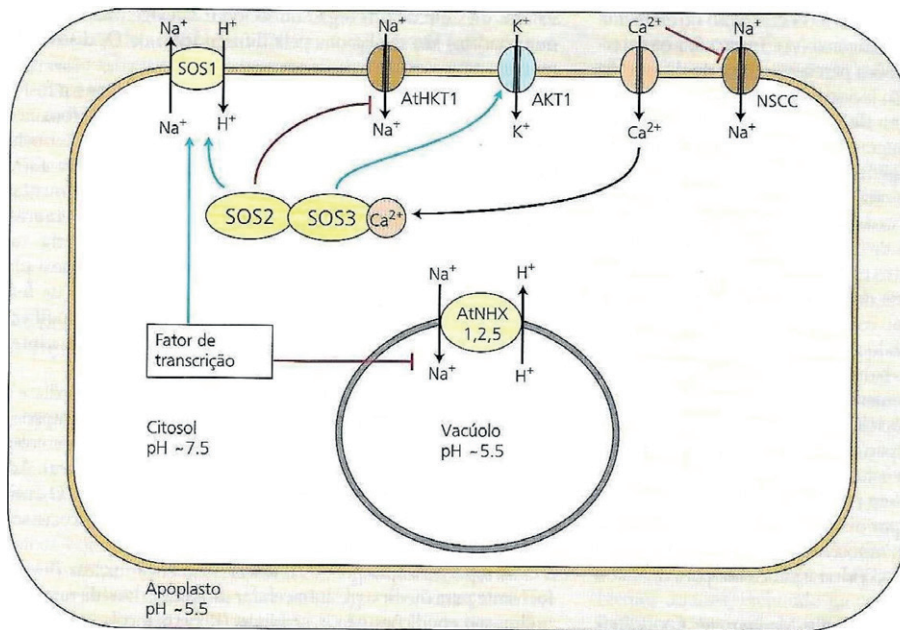


Figura 2. Regulação da homeostase iônica pela rota SOS de transdução de sinal, estresse salino e níveis de cálcio (Taiz et al., 2016).



5.2 Absorver sódio pelas raízes e isolá-lo do citoplasma das células (exclusão de sal)

Outro mecanismo é absorver sódio pelas raízes e isolá-lo do citoplasma das células da planta, que é o que acontece na *Salicornia* sp. (Chenopodiaceae), a qual possui uma variante

da bomba de sódio e potássio que opera no tonoplasto das células da folha. Assim, os íons de sódio entram na célula, mas são imediatamente transportados por AtNHX 1, 2 ou 5 (Figuras 1 e 2), através do cotransporte $\text{Na}^+\text{-H}^+$ do tipo antiporte via endomembrana, para os vacúolos e isolados do citoplasma (compartimentalização do Na^+), promovendo nos vacúolos uma concentração de solutos maior que a do ambiente, o que irá permitir o movimento da água do solo para as raízes (Raven et al., 2014; Taiz et al., 2016). De acordo com Larcher (2000), a compartimentação de sais em *Prosopis farcta* (Mimosaceae) é tão eficiente, que quase nenhum sal alcança as folhas, pois apesar dos íons de Na^+ serem absorvidos, eles ficam compartimentalizados nos vacúolos das células das raízes e dos ramos.

5.3 Absorver sódio pelas raízes e secretá-lo (eliminação do sal)

Já são conhecidas duas formas de secreção de sal. Na primeira o sal é bombeado para os espaços intercelulares das raízes ou folhas e depois é secretado pela planta como ocorre em *Distichlis palmeri* (Poaceae), em que o sal é exsudado por células especializadas na superfície da folha. Na segunda de secreção observada, por exemplo, em *Atriplex* sp. (Chenopodiaceae), o sal é bombeado e concentrado nas células vesiculares da glândula de sal, na epiderme das folhas, que se expandem até romperem-se, sendo o sal já fora da planta levado pela maré alta ou pela chuva (Raven et al., 2014).

Outro exemplo de glândula de sal na superfície das folhas é o que ocorre nas espécies *Tamarix* sp., nas quais os íons são transportados para essas glândulas, sofrendo cristalização e consequentemente tornando-se não prejudiciais (Taiz et al., 2016), bem como, em *Avicennia* spp., *Glaux maritima*, *Spartina* spp. (Larcher, 2000) e *Limonium gmelinii* (Figura 3) (Ruhland, 1915).

A retirada do excesso de sal pela planta também pode ser por meio da eliminação da substância volátil cloreto de metila, que é transferida pela S-adenosil metionina, como ocorre em *Mesembryanthemum crystallinum* e pela abscisão de partes fortemente carregadas de sal, como ocorre nos pelos vesiculares de *Atriplex mollis* e de *Halimione* sp. (Figura 4) ou em folhas velhas de *Plantago maritima*, *Triglochin maritimum* e *Acer tripolium* (Berger-Landefeldt, 1959; Larcher, 2000).

Figura 3. Glândula de sal na superfície foliar adaxial de *Limonium gmelinii*. P = poros; CS = células secretoras; CC = células coletoras (Ruhland, 1915).

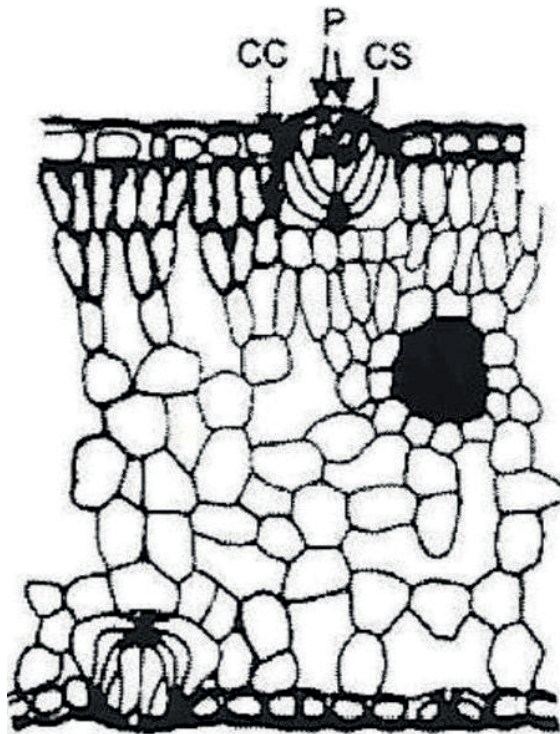
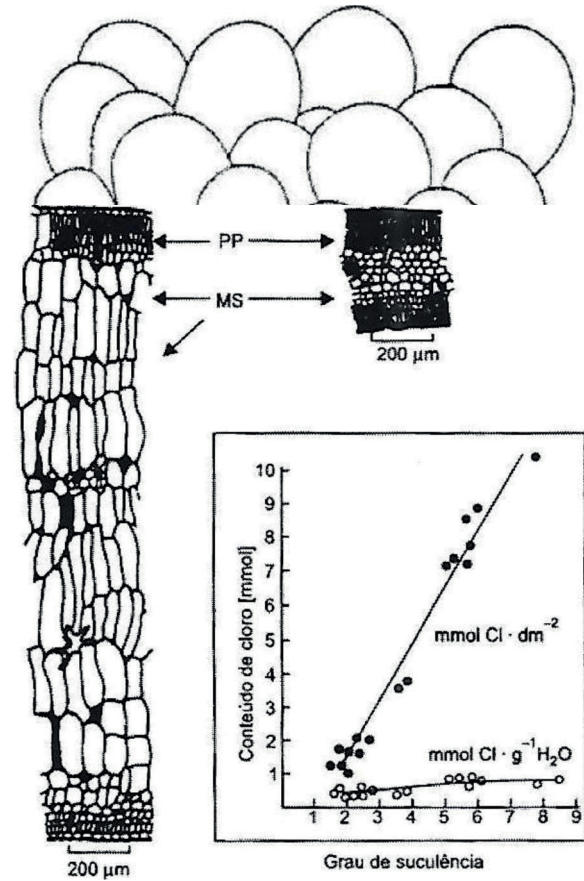


Figura 4. Pelo vesicular acumulador de sal em folha de *Atriplex mollis* (Berger-Landefeldt, 1959).



5.4 Diluição

Existem dois mecanismos de diluição do sal, o primeiro é a succulência, no qual o princípio consiste em o volume celular aumentar proporcionalmente à absorção de sal, de acordo com que a célula absorve a água, de tal forma que a concentração de sal será mantida constante por um longo período. Esta succulência causada pelos íons Cl⁻ são características das halófitas *Salicornia* spp., *Laguncularia racemosa* e *Sonneratia alba* (Figura 5). O segundo mecanismo é a redistribuição do sal, no qual os íons Na⁺ e Cl⁻ podem ser translocados através do floema a fim de que as elevadas concentrações que ocorrem em folhas, que transpiram ativamente, possam ser diluídas por uma redistribuição em toda a planta (Walter & Steiner, 1936; Biebl & Kinzel, 1965; Larcher, 2000;).

Figura 5. Suculência foliar em espécies do Manguezal. Desenho: estrutura de folhas jovens (direita) e maduras (esquerda) de *Sonneratia alba*. PP = Parênquima paliçádico; MS = mesofilo suculento de armazenamento (Walter & Steiner, 1936). Gráfico: Conteúdo de cloro na superfície foliar (pontos) e saturação hídrica (círculos) em *Laguncularia racemosa* (Biebl & Kinzel, 1965).

5.5 Ajuste osmótico

O aumento abrupto na concentração salina promove um choque osmótico que pode resultar na perda de água para o meio, ao mesmo tempo que aumenta a carga de sais especialmente no vacúolo. Com isso, há um aumento no transporte ativo a fim de bombear os íons para fora do citoplasma e substituí-los por substâncias orgânicas de baixa massa molecular (açúcares, polióis e aminoácidos), objetivando manter o balanço osmótico no interior da célula. Ao mesmo há redução do potencial da célula como um todo, favorecendo a manutenção da absorção de água em ambientes salinos. A ativação genética não é necessária para a biossíntese dessas substâncias. Neste sentido, também já foi comprovada a síntese de proteínas de choque salino, destacando-se a osmotina, que tem baixa massa molecular (26 kDa). Vale-se ressaltar que caso o estresse salino seja temporário, o metabolismo normal pode ser reestabelecido (Nultsch, 2000).

Apesar das espécies vegetais de Manguezais serem características de ambientes salinos que são inundados diariamente, são necessários ajustes osmóticos para a obtenção da água, abaixando o seu potencial hídrico através da redução do potencial osmótico com o acúmulo de íons no vacúolo ou com a síntese de solutos compatíveis no citosol, tais como: glicina betaína, prolina, sorbitol, manitol, pinitol e sacarose. Embora 10% do peso da planta sejam utilizados para esta síntese, isto não afeta a sobrevivência em plantas nativas, no entanto, o uso de íons para o ajuste osmótico tem um gasto energético menor do que o uso de aminoácidos ou carboidratos (Taiz et al., 2016).

A acumulação de carboidratos solúveis nas monocotiledôneas halofíticas é preponderante para a manutenção do baixo potencial osmótico no protoplasto, pois estas espécies possuem menos sal que as dicotiledôneas halofíticas. Por outro lado, as dicotiledôneas halofíticas acumulam mais Na^+ do que K^+ , enquanto nas monocotiledôneas halofíticas ocorre o inverso ou iguala a quantidade destes cátions. Nas espécies *Salicornia* spp., *Suaeda* spp. e *Atriplex confertifolia*, o Cl^- é o ânion que mais se acumula, enquanto em *Plantago maritima*, *Lepidium crassifolium* e *Tamarix* spp., o íon SO_4^{2-} é o predominante. Assim, a planta deve usar parte dos seus fotoassimilados para gerar energia e distribuir os íons na célula, pois as halófitas estão sob constante estresse (Larcher, 2000).

5.6 Tolerância ao sal

De acordo com Taiz et al. (2016), o ácido abscísico (ABA) é conhecido como o hormônio do estresse, pois nas respostas ao estresse hídrico, ao frio e à salinidade, a sua síntese é aumentada, promovendo o fechamento dos estômatos. Neste mesmo sentido, Verslues et al.

(2006) afirma que a tolerância ao estresse salino está associada ao incremento na síntese do ABA. Nestas condições, poderá haver acúmulo de solutos compatíveis e de proteínas abundantes de embriogênese tardia (LEA, de “Late Embryogenesis Abundant”), bem como, detoxificação de espécies reativas de oxigênio (EROs), tais como, oxigênio molecular singleto, peróxido de hidrogênio, radical alcoxil, radical hidroxil, radical peroxil e radical superóxido (Miller et al., 2010; Szabados e Saviouré, 2010).

As halófitas podem se desenvolver em ambientes com concentração salina de 2 a 20% e acumular até 10% de NaCl no protoplasto, enquanto as glicófitas **não suportam uma concentração de 1% de NaCl** na célula. Fisiologicamente, com o aumento na concentração de sal, ocorre a ativação de certas sequências de DNA, as quais após 3 a 6 horas induzem a produção das proteínas de estresse, que são bastante similares com as proteínas produzidas com o choque de seca e de calor, sugerindo a existência de uma proteção cruzada. Paralelamente, solutos citoplasmáticos osmoticamente compatíveis são produzidos, objetivando atingir a tolerância ao sal (Larcher, 2000).

6 ADAPTAÇÕES ANATOMO-MORFOLÓGICAS À SALINIDADE

Íons de sódio e cloro “livres” são os principais envolvidos na salinização dos solos. A principal via de absorção desses íons pelas plantas vasculares é através das raízes durante a absorção de água e nutrientes. Várias características anatômicas e morfológicas presentes nas halófitas possibilitam que elas tenham taxas de evapotranspiração menores do que as plantas glicófitas, o que resulta na redução da entrada de água salgada para dentro das raízes. Órgãos foliares de muitas plantas halófitas apresentam marcada complexidade estrutural e aspecto xerofítico (de plantas de ambientes com deficiência hídrica), como por exemplo (Dawes, 1998; Reef e Lovelock, 2015; Tomlinson, 2016): Cutículas grossas; Estômatos em criptas; Enrolamento foliar sobre a superfície abaxial (inferior/ventral), onde ocorre a maioria dos estômatos; Feixes de vasos vasculares endotérmicos; Cerificação (impermeabilização da superfície foliar); Hipoderme, que constitui 1 a 3 camadas de células não clorofiladas logo abaixo da cutícula (ex. espécies dos gêneros *Avicennia* e *Rhizophora*).

Adicionalmente, várias halófitas apresentam fixação de carbono atmosférico através do metabolismo C_4 (e.g., muitas espécies das famílias Poaceae, Cyperaceae e Amaranthaceae-Chenopodiaceae), e conseqüentemente possuem anatomia foliar do tipo “Kranz” com bainha vascular (Dawes, 1998), uma modificação das células da bainha dos feixes de vasos condutores. Plantas C_4 possuem eficiência de utilização da água por unidade de carbono fixado maior do que plantas C_3 . Isto ocorre porque mesmo com menor abertura estomática, durante as horas do dia de intensa evaporação ou alta salinização da água intersticial, uma planta C_4 pode manter sua atividade fotossintética, utilizando ácido málico e ácido aspártico, acumulados nas células da bainha. Sob estresse salino e conseqüente fechamento de estômatos, a conversão destes dois compostos de 4 carbonos em ácido pirúvico (com 3 carbonos) por descarboxilação, permite manter o funcionamento do Ciclo de Calvin, mesmo com a redução da concentração

intracelular de CO₂. Estudos recentes reconhecem três subtipos de vias enzimáticas de descarboxilação dos ácidos C4 nas células da bainha (Yin e Struik, 2021), bem como sugerem aumentos de 36-50% na eficiência no uso da radiação e de 42-55% da produção de biomassa com o uso de metabolismo C4, em relação ao uso do metabolismo C3 por uma planta.

As adaptações morfo-anatômicas que permitem baixas taxas de transpiração das halófitas possibilitam a sobrevivência em ambientes salinos, entretanto elas também resultam em uma menor habilidade de obtenção de nutrientes. A entrada de água e nutrientes pelas raízes depende da pressão negativa exercida nos vasos condutores do xilema pela saída de água pelas folhas, através do processo de transpiração. Estas características estruturais que previnem a transpiração tornam as halófitas fracas competidoras por nutrientes em ambientes não salinos, e este argumento tem sido utilizado por vários autores para explicar a restrição na distribuição natural dessas plantas (Adam, 1993).

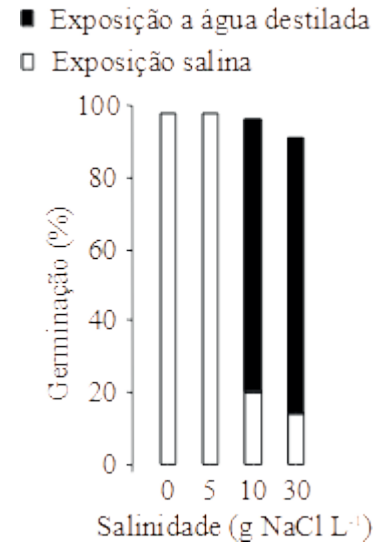
7 MECANISMOS DE PROPAGAÇÃO E OCUPAÇÃO ESPACIAL DE AMBIENTES SALINOS

Respostas germinativas à salinidade e polimorfismo de sementes

Os solos salinos não são ambientes apropriados para a germinação das sementes, tanto devido ao baixo potencial osmótico do meio que dificulta a entrada de água na semente, como as altas concentrações de íons sódio e cloro que podem inibir o metabolismo do embrião. O estresse salino promove, tanto em halófitas como em glicófitas, uma redução no número total de sementes germinadas e um atraso no início do processo germinativo, bem como para a maioria das plantas a germinabilidade é máxima em água destilada (Freitas e Costa, 2014).

Muitas sementes de halófitas são quiescentes, ou seja, capazes de germinar imediatamente após dispersão, desde que encontrem fatores ambientais (ex., temperatura, umidade, luz) não limitantes às suas necessidades (Mayer e Poljakoff-Mayber, 1989). A menor germinação das sementes em solo salino muitas vezes resulta de uma indução de dormência “secundária” ou de pós-maturação nas sementes quiescentes (Tuğ e Yaprak, 2019; Zang et al., 2021). A eliminação do estresse e consequente embebição da semente em água não salina permite que essa dormência seja superada (Figura 6). Se o tempo de exposição ao estresse salino for muito longo e/ou as concentrações salinas que as sementes forem expostas muito altas, pode ocorrer comprometimento do embrião e perda de viabilidade das sementes (Freitas e Costa, 2014). Antagonicamente, algumas halófitas podem ter a germinação de suas sementes estimulada por estresse salino seguido de diluição da salinidade. Isto corre em plantas que possuem sementes com dormência inata (primária), relacionada com a presença de substâncias (fitohormônios) no pericarpo que impedem o desenvolvimento do embrião (Mayer e Poljakoff-Mayber, 1989). A exposição dessas sementes a altas salinidades, seguida da lixiviação do sal induz um “choque osmótico”, que pode desnaturar alguns fitohormônios indutores de dormência inata (Tuğ e Yaprak, 2019).

Figura 6. Indução de dormência secundária em sementes de *Salicornia neei* Lag. pelo estresse salino. A inibição da germinação por salinidades maiores do que 10 g NaCl L⁻¹ pode ser revertida quando as sementes são colocadas em água destilada (barras pretas). Fonte: C.S.B. Costa; não publicado.



Muitas halófitas possuem polimorfismo no tamanho ou nas estruturas que compõe as suas sementes. Esse polimorfismo tem um papel ecológico significativo em gerar maiores possibilidades de ocupação espaço-temporal para as plântulas germinadas (Tuğ e Yaprak, 2019), além de ser um aspecto importante de ser conhecido para produção comercial de mudas. Por exemplo, a maioria das espécies anuais do gênero *Salicornia* (Davy et al., 2001) tem flores agregadas em dois grupos de três unidades, dispostos em lados opostos de cada segmento reprodutivo ao longo do eixo dos seus caules clorofilados. Uma flor central, que pode produzir sementes maiores, é flanqueada por flores de menor tamanho produtoras de sementes frequentemente menores (Figura 7), tendo estes dois tipos de sementes diferentes comportamentos germinativos. Por exemplo, sementes de flores laterais (pequenas) de *Salicornia perennans* and *S. freitagii* possuem dormência, enquanto sementes de flores centrais são quiescentes (sem dormência) (Tuğ e Yaprak, 2019). Particularmente, em regiões subtropicais e temperadas a dormência inata devido a fitohormônios pode ser neutralizada por escarificação a frio, ou seja, a manutenção das sementes por algumas semanas em temperaturas entre 2 e 4 °C (Freitas & Costa, 2014).

Figura 7. Foto de segmentos reprodutivos de caules de *Salicornia c.f. perennans* Willd caracterizando grupos de três flores. Flores centrais produzem sementes maiores e as flores laterais sementes frequentemente menores. Fonte: Profa. Mesude Isar; localidade de Inciralti, (Izmir, Turquia).



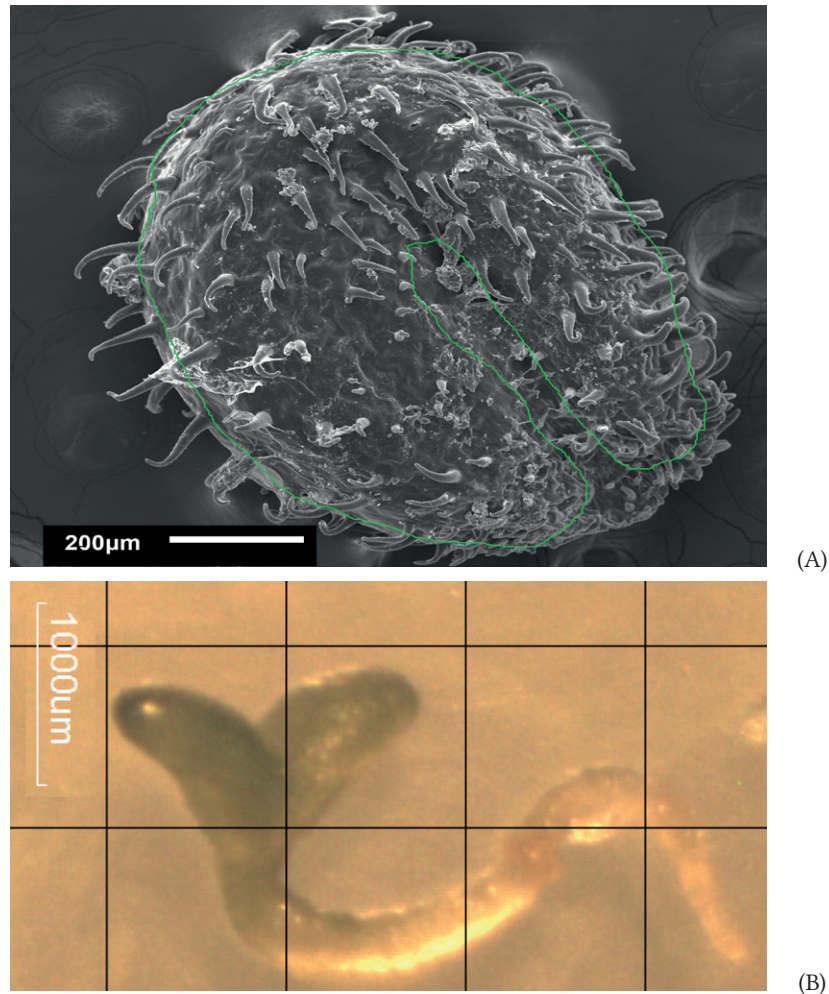
O polimorfismo das sementes de algumas halófitas pode ser mais marcado do que em relação ao tamanho das sementes, ocorrendo alteração das estruturas da testa (envoltório). Este é o caso de espécies dos gêneros *Suaeda* e *Salsola* que produzem sementes com colorações preta e marrom, respectivamente, associadas à presença de uma camada externa cerificada e ausência dessa camada (Song et al., 2017; Zang et al., 2021). Sementes marrons normalmente são quiescentes, enquanto sementes pretas cerificadas são dormentes. A cerificação das sementes pretas induz uma dormência mecânica, relacionada ao seu envoltório, que restringe a entrada de recursos necessários à ativação do metabolismo embrionário (e.g., água, oxigênio). Nesse caso a dormência pode ser quebrada mediante escarificação mecânica do tegumento, como pela abrasão em agitador magnético com água e areia fina ou leve compressão e rolagem das sementes entre duas folhas de lixa fina para madeira.

Além de induzir diferentes padrões temporais na germinação, o polimorfismo no tegumento das sementes, pode induzir respostas distintas à salinidade. Segundo Song et al. (2017), a testa cerificada das sementes pretas de *Salsola* propiciam mais proteção às condições hipersalinas. Zang et al. (2021) também observou que sementes marrons de *Suaeda salsa* apresentavam maior sensibilidade à alta salinidade do que as sementes pretas, após avaliar as respostas ao choque salino (20 dias em altas salinidades seguidos de 5 dias em água destilada); por exemplo, quando incubadas em 600 mM NaCl, 29% das sementes marrons e 81% das sementes pretas não germinaram, entretanto, quando essas sementes “dormentes” foram incubadas em água destilada nenhuma semente marrom germinou, mas 43% das pretas germinaram. A ausência de germinação após choque salino pode ser associada à perda de viabilidade do embrião por toxicidade iônica (Freitas e Costa, 2014).

Desenvolvimento embrionário avançado e viviparidade

O sucesso reprodutivo em plantas é altamente dependente da sobrevivência de suas sementes durante a dispersão. Uma característica comum em halófitas é o avançado estado de desenvolvimento dos embriões dentro das sementes maduras (Figura 8A, B). Em sua revisão sobre a evolução e ecologia de plantas da família Amaranthaceae, Vandellook et al. (2021) observaram uma seleção estabilizadora em direção a sementes com embriões relativamente maiores, com radículas mais longas e menor quantidade de tecido com reservas nutritivas. Essas sementes são capazes de germinar mais rápido, especialmente em linhagens de espécies com fotossíntese C4 e/ou tolerância ao sal. Muitas sementes de halófitas da Amaranthaceae, em condições favoráveis, podem começar a germinar após 1-2 dias, e essa germinação muito rápida é considerada uma adaptação à existência de curtos períodos de condições adequadas para germinação e o estabelecimento das plântulas, como ocorre após um evento de chuva, e particularmente em ambientes salinos (Freitas & Costa, 2014; Tuğ e Yaprak, 2019; Vandellook et al., 2021).

Figura 8. *Salicornia neei* Lag.: Microfotografia eletrônica de semente caracterizando a posição do embrião (linha verde) em avançado estado de desenvolvimento (A); Imagem de plântula recém-germinada (B) Fonte: C.S.B. Costa, não publicado.



Semelhantemente, em vários gêneros filogeneticamente distantes de árvores de mangue a viviparidade é comum. Isto é, nestas árvores os embriões desenvolvem ainda dentro do fruto, formando inclusive primórdios foliares e radícula (e.g., espécies de *Avicennia* com frutos maduros verde, denso-piloso e com semente única vivípara) ou mesmo o hipocótilo clorofilado emerge da base dos frutos ainda presos à planta-mãe (e.g. espécies de *Rhizophora*) (Dawes, 1998; Tomlinson, 2016). Consequentemente, as estruturas de dispersão dessas espécies não são sementes ou frutos, mas sim propágulos reprodutivos capazes de se estabelecer no sedimento próximo às plantas-mãe ou dispersar flutuando para outras localidades com o auxílio das marés. No ambiente altamente dinâmico de um manguezal, é importante para o estabelecimento bem-sucedido de um propágulo que, cedo na sua vida, possa fotossintetizar seus próprios recursos e ancorar-se no sedimento rapidamente durante um período de menor hidrodinâmica (Tomlinson, 2016). Estudando *Rhizophora mucronata* e *Ceriops tagal*, Robert et al. (2015) mostraram que a exposição dos propágulos a um ambiente seco (6 a 24

dias sobre areia seca), e consequente desidratação dos mesmos, estimula a formação de raízes e o estabelecimento de propágulos, e que a fase de estabelecimento é mais rápida (< 12 dias) em salinidades mais baixas do que em salinidades mais altas. Estas informações são importantes para orientar o desenvolvimento de metodologias para a produção de mudas dessas e outras árvores halófitas.

Propagação vegetativa

A maioria das halófitas perenes são capazes de se propagar a partir do crescimento vegetativo de fragmentos de seus troncos, caules, rizomas ou estolões. Costa & Herrera (2016) descreveram detalhadamente como a propagação vegetativa de monocotiledôneas pode ser realizada a partir de meristemas basais localizados em nós nos estolões e rizomas, bem como mudas vegetativas de dicotiledôneas podem ser obtidas de meristemas apicais em rizomas, pedúnculos foliares e nas bases de ramificações dos caules/troncos.

8 SISTEMAS DE CULTIVO DE HALÓFITA

No mundo milhões de hectares de terras ocorrem em clima semiárido e/ou apresentam problemas de salinização de seus solos, e poderiam ser cultivados com halófitas (Glenn et al., 2013; Ventura et al., 2015; FAO, 2020). Estas plantas também podem ser cultivadas hidroponicamente com águas salinas da aquicultura marinha (associação denominada “aquaponia”), absorvendo ativamente nutrientes, gerando uma maior diversificação de produtos e ganho financeiro ao empreendimento (Fierro-Sañudo et al., 2020; Pinho et al., 2022). Além da intensificação dos cultivos costeiros, a criação de camarão e peixes marinhos vem sendo cada vez mais desenvolvida no interior dos continentes, utilizando águas alcalino-salinas ou sais marinhos dissolvidos na água doce (FAO, 2020). O cultivo de halófitas em solos ou águas salinas pode ajudar a atingir os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, principalmente o ODS 2 - Fome zero e agricultura sustentável, o ODS 12 – Consumo e produção responsáveis com o manejo ambientalmente saudável dos resíduos e o ODS 14 – Vida na água, através da gestão sustentável da aquicultura.

A obtenção de cultivares de halófitas depende de programas de melhoramento que produzam plantas com crescimento uniforme, maior produtividade e qualidade nutricional previsível (Zerai et al., 2010; Ventura et al., 2015). Este tipo de aproximação já permitiu gerar plantas halófitas bem-sucedidas na agricultura salina como o aspargo marinho *Salicornia bigelovii* (Zerai et al., 2010; Glenn et al., 2013). Alta produtividade em cultivos de *S. bigelovii* tem sido alcançada em vários países, tais como no México, Índia, Eritreia, Arábia Saudita e nos Emirados Árabes Unidos, por meio de melhoramento genético e aprimoramento de tecnologias de irrigação com água do mar (Zerai et al., 2010; Glenn et al., 2013; Fierro-Sañudo et al., 2020). No Brasil, bons exemplos de sucesso são os cultivos da “erva sal” *Atriplex nummularia* (forrageira da família Amaranthaceae) na Região Nordeste, e do aspargo marinho

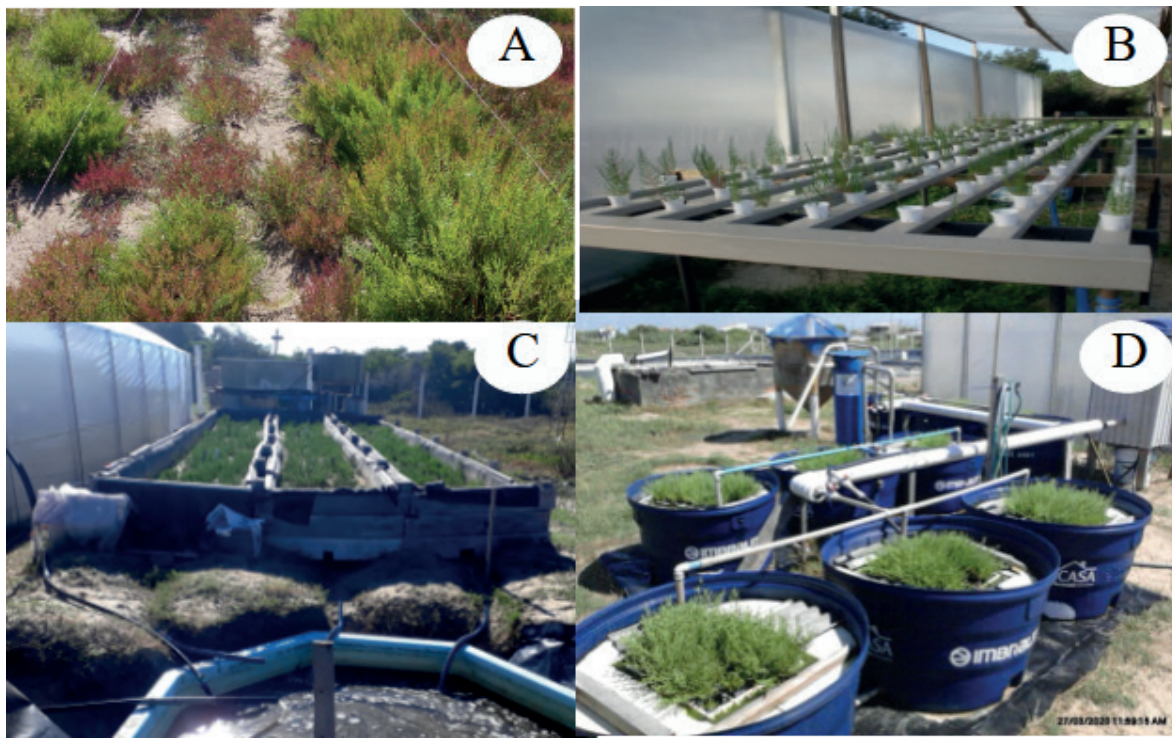
Salicornia neei (sin. *Salicornia gaudichaudiana*, *Sarcocornia ambigua*) ao longo da costa e no interior do Nordeste (Costa & Herrera, 2016; Schardong et al., 2018; Alves et al., 2020; Fierro-Sañudo et al., 2020).

O cultivo de halófitas em solos pode ser irrigado com águas salobras de poços artesianos, com águas salinas resultantes do rejeito de equipamentos de dessalinização ou com efluentes/águas recirculadas da aquicultura salina (Glenn et al., 2013; Ventura et al., 2015; Costa e Herrera, 2016; Alves et al., 2020) (Figura 9A). A irrigação salina de solos deve ser efetuada com uma periodicidade capaz de manter o nível de sal no solo dentro de limites fisiológicos, que possam garantir alta produtividade para as plantas. Por exemplo, em solos arenosos com baixa taxa de retenção de água e/ou em climas secos ou sazonalmente secos é frequentemente necessária a irrigação diária com volumes 20-30% maiores do que a evapotranspiração local (Glenn et al., 2013). Plantas halófitas anuais, que somente crescem a partir de sementes e morrem após florescerem, têm que ser replantadas a cada ciclo de cultivo. Contrastantemente, muitas halófitas perenes são capazes de rebrotar após o corte de seus caules e folhas, podendo oferecer várias safras a partir de um único plantio. A técnica de poda em halófitas com colheitas repetidas (e.g. colheitas múltiplas) pode possibilitar um maior rendimento ao longo de um ciclo anual do que uma única colheita (Ventura et al., 2015; Costa e Herrera, 2016; Alves et al., 2020), bem como uma melhor qualidade nutricional da biomassa recém-formada (Ventura et al., 2015). Condições ótimas de condutividade elétrica do solo, espaçamento entre plantas, suplementação nutricional e frequência de podas (no caso de plantas perenes) devem ser definidas experimentalmente para cada espécie em diferentes climas e tipos de solos (Glenn et al., 2013; Costa e Herrera, 2016).

A produção hidropônica de halófitas pode ser realizada em sistema de fluxo laminar de nutrientes (NFT; *Nutrient Film Technique*), em sistemas com uma camada de substrato em leitos vegetados ou banhados artificiais (i.e., areia, pedrisco ou seixos; internacionalmente denominados *vegetated bed* ou *artificial wetlands*), ou em balsas flutuantes (DWS - *Deep Water System* ou *floating rafts*). O sistema NFT é o mais popular na indústria hidropônica de vegetais comerciais em vários países, inclusive do Brasil, consistindo em canais onde as plantas ficam com suas raízes parcialmente submersas na lâmina da solução nutritiva, a qual fica circulando e possibilita a respiração das raízes (Pinheiro et al., 2017; Goddek et al., 2019; Doncato e Costa 2022). Sistemas NFT são amplamente comercializados, devido ao seu baixo custo e possibilidade de um retorno financeiro rápido. Podem ser utilizados para a aquaponia (Figura 9B), sendo que as águas ou os efluentes gerados da produção aquícola animal passam a ser a solução nutritiva total ou parcial para as plantas (Pinho et al., 2021).

Os sistemas de leitos vegetados ou banhados artificiais são uma variante do sistema NFT (Figura 9C), onde ocorre o preenchimento de canais com substrato poroso, como seixos, brita ou argila expandida, as raízes das plantas ficam no substrato e o efluente ou água de recirculação pode fluir em uma fina lâmina recobrando a superfície ou em subsuperfície (Buhmann et al., 2015; Schardong et al., 2018). Nos leitos vegetados o fluxo contínuo da água visa evitar a estagnação do oxigênio e o acúmulo de compostos tóxicos reduzidos (ex. sulfetos) resultantes de microrganismos anaeróbicos (Buhmann et al., 2015).

Figura 9. Diferentes sistemas de cultivo da halófito *Salicornia neei* Lag.: Canteiros irrigados superficialmente (A); Bancadas hidropônicas de fluxo laminar – NFT (B); Leito vegetado (banhado artificial; C); e Balsas flutuantes (D). (Fonte: C.S.B. Costa, não publicado).



Nos sistemas de balsas flutuantes (DWS) as plantas boiam em placas de isopor/plástico dentro de tanques com água do cultivo de animais aquáticos (Figura 9D), sendo as raízes mantidas totalmente submersas. O sistema DWS pode oferecer algumas vantagens sobre os outros. Ele possibilita a redução dos efeitos negativos de altas temperaturas ambientes nas plantas (devido ao contato direto com a água), disponibiliza um maior espaço para desenvolvimento da rizosfera, conseqüentemente para absorção de nutrientes e formação de biofilme, permite fácil limpeza e manutenção, além de no caso de falta de energia elétrica o suprimento de água das plantas não é afetado (Goddek et al., 2019). Plantas em cultivos DWS podem assimilar mais fosfato do que plantas cultivadas em substratos como cascalho e areia, pois não ocorre adsorção do fosfato às partículas do substrato e conseqüentemente há maior disponibilidade desse nutriente na água para as plantas (Buhmann et al., 2015). Entretanto, dependendo da carga orgânica da água recirculada, pode ser necessário o bombeamento de ar na coluna d'água para evitar condições anóxicas para as raízes.

A integração da produção de animais aquáticos e de plantas pode ser efetivada mediante unidades funcionais (i. e. estruturas com animais e sistemas hidropônicos) conectadas ou separadas (Goddek et al. 2019) que são, respectivamente, designadas de sistemas aquapônicos acoplados (*coupled aquaponic system*) e sistemas aquapônicos desacoplados (*decoupled aquaponic system*). Este último tipo permite um controle independente sobre cada unidade do sistema, com a manutenção de condições ótimas para os animais e para as plantas, bem

como possibilita eventuais desconexões para manutenções e prevenção de interferências em etapas específicas dos ciclos de produção.

A produção de biomassa pelas diferentes formas de cultivo das halófitas, utilizando águas salinas ou mesmo do mar, podem alcançar valores equivalentes aos das cultivares glicófitas mais produtivas. Costa e Herrera (2016) apontaram que os valores de produção em massa fresca de *Salicornia neei* em canteiros irrigados com águas salinas variam entre 820 e 5950 g m⁻² (8,2 a 59,5 t ha⁻¹), para tempos de cultivo de 3,5 a 7,5 meses. Considerando o cultivo aquapônico de *S. neei* com águas da produção de camarão marinho, Pinheiro et al. (2017) encontrou uma produção de 8200 g m⁻² de bancadas NFT após 73 dias de crescimento. Chaves (2019) alcançou uma produção média de biomassa caulinar de *S. neei* de 3722 g m⁻² após 4 meses de crescimento em leitos vegetados com camadas de areia e britas. Valores de produção maiores entre 4270 e 5820 g m⁻² a cada 30 dias foram obtidos para a mesma espécie por Ghiraldelli (2021), através de podas periódicas dos caules em um cultivo em um sistema DWS (balsas flutuantes) com águas ricas em nitrato do cultivo superintensivo do camarão marinho.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos desenvolvidos nas últimas décadas indicam que as halófitas podem fornecer uma nova fronteira agrícola para a humanidade, a partir da irrigação com águas salgadas ou efluentes salinos, bem como através da integração com a aquicultura salina na forma de cultivos hidropônicos com águas recirculadas.

As halófitas por muito tempo foram consideradas um recurso do futuro, mas com o desenvolvimento das pesquisas nesta temática, hoje podemos dizer sem sombra de dúvidas que elas são um recurso do presente. A domesticação de espécies halófitas tanto quanto o incremento da tolerância à salinidade em plantas sensíveis (glicófitas) são fundamentais para o crescimento de culturas em áreas salinizadas ou em risco de salinização no mundo. A compreensão dos mecanismos metabólicos envolvendo a tolerância das plantas ao estresse salino, bem como da importância adaptativa de estruturas anatomo-morfológicas para a sobrevivência em ambientes salinos, pode contribuir na obtenção de cultivares que podem aproveitar melhor os solos salinizados.

LITERATURA CITADA

Adam, P. 1993. Saltmarsh ecology. Cambridge, Cambridge University Express.

Albuquerque, A. G. B. M.; Ferreira, T. O.; Cabral, R. L.; Nobrega, G. N.; Romero, R. E.; Meireles, A. J. D. A.; Otero, X. L. Hypersaline tidal flats (Apicum ecosystems); the weak link in the tropical wetlands chain. Environ Rev, 22:99-109, 2014.

- Alves, P. R.; Reis, A. T.; Costa, C. S. B.; Herrera, O. B.; Lucena, E. M. P. Cultivo de *Salicornia neei* Lag. no semiárido cearense. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 8, p. 63592-63605, 2020.
- Berger-Landefeldt, U. Beiträge zur Ökologie der Pflanzen nordafrikanischer Salzpflanzen. *Vegetatio*, v.9, p.1-47, 1959.
- Biebl, R.; Kinzel, H. Blattbau und Salzhaushalt von *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. und anderer Mangrovebäume auf Puerto Rico. *Oesterreichische Botanische Zeitschrift*, v.112, p.56-93, 1965.
- Bray, E. A.; Bailey-Serres, J.; Weretilnyk, E. Responses to abiotic stresses. In: Buchanan, B.B.; Gruissem, W. Jones, R.L. (eds). *Biochemistry & Molecular Biology of Plants*. Rockville. American Society of Plant Physiologists. cap.22, p. 1158-1203. 2000.
- Breckle, S-W. Wann ist eine pflanze ein Halophyt? – Untersuchungen an Salzpflanzen in Zentralasien und anderen Salzwüsten. In: *Results of Worldwide Ecological Studies*. Hersg/ Eds. Siegm. W. Breckle; Birgit Schweizer and Uwe Arndt. Verlag Günter Heimbach. 1998. p. 91-106.
- Buhmann, A.K., Wallerb, U., Weckerc, B., Papenbrocka, J. Optimization of culturing conditions and selection of species for the use of halophytes as biofilter for nutrient-rich saline water. *Agricultural Water Management*, v. 149, p. 102–114, 2015.
- Cantero, J. J.; Palchetti, V.; Núñez, C. O.; Barboza, G. E. Halophytic flora of Argentina: A Checklist and an Analysis of its Diversity. In: Khan, M. A.; Boer, B.; Ozturk, M.; Clusener-Godt, M.; Gul, B.; Breckle, S-W. (Ed.). *Sabka Ecosystem V: The Americas*. Berlin: Springer, 2016. p. 137-204.
- Carvalho, F. L.; Lobo, A. K. M.; Bonifácio, A.; Martins, M. O.; Lima Neto, M. C.; Silveira, J. A. G. Aclimação ao estresse salino em plantas de arroz induzida pelo pré-tratamento com H₂O₂. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v. 15, n. 4, p. 416- 423, 2011.
- Cheeseman, J. M. The evolution of halophytes, glicophytes and crops, and its implication for food security and saline condition. *New phytologist, Review*. 206:557-570. 2015.
- Costa, C. S. B.; Herrera, O. B. Halophytic life in Brazilian salt flats: biodiversity, uses and threats. In: Khan, M. A.; Boer, B.; Ozturk, M.; Clusener-Godt, M.; Gul, B.; Breckle, S-W. (Ed.). **Sabka Ecosystem V: The Americas**. Berlin: Springer, 2016. p. 11-27.

- Costa, C.S.B.; Herrera, O.B. Halófitas brasileiras: Formas de cultivo e usos. In: Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados (H.R. Gheyi, N.S. Dias, C.F. Lacerda, & E. Gomes Filho, Eds.). INCTSal/CNPq, Fortaleza, p. 243–258, 2016.
- Dawes, C.J. Marine botany. John Wiley & Sons, 1998.
- Doncato, K.B., Costa C.S.B. Growth and mineral composition of two lineages of the sea asparagus *Sarcocornia ambigua* irrigated with shrimp farm saline effluent. *Experimental Agriculture*, v. 54, n. 3, p. 399-416, 2018.
- Doncato, K.B., Costa, C.S.B. Micronutrient supplementation needs for halophytes in saline aquaponics with BFT system water. *Aquaculture*, v. 531, p. e735815, 2021.
- Duarte, B.; Santos, D.; Marques, J. C.; & Cañador, I. Ecophysiological adaptations of two halophytes to salt stress: photosynthesis, PS II photochemistry and anti-oxidant feedback-implications for resilience in climate change. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 67, p. 178-188, 2013.
- FAO. 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture: Sustainability in action. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 206p, 2020.
- Fierro-Sañudo, J. F.; Rodríguez-Montes de Oca, G. A.; Pérez-Osuna, F. Co-culture of shrimp with commercially important plants: a review. *Reviews in Aquaculture*, v. 12, n. 4, p. 2411-2428, 2020.
- Flowers, T. J.; Galal, H. K.; Bromham, L. Evolution of halophytes: multiple origins of salt tolerance in land plants. *Functional Plant Biology*, v. 37, n. 7, p. 604-612, 2010.
- Gaspar, T.; Franck, T.; Bisbis, B.; Kevers, C.; Jouve, L.; Hausman, J. F.; Dommès, J. Concepts in plant stress physiology. Application to plant tissue cultures. *Plant Growth Regulation*, v. 37, p. 263-285, 2002.
- Ghirdelli, L.A. Decoupled aquaponic system with *Salicornia neei* and *Litopenaeus vannamei* in BFT: Effects of clarification of water on plant productivity. In: Anais do Congresso Brasileiro de Aquicultura e Biologia Aquática – Aquaciência. Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática – AQUABIO, Belo Horizonte, 2021.
- Glenn, E. P., Anday, T., Chaturvedi, R., Martinez-Garcia, R., Pearlstein, S., Soliz, D., Felger, R. S. Three halophytes for saline-water agriculture: An oilseed, a forage and a grain crop. *Environmental and Experimental Botany*, v. 92, p. 110-121, 2013.

- Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., Burnell, G. M. *Aquaponics Food Production Systems*. Springer Nature, Cham, 619p, 2019.
- Herrera, O. B.; Lucena, E. M. P. de. Caracterização de halófitas e halotolerantes: potenciais para o uso na agricultura. *In: Agricultura Irrigada em Ambientes Salinos*. 1 ed. Brasília: Editora CODEVASF, 2021, v.1, p. 16-363.
- Hogarth, P. J. *The Biology of Mangroves and Seagrasses*. Serie; Biology of Habitats. Department of Biology, University of York. Oxford University Press. UK. 2007. 273p.
- IUCN (The World Conservation Union). *Mangroves: local livelihoods vs corporate profits*. World rainforest Movement. 2002. 108p.
- Larcher, W. *Ecofisiologia vegetal*. 1.ed. São Carlos: RiMa, 2000. 531p.
- Liang, J.; Wei, Z.; Lee, X.; Wright, J. S.; Cui, X.; Chen, H.; Lin, G. Evapotranspiration Characteristics distinct to mangrove ecosystems are revealed by multiple-site observations and a modified two-source model. *Water Resources Research*, v. 55, n. 12, p. 11250-11273, 2019.
- Manousaki, E.; Kalougerakis, N. Halophytes Present new Opportunities in Phytoremediation of Heavy Metals and Saline Soils. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2011. 50:656-660.
- Mayer, A.M; Poljakoff-Mayber, A.P. *The germination of seeds* (4th ed.). Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford, 1989.
- Medina, E.; Francisco, A. M.; Wingfield, R.; Casañas, O. L. Halofitismo en Plantas de la Costa Caribe de Venezuela: Halófitas y Halotolerantes. *Acta Botánica Venezolana*. n. 31, v. 1, p. 49-80, 2008.
- Miller, G. A. D.; Suzuki, N.; Ciftci-Yilmaz, S.; Mittler, R. O. N. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. *Plant, Cell & Environment*, v.33, p.453-467, 2010.
- Nilsen, E.T.; Orcutt, D.M. *The Physiology of Plants under Stress – Abiotic factors*. New York, John Wiley and Sons, Inc, 1996.
- Nultsch, W. *Botânica geral*. 10.ed. Porto Alegre: Artmed, 2000. 489p.
- Ozturk, M.; Waisel, Y.; Khan, M. A.; Gork, G. *Biosaline agriculture and salinity tolerance in plants*. Berlin: Birkhauser Verlag, 2006. 215p.

- Pinheiro, I.; Arantes, R.; do Espírito Santo, C. M.; do Nascimento Vieira, F.; Lapa, K. R.; Gonzaga, L. V.; Seiffert, W. Q. Production of the halophyte *Sarcocornia ambigua* and Pacific white shrimp in an aquaponic system with biofloc technology. *Ecological Engineering*, 100, 261-267. v. 100, p. 261-267, 2017.
- Pinho, S. M.; de Lima, J. P.; David, L. H.; Emerenciano, M. G.; Goddek, S.; Verdegem, M. C.; Portella, M. C. FLOCponics: The integration of biofloc technology with plant production. *Reviews in Aquaculture*, v. 14, n. 2, p. 647-675, 2022..
- Poljakoff-Mayber, A.; Gale, J. *Plants in Saline Environments*. Ecological Studies Serie. Springer Verlag, Berlin Heildelberg, 1975. 216p.
- Raven, P. H.; Evert, R. F.; Eichhorn, S. E. *Biologia vegetal*. 8.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. 876p.
- Reef, R.; Lovelock, C.E. Regulation of water balance in mangroves. *Annals of Botany*, v. 115, n.3, p. 385-395, 2015.
- Robert, E. M.; Oste, J.; Van der Stocken, T.; De Ryck, D. J.; Quisthoudt, K.; Kairo, J. G.; Dahdouh-Guebas, F.; Koedama, N.; Schmitz, N. Viviparous mangrove propagules of *Ceriops tagal* and *Rhizophora mucronata*, where both Rhizophoraceae show different dispersal and establishment strategies. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v. 468, p. 45-54, 2015.
- Rozema, J.; Schat, H. Salt tolerance of halophytes, research questions reviewed in the perspective of saline agriculture. *Environmental and Experimental Botany*, v. 92, p. 83-95, 2013.
- Ruhland, W. Untersuchungen über die Hautdrüsen der Plumbaginaceen. Ein Beitrag zur Biologie der Halophyten. *Jb. Wiss. Bot.*, v.55, p.409-498, 1915.
- Schardong, R. M. F., Herrera, O. B., & Santaella, S. T. Cultivo de *Batis maritima*, *Sarcocornia ambigua* e *Sporobolus virginicus* com água residuária do cultivo de *Litopenaeus vannamei*. *Biotemas*, v. 31, n. 2, p. 19-32, 2018.
- Szabados, L.; Savouré, A. Proline: A multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science*, v.15, p.89-97, 2010.
- Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I. M.; Murphy, A. *Fisiologia vegetal*. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2016. 888p.

- Tomlinson, P. B. The botany of mangroves. 2. ed. Cambridge University Press. 2016. 432p.
- Tuğ, G. N.; Yaprak, A.E. An Overview of the Germination Behavior of Halophytes and Their Role in Food Security. In: Ecophysiology, Abiotic Stress Responses and Utilization of Halophytes, Springer, Singapore, p. 39-61, 2019.
- Ungar, I. A. Ecophysiology of Vascular Halophytes. CRC Press. Boca Raton, Florida. USA. 1991. 209p.
- Van Breuseguem, F.; Vranovà, E.; Dat, J. F.; Inzé, D. The role of active oxygen species in plant signal transduction. *Plant Science*, v. 161, p. 405-414, 2001.
- Vandelook, F.; Newton, R. J.; Bobon, N.; Bohley, K.; Kadereit, G. Evolution and ecology of seed internal morphology in relation to germination characteristics in Amaranthaceae. *Annals of Botany*, v. 127, n. 6, p. 799-811, 2021.
- Ventura, Y., Eshel, A., Pasternak, D., & Sagi, M. The development of halophyte-based agriculture: past and present. *Annals of botany*, v. 115, n. 3, p. 529-540, 2015.
- Verslues, P. E.; Agarwal, M.; Katiyar-Agarwal, S.; Zhu, J.; Zhu, J. K. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *Plant Journal*, v.45, p.523-539, 2006.
- Walter, H.; Steiner, M. Die Ökologie der Ostafrikanischen Mangroven. *Zeitschrift für Botanik*, v.30, p.65-193, 1936.
- Yin, X., & Struik, P. C. Exploiting differences in the energy budget among C4 subtypes to improve crop productivity. *New Phytologist*, v. 229(5), p.2400-2409, 2021.
- Zerai, D. B., Glenn, E. P., Chattervedi, R., Lu, Z., Mamood, A. N., Nelson, S. G., & Ray, D. T. Potential for the improvement of *Salicornia bigelovii* through selective breeding. *Ecological Engineering*, v. 36, n. 5, p. 730-739, 2010.
- Zhang, H.; Hu, M.; Ma, H.; Jiang, L.; Zhao, Z.; Ma, J.; Wang, L. Differential responses of dimorphic seeds and seedlings to abiotic stresses in the halophyte *Suaeda salsa*. *Frontiers in Plant Sciences*, v. 12, e630338, 2021.
- Zhao, K.; Song, J.; Feng, G.; Zhao, M.; Liu, J. Species, types, distribution, and economic potential of halophytes in China. *Plant Soil*, v. 342, p. 495-509, 2011.

MECANISMOS DE TOLERÂNCIA À SALINIDADE EM GLICÓFITAS

Rafael de Souza Miranda¹, Lineker de Sousa Lopes²,
Humberto Henrique de Carvalho², Rosilene Oliveira de Mesquita²,
Enéas Gomes-Filho^{2*}

RESUMO: Neste capítulo será apresentado um quadro geral dos efeitos do estresse salino e da defesa vegetal, com uma visão holística sobre as técnicas de investigação atualmente empregadas e os estudos voltados para o aumento da tolerância à salinidade em glicófitas. Serão abordados os principais danos causados pela salinidade em organelas, como o cloroplasto, a mitocôndria e o retículo endoplasmático, e como se dá a ativação das vias de sinalização citoprotetoras que constituem a resposta ao estresse. As vias de defesas antioxidantes e de restabelecimento da homeostase iônica e osmótica também serão discutidas, dando-se ênfase à modulação do metabolismo em diferentes níveis: expressão gênica, regulação transcricional e pós-transcricional, ativação de enzimas e regulação de canais, transportadores e bombas. Uma atenção especial será dada às técnicas “ômicas”, particularmente o transcriptoma, o proteoma e o metaboloma, com vistas a identificação de biomarcadores de estresse. Serão detalhadas as estratégias potenciais para aclimação à salinidade, via indução da tolerância cruzada com o pré-tratamento com moléculas intrínsecas do vegetal, ou pelas alterações na adubação ou na fonte de nutrientes essenciais. Este

1 Universidade Federal do Piauí - UFPI, Bom Jesus - PI, Brasil

2 Universidade Federal do Ceará - UFC, Fortaleza - CE, Brasil

* Autor correspondente: egomesf@ufc.br

capítulo apresenta resultados encorajadores sobre o entendimento dos ajustes metabólicos cruciais para o desenvolvimento de cultivares mais tolerantes ao estresse salino.

Palavras-chave: aclimação, biomarcadores de tolerância, ômicas, técnicas de manejo, vias de defesa

SALINITY TOLERANCE MECHANISMS IN GLYCOPHYTES

ABSTRACT: In this chapter, an overview of salt stress effects and plant defense will be presented, with a holistic view of research techniques currently employed and studies aimed at increasing salinity tolerance in glycophytes. The main damage caused by salinity in organelles, such as chloroplasts, mitochondria and the endoplasmic reticulum, and how the activation of cytoprotective signaling pathways that constitute the stress response takes place will be addressed. The pathways of antioxidant defenses and restoration of ionic and osmotic homeostasis will also be discussed, emphasizing the modulation of metabolism at different levels: gene expression, transcriptional and posttranscriptional regulation, activation of enzymes and regulation of channels, transporters and pumps. Special attention will be given to “omics” techniques, particularly the transcriptome, proteome and metabolome, with a view to identifying stress biomarkers. Potential strategies for acclimatization to salinity will be detailed via induction of cross-tolerance by priming the plants with intrinsic molecules or by changing the fertilization or source of essential nutrients. This chapter presents encouraging results for understanding the metabolic adjustments crucial to developing cultivars more tolerant to salt stress.

Key words: acclimatization, tolerance biomarkers, omics, management techniques, defense pathways.

1 INTRODUÇÃO

A salinização e a sodificação são os principais processos de degradação do solo que ameaçam o ecossistema, resultando em um dos problemas mais graves em nível global para a produção agrícola, segurança alimentar e sustentabilidade em regiões áridas e semiáridas. Estima-se que mais de 833 milhões de hectares de solos são afetados por sais em todo o mundo, o que corresponde a 8,7% das terras do planeta, sendo a maioria em ambientes naturalmente áridos ou semiáridos da África, Ásia e América Latina. Além disso, cerca de 20 a 50% dos solos irrigados em todos os continentes são salinizados, o que significa que mais de 1,5 bilhão de pessoas em todo o mundo enfrentam desafios significativos devido à degradação do solo associado à crescente demanda por alimentos (FAO, 2020). Portanto, é evidente que estudos voltados para técnicas de manejo do solo e de desenvolvimento de cultivares tolerantes ao estresse salino são relevantes e prioritários para uma agricultura sustentável.

De acordo com o grau de tolerância ao estresse salino, as plantas são classificadas em halófitas, que suportam elevadas concentrações de sais (> 200 mM de NaCl), e glicófitas, que não suportam grandes concentrações de sais e que englobam a maioria das plantas cultivadas (Flowers et al., 2015; Van Zelm et al., 2020). A salinidade afeta o crescimento e desenvolvimento das plantas, especialmente das glicófitas, por causa de seus efeitos osmóticos e iônicos, promovendo acúmulo de íons tóxicos e desbalanceamento nutricional (Negrão et al., 2017), além de gerar um estresse oxidativo secundário pela produção excessiva de espécies reativas de oxigênio (Das & Roychoudhury, 2014; Anjum et al., 2015). Tais espécies são altamente reativas e em excesso alteram o metabolismo celular por oxidar biomoléculas como os lipídeos, as proteínas e os ácidos nucleicos (Demidchik, 2015). Em consequência da salinidade, há perturbação no status hídrico das plantas, menor absorção de nutrientes, desbalanço hormonal, perda de eficiência fotossintética e diversas outras alterações metabólicas. As halófitas, que não serão abordadas aqui, têm mecanismos adicionais de proteção contra o excesso de sais, que diferem daqueles das glicófitas, como a compartimentalização de íons no vacúolo e glândulas que removem os sais excedentes de tecidos metabolicamente ativos (Flowers & Colmer, 2008; Shabala et al., 2014).

Embora seja crescente a quantidade de estudos em glicófitas no sentido de elucidar os mecanismos de aclimatação ou de adaptação às condições de salinidade, as informações disponíveis ainda não são suficientes para um completo entendimento do processo. Como apontado por Van Zelm et al. (2020), ainda há lacunas nos conhecimentos sobre os mecanismos de tolerância ao sal, adquiridos em grande parte de estudos com *Arabidopsis*, que limitam o desenvolvimento de culturas mais tolerantes ao estresse. Por exemplo, não se tem um domínio exato de como o sal é percebido pela planta e de quais vias de sinalização afetam as diferentes respostas que, juntas, determinam a característica complexa da tolerância. Apesar dos crescentes estudos realizados envolvendo a emergente metodologia das “ômicas” (proteoma, metaboloma e transcriptoma), em que mudanças em proteínas, metabólitos e transcritos observadas entre o controle e o tratamento de estresse ou entre

genótipos contrastantes à salinidade são analisadas, até o presente não houve a descoberta de um gene novo, mas sim há uma lista de centenas de genes conhecidos ou proteínas que são reguladas positivamente ou negativamente sob estresse salino (Hopmans et al., 2021).

Neste capítulo, serão apresentados e analisados alguns resultados recentes, inclusive de nossos laboratórios, sobre os efeitos do estresse salino nos componentes osmóticos e iônicos, bem como do estresse oxidativo secundário gerado e das respostas em compartimentos ou organelas celulares sob estresse, tais como o retículo endoplasmático, a mitocôndria e o cloroplasto. Em seguida, serão analisados aspectos relacionados à interação da salinidade com outros estresses abióticos, as vias de defesa contra o estresse e alguns possíveis biomarcadores de tolerância ao estresse salino. Finalmente, serão discutidas algumas estratégias que têm sido utilizadas para aumentar a tolerância de algumas espécies à salinidade.

2 EFEITOS DO ESTRESSE SALINO

2.1 Componentes iônicos e osmóticos do estresse salino

Os efeitos da salinidade em glicófitas resultam principalmente dos estresses iônico e osmótico, que disparam alterações bioquímicas e fisiológicas no metabolismo das plantas (Deinlein et al., 2014; Farooq et al., 2020). O estresse iônico deve-se ao acúmulo de íons em quantidades excessivas, principalmente os íons tóxicos sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-). O aumento de Na^+ extracelular altera o potencial de membrana, de modo a favorecer o transporte passivo desse íon para o citosol, ao mesmo tempo que reduz a absorção de íons potássio (K^+) (Zhang et al., 2018a). Quando a relação K^+/Na^+ é reduzida, a homeostase iônica é perturbada, levando a distúrbios fisiológicos e metabólicos, que vão desde alterações morfofisiológicas até mudanças no metabolismo secundário (Batista et al., 2019; Gadelha et al., 2021). O acúmulo excessivo de Na^+ também inibe a síntese de proteínas, a regulação da expressão gênica e outros processos celulares como a fotossíntese e o metabolismo dos carboidratos e do nitrogênio. Além disso, a competição entre o Cl^- e outros nutrientes absorvidos pelas raízes, tais como fósforo, nitrogênio e enxofre, gera desequilíbrios nutricionais e perdas no crescimento e desenvolvimento da planta (Carillo et al., 2019; Zhao et al., 2020).

Canais transportadores de íons associados à membrana plasmática ou ao tonoplasto têm sido amplamente explorados, principalmente em arroz. Esses componentes podem atuar tanto no controle do transporte dos íons entre os órgãos vegetais como na exclusão ou alocação deles em determinados tecidos. Uma família de proteínas transportadoras do tipo antiporte denominadas NHX (do inglês, *Na⁺/H⁺ Exchanger*), localizadas no tonoplasto, promove a redução do acúmulo de Na^+ no citosol das células e sua compartimentação no vacúolo, enquanto transportadores do tipo SOS (do inglês, *Salt Overly Sensitive*), localizados principalmente no citosol e na membrana plasmática de células das raízes, podem promover o efluxo de Na^+ para o apoplasto ou realizar o carregamento dele no xilema. Além disso, membros da família de transportadores de K^+ de alta afinidade, denominados HKT (do

inglês, *High-affinity K⁺ Transporter*), foram relacionados tanto com o transporte de Na⁺ e K⁺ para o xilema quanto com a retirada de Na⁺ do xilema para as células do parênquima, aumentando a relação K⁺/Na⁺ na parte aérea (Zhao et al., 2020). Dessa forma, os processos de absorção, alocação e regulação da homeostase iônica frente ao estresse salino se tornam de extrema importância para controlar a absorção de sódio pelas raízes, transporte para o sistema vascular e translocação para as folhas.

No solo, o acúmulo de íons provoca uma diminuição do potencial osmótico e, consequentemente, do potencial hídrico no ambiente radicular diminuindo a absorção de água e nutrientes pelas raízes (Deinlein et al., 2014). Nessa condição, a água pode estar disponível ao sistema radicular, porém a planta não consegue absorvê-la de forma eficiente (Sá et al., 2018). Esta redução no gradiente de potencial hídrico é rapidamente propagada das raízes para outras partes da planta, causando redução na turgescência e diminuição da expansão celular principalmente nas folhas.

De modo geral, a resposta ao estresse salino nas glicófitas envolve um mecanismo de ajustamento osmótico para manter o status hídrico e garantir a atividade metabólica. Isso ocorre, como será visto no item 4, pelo acúmulo de solutos compatíveis (osmólitos) de baixo peso molecular no citosol e no vacúolo, que variam entre as espécies, associado à compartimentalização de íons tóxicos e sua exclusão para o espaço intercelular de folhas e raízes, e aumento na produção de compostos antioxidantes, os quais possibilitam a remoção do excesso de espécies reativas de oxigênio (EROs) (Nadarajah, 2020).

É relevante notar que a redução na absorção de água pela salinidade promove prejuízos secundários, como o desbalanço nutricional, uma vez que interfere nos gradientes responsáveis pelo transporte por fluxo por massa, que direcionam a absorção de nutrientes em conjunto com o movimento de água via transpiração (Lacerda et al., 2016). Deve-se ressaltar, também, que a planta em condições de alta concentração de sais e com a absorção de água dificultada, evita a perda de água reduzindo a transpiração. Então, se a transpiração é reduzida em alta salinidade, a absorção de nutrientes pelo fluxo de massa será prejudicada e a eficiência da adubação será reduzida, o que impacta na baixa absorção de nutrientes, e em consequente baixa produtividade. Além do efeito colateral da desnutrição provocada pela salinidade, o estresse oxidativo pode ser um estresse secundário preocupante em plantas sob estresse salino.

2.2 Estresse oxidativo

A produção de EROs ocorre de forma natural como subproduto do metabolismo celular básico em organismos aeróbios. O oxigênio molecular (O₂) é estável e pouco reativo nas plantas, porém pode ser convertido em EROs, que são compostos de alta energia e de grande reatividade, resultantes da excitação ou redução química incompleta do O₂ em várias organelas (You & Chan, 2015). EROs é um termo coletivo que inclui basicamente o peróxido de hidrogênio (H₂O₂), o oxigênio singleto (¹O₂) e dois radicais livres de oxigênio, o superóxido (•O₂⁻) e o hidroxil (•OH) (Baxter et al., 2014; Huang et al., 2019). As EROs, em

condições normais, participam do metabolismo vegetal como sinalizadoras, desde processos importantes para o crescimento e desenvolvimento até como iniciadoras do processo de morte celular programada.

A salinidade, por outro lado e da mesma forma que outros estresses, pode aumentar exacerbadamente a produção de EROs e produzir, assim, sérios danos às plantas (Araújo et al., 2021a). Esta condição gera o estresse oxidativo, um estresse secundário ao estresse salino, e capaz de impor ainda mais prejuízo ao sistema biológico. Sob estresse oxidativo, a planta precisa alcançar um novo ponto de homeostase redox para sobreviver, de modo que a falha em se alcançar esse novo estado implica em severos danos e pode ocasionar até a morte do vegetal. No entanto, as células vegetais também possuem vários antioxidantes que, normalmente, podem eliminar o excesso de oxidantes produzidos e, assim, evitar efeitos deletérios em suas biomoléculas.

A produção de EROs, apesar de ser um processo potencialmente nocivo, é um importante componente da rede de sinalização (sinalização oxidativa) em resposta a estresses ambientais (del Río, 2015), como comentado anteriormente. Vários processos biológicos podem ser regulados pela coordenação temporal e espacial entre as EROs e outros sinais (Baxter et al., 2014). Acredita-se que a contribuição das EROs para respostas rápidas e de longo prazo ocorra na forma de uma explosão, muitas vezes observada por dois picos distintos e acompanhada de diferentes eventos de sinalização, que são vitais para as respostas de longo prazo e que controlam mudanças fenotípicas, como crescimento, desenvolvimento e sobrevivência das células (Miller et al., 2010; Baxter et al., 2014).

O estresse oxidativo pode ser identificado pela peroxidação de lipídeos de membrana, que é relacionada com o extravasamento de eletrólitos e o teor de malondialdeído (MDA ou 4-hidroxi-2-nonenal), os quais constituem indicadores de forte ataque oxidativo das EROs às membranas celulares (Sun et al., 2016; Araújo et al., 2021a; Souza et al., 2021). A lipoperoxidação é uma deterioração oxidativa de ácidos graxos poliinsaturados, presentes nas membranas das células e organelas, que se inicia com a ação das EROs ao promoverem a remoção de um átomo de hidrogênio de um grupo metileno ($-\text{CH}_2-$) produzindo um radical livre ($-\text{CH}\cdot-$). Esse novo radical, sob condições aeróbicas, combina-se com o oxigênio formando radicais peróxila ($\text{ROO}\cdot$), que por sua vez são capazes de extrair outro hidrogênio de outra molécula de lipídeo, propagando uma série de reações em cadeia, que é interrompida com a formação de peróxidos cíclicos e epóxidos que culminam por fragmentar os lipídeos poliinsaturados, produzindo, além de outros compostos, o MDA (Llesuy, 2002; Prisco et al., 2016). Portanto, a ação de moléculas antioxidantes é imprescindível para prevenir este efeito em cadeia iniciado pelas EROs, o qual é bastante prejudicial às plantas quando não devidamente controlado. As plantas desenvolveram eficientes mecanismos de defesa antioxidativa, que podem ser de natureza enzimática e não enzimática, e cujos mecanismos serão abordados em detalhes no item 4.

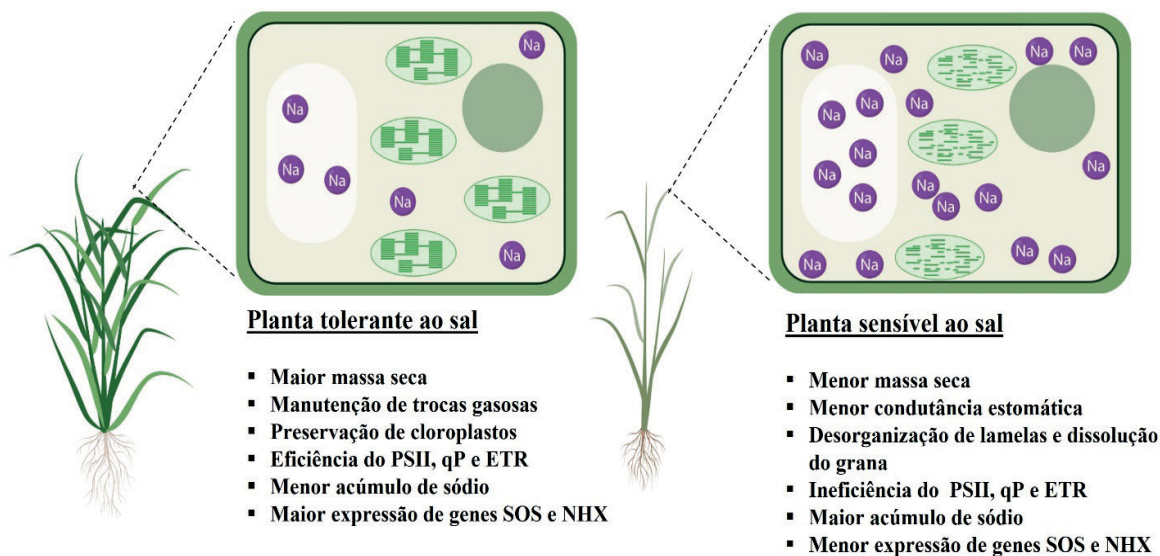
De modo geral, o estresse oxidativo ocorre principalmente nos centros produtores de EROs, como os cloroplastos e as mitocôndrias (Nadarajah, 2020), mas, a salinidade promove outros efeitos colaterais nessas organelas e no retículo endoplasmático (Queiroz et al., 2020), prejudicando o metabolismo vegetal, e que serão discutidos a seguir.

2.3 Estresse em organelas: cloroplasto, mitocôndria e retículo endoplasmático

O estresse salino resulta em perturbações severas a todos os componentes celulares, especialmente às organelas que participam do metabolismo energético. Em adição às limitações impostas pelo excesso de EROs, citadas anteriormente, a salinidade diminui a abertura estomática, limita as trocas gasosas e afeta diretamente o cloroplasto danificando os fotossistemas I e II (PSI e PSII) e a eficiência do transporte de elétrons. A fase fotoquímica da fotossíntese também é seriamente comprometida em função da redução dos teores de pigmentos fotossintéticos e das alterações na eficiência fotoquímica (e nos parâmetros de fluorescência da clorofila *a*), ao passo que a inibição da fase bioquímica é resultado de complicações na atividade de enzimas relacionadas com o metabolismo do carbono, como a ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco) (Negrão et al., 2017). Ao mesmo tempo, a atividade oxigenase da Rubisco é induzida sob estresse salino e, conseqüentemente, a fotorrespiração aumenta, sendo o fosfoglicerato gerado utilizado no ciclo de Calvin com consumo de NADPH e ATP, dissipando o excesso de poder redutor e evitando danos na cadeia de transporte de elétrons (Suo et al., 2017).

Os efeitos citotóxicos dos íons Na^+ provocam danos na estrutura dos cloroplastos, incluindo redução do empilhamento dos tilacoides nos grana e rompimento de membranas dos tilacoides, comumente chamadas de lamelas, resultando em diminuição da capacidade fotossintética (Figura 1). Assim, um melhor desempenho de plantas mais tolerantes aos sais envolve a redução dos danos sobre a anatomia foliar e a estrutura dos cloroplastos, dentre outros fatores (Araújo et al., 2021a; Gadelha et al., 2021).

Figura 1. Efeitos da salinidade em plantas de dois genótipos de arroz contrastantes com relação à tolerância ao estresse salino. PSII (do inglês, *Photosystem II*), qP (do inglês, *Quenching Photochemical*), ETR (do inglês, *Electron Transport Rate*), SOS (do inglês, *Salt Overly Sensitive*), NHX (do inglês, *Na⁺/H⁺ Exchanger*). Adaptado de Gadelha et al. (2021).



O processo de respiração celular tem se mostrado altamente sensível ao estresse salino. Os estudos demonstram que a salinidade afeta diretamente a glicólise no citosol, e o ciclo do ácido tricarbólico, bem como a cadeia de transporte de elétrons, nas mitocôndrias, o que implica em redução na geração de ATP a partir dos processos de fosforilação ao nível do substrato e fosforilação oxidativa. Durante o estresse salino, a mitocôndria é considerada o principal sítio de produção de uma grande quantidade de EROs, principalmente a partir da cadeia de transporte de elétrons. Portanto, em plantas tolerantes, um eficiente mecanismo de defesa antioxidante mitocondrial é fundamental (Acosta-Motos et al., 2017). De fato, plantas transgênicas expressando altos níveis das enzimas oxidase alternativa (AOX) e dismutase do superóxido dependente de manganês (Mn-SOD) exibem tolerância ao estresse salino (Sánchez-Guerrero et al., 2019).

Mais recentemente, as respostas de defesa do retículo endoplasmático (RE) vêm sendo bastante estudadas sob condições de estresses, por compreender uma das maiores e mais complexas organelas descobertas em seres eucariontes. Essa organela atua na modulação das respostas aos estresses ambientais, tanto em animais quanto em vegetais, pela indução principalmente de fatores de transcrição (Park & Park, 2019). O RE é responsável por várias funções, como a manutenção da concentração de Ca^{2+} , síntese de lipídeos e esteróis e dobramento, maturação e transporte de proteínas funcionais.

A perturbação da homeostase do RE causada por estresse frequentemente promove a acumulação de proteínas mal dobradas no lúmen, o qual dispara uma via de sinalização citoprotetora denominada UPR (do inglês, *Unfolded Protein Response*) (Walter & Ron, 2011). Em plantas, a via UPR é mediada por receptores IRE1 (do inglês, *Inositol Requiring Enzyme 1*), que controlam os processamentos dos mRNAs de bZIP60, além de sensores bZIP28 e bZIP17 (Howell, 2013). Após interrupção da homeostase do RE, essas moléculas são encaminhadas para o complexo de Golgi onde são clivadas e direcionadas ao núcleo para atuarem como fatores de transcrição responsáveis pelo aumento de chaperonas moleculares e ativação de mecanismos que aumentam a degradação proteica associada ao RE (ERAD, do inglês, *Endoplasmic-Reticulum-Associated Protein Degradation*). Existem indícios que o estresse salino é capaz de induzir esses mecanismos de resposta do RE, além de ativar sensores da via UPR e induzir a produção de EROs na organela. No RE, as EROs atuam como moléculas sinalizadoras promovendo um aumento significativo de proteínas dissulfeto isomerase (PDI, do inglês, *Protein Disulfide-Isomerase*) e proteínas de choque térmico (HSP, do inglês, *Heat Shock Protein*), tais como a BiP (do inglês, *Binding Protein*), a calnexina e a calreticulina, que também atuam no processamento proteico do RE. Além disso, essas proteínas causam uma redução na abundância de proteínas ribossomais que atuam no controle de qualidade, impedindo que a tradução continue e novas proteínas mal dobradas se acumulem, e dessa forma contribuem positivamente para a resposta ao estresse salino (Zhang et al., 2021).

3 INTERAÇÃO DA SALINIDADE COM OUTROS ESTRESSES ABIÓTICOS

Assim como o estresse salino, as respostas a outros estresses abióticos são geralmente espécie-específicas e causam mudanças reversíveis ou irreversíveis no metabolismo e desenvolvimento da planta. Além da salinidade, os estresses por seca e alta temperatura são os mais estudados, e a influência deles no rendimento das culturas depende do estágio fenológico, do tecido ou órgão envolvido na resposta, da intensidade e duração do estresse. Em geral, as respostas bioquímicas e fisiológicas induzidas pela salinidade, seca e altas temperaturas muitas vezes resultam em danos celulares similares. Esses estresses podem compartilhar proteínas universais de defesa e alguns caminhos e rotas de sinalização, que envolvem a percepção do estresse, a transdução, por meio de mensageiros secundários, e a modulação da expressão de genes que induzem a tolerância (Figura 2). Tais mecanismos são observados até mesmo em outros tipos de estresses, como aqueles induzidos por frio e deficiência de minerais. A percepção do estresse geralmente envolve um receptor específico que se liga ao sinal extracelular e transmite esse sinal para dentro da célula por meio de mensageiros secundários, tais como: inositol fosfato, açúcares, EROs, íons cálcio, AMP cíclico, GMP cíclico, óxido nítrico, fitormônios, dentre outros. Dessa forma, o tipo de mensageiro secundário induzido por proteínas fosfatases ou cinases dependentes de EROs e cálcio, determina a magnitude e tipo da resposta, fosforilando e desfosforilando fatores de transcrição, que ativam ou inibem a transcrição de genes relacionados à tolerância, geralmente do tipo bZIP, MYB, NAC, etc (Raza et al., 2020; Giordano et al., 2021).

A interação entre alguns estresses abióticos é bastante complexa e aos poucos vai sendo explorada com o avanço da proteômica e da metabolômica. Diversos metabólitos se acumulam ou são diminuídos após exposição isolada aos estresses de salinidade, seca e frio, sendo que alguns deles são comuns entre esses estresses (Figura 3). Por mais que o ajuste metabólico seja dinâmico e rápido, diversas proteínas cinases desempenham um papel central e comum na sinalização de aminoácidos, incluindo a prolina, de açúcares, como rafinose e galactinol e de poliaminas, como a putrescina, entretanto em alguns casos o estresse por calor não induz a síntese de prolina (Krasensky & Jonak, 2012).

Apesar de alguns sinais convergirem para respostas parecidas, outras são completamente diferentes, como por exemplo aquelas que envolvem o componente iônico e os mecanismos de exclusão de íons, que ocorrem na tolerância à salinidade. Estudos com várias espécies de plantas sob estresses por seca e salinidade isolados mostram que o efeito primário é o desequilíbrio osmótico (estresse osmótico), seguido por desidratação celular, e um ponto comum com outros estresses ambientais é a produção de EROs, prolina e sacarose. Os danos oxidativos são mais evidentes na combinação desses dois estresses e acentuam a perda da integridade de membranas, fechamento estomático, diminuição de clorofilas e inibição da fotossíntese, impactando o crescimento e a produtividade (Kumar et al., 2012; Sahin et al., 2018; Giordano et al., 2021).

Figura 2. Vias de sinalização envolvidas nas respostas das plantas a estresses abióticos. Receptores específicos percebem sinais externos e transduzem para outros mensageiros dentro da célula. Adaptado de Raza et al. (2020).

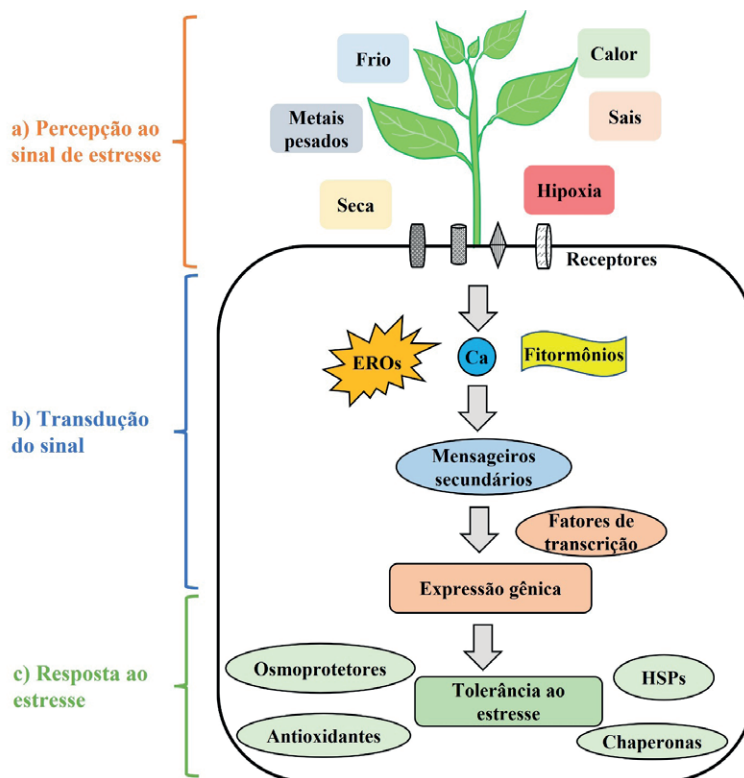
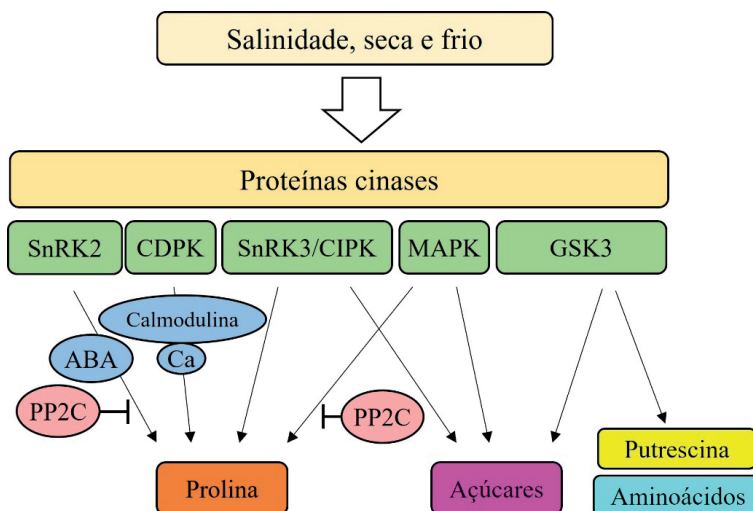


Figura 3. Proteínas cinases induzidas por estresses abióticos e relacionadas com a síntese de prolina, açúcares, putrescina (uma poliamina) e aminoácidos. Outros reguladores positivos (indicados por setas) como ABA, cálcio (Ca) e calmodulina e negativo (barras interrompidas), como a proteína fosfatase tipo 2 (PP2C) estão representados na figura. SnRK2 (do inglês, *SNF1-Related Protein Kinase 2*), CDPK (do inglês, *Calcium-Dependent Protein Kinases*), CIPK (do inglês, *CBL-Interacting Protein Kinase*), MAPK (do inglês, *Mitogen-Activated Protein Kinase*) e GSK3 (do inglês, *Glycogen Synthase Kinase-3*). Adaptado de Krasensky & Jonak (2012).



Os efeitos dos estresses hídrico e salino combinados são sinérgicos e causam sérios danos ao aparato fotossintético, que afetam o rendimento do fotossistema II, causam diminuição do *quenching* fotoquímico e da fluorescência da clorofila *a* e aumentam a peroxidação de lipídeos e extravasamento de eletrólitos; por outro lado, a combinação desses dois estresses resulta em diminuição no acúmulo dos íons sódio e cloreto (Umar et al., 2019). Em raízes de milho, por exemplo, Li et al. (2021) observaram que o estresse combinado de salinidade e seca causa diminuição no comprimento das raízes de milho, promove aumento nos conteúdos de açúcares e polióis envolvidos no balanço osmótico, e reduzem os níveis de metabólitos envolvidos no ciclo de Krebs, como citrato, fumarato e malato.

Um outro estresse que as plantas comumente são expostas é aquele provocado por altas temperaturas, o qual é muito comum no semiárido brasileiro. Esse estresse, além de reduzir o potencial hídrico, condutância estomática, concentração interna de CO₂, e consequentemente a fotossíntese, também promove a desnaturação de proteínas e enzimas e desordena as estruturas de ácidos nucleicos e membranas, podendo causar morte celular. Em sorgo, a combinação entre os estresses de salinidade e temperatura elevada acentuou os efeitos negativos dos estresses na forma isolada, tais como a inibição da germinação e diminuição da taxa fotossintética; por outro lado, alguns efeitos positivos também foram notados, tais como o aumento nos teores de clorofila e prolina (Al-Shoaibi et al., 2020). Em tomateiro, a combinação entre salinidade e temperatura elevada aumentou os níveis de glicina betaína e trealose em comparação aos estresses isoladamente, o que foi associado a maiores níveis de potássio, menor relação Na⁺/K⁺ e manutenção da taxa fotossintética (Rivero et al., 2014).

Também, outro estresse muito associado à salinidade é o de hipóxia, que é provocado pelo alagamento do solo por excesso de chuvas ou irrigação (Mariani & Ferrante, 2017). O alagamento do solo é um dos principais estresses abióticos que mais impõe limitações ao normal crescimento e desenvolvimento das plantas, e se deve à redução na disponibilidade de oxigênio (hipóxia) causando restrição nas trocas gasosas e na fotossíntese (Duhan et al., 2018, Lamers; Meer; Testerink, 2020). O estresse combinado de hipóxia e salinidade pode surgir em cultivos irrigados, por exemplo de arroz, devido ao uso de água de má qualidade ou com excesso de fertilizantes, acompanhado da elevação dos sais das camadas mais profundas de solo. A combinação de salinidade com hipóxia limita ainda mais o estabelecimento da cultura em campo, como observado em plantas de arroz, onde a coexistência de ambos os estresses foi altamente prejudicial ao crescimento e a assimilação de carbono (Lopes et al., 2020). Este problema também é frequente na alfafa cultivada no norte da África, durante a estação chuvosa, onde esses dois estresses combinados resultaram em alterações na maquinaria fotossintética e na potencialização do acúmulo de íons em folhas e raízes (Sghaier et al., 2020). O coqueiro, uma cultura reconhecida como tolerante à salinidade, também apresenta danos severos sob condições de salinidade e alagamento, pode ser mais afetado que o arroz em termos de crescimento e respostas fisiológicas (Medeiros et al., 2018). Resultados similares também foram encontrados em plantas de tomate sensíveis ao alagamento (Horchani et al., 2010), em plantas adaptadas à hipóxia, como *Phragmites australis* (Gorai et al., 2010) e em plantas halófitas, como a *Suaeda glauca* (Duan et al., 2018).

Estudos mais recentes têm destacado que a manutenção de alto teor de K^+ celular é imprescindível para uma maior tolerância aos estresses por hipóxia e salinidade e sua combinação (Shabala 2017; Lopes et al., 2020). Além disso, a falta de funcionalidade das proteínas NADPH- oxidases homólogas da oxidase de explosão respiratória (RBOH, do inglês *Respiratory Burst Oxidase Homolog*) aumenta a sensibilidade das plantas ao estresse combinado de hipóxia e salinidade por reduzir a capacidade de retenção de K^+ (Wang et al., 2019). As proteínas RBOHs estão envolvidas em vários processos de desenvolvimento, como o crescimento dos tubos polínicos e extensão dos pelos das raízes, e processos fisiológicos importantes como o fechamento dos estômatos. Entretanto, um estresse de hipóxia de curto período (48 h) pode reduzir o impacto prejudicial da salinidade, regulando positivamente a atividade da proteína D homóloga da oxidase de explosão respiratória (RBOHD, do inglês, *Respiratory Burst Oxidase Homolog protein D*) (Wang et al., 2019). Esses autores demonstraram que a proteína RBOHD desempenha um papel importante na regulação do sinal de Ca^{2+} e na produção de H_2O_2 , e, portanto, atua na homeostase iônica da planta, minimizando o acúmulo de Na^+ sob salinidade ou sob estresse combinado de salinidade e hipóxia.

As plantas, para tolerar os estresses abióticos isolados ou combinados precisam ser capazes de induzir diversas alterações morfológicas e bioquímicas, tais como as que mudam a orientação foliar, a densidade e fechamento dos estômatos e a composição lipídica da membrana, de modo a manter a turgescência celular e evitar a perda do conteúdo hídrico. Dentre outros mecanismos de adaptação das plantas aos estresses, estão: a síntese de chaperonas, como as HSPs; o acúmulo de solutos compatíveis no citosol e a ativação dos sistemas de defesa oxidativa; e a síntese de hormônios, como o ABA e o ácido salicílico. Além disso, tanto o estresse por seca como o de salinidade, quando avaliados isoladamente, induzem a expressão de diversos genes, como por exemplo: *P5CS* e *MT1D*, que aumentam a acumulação de prolina e manitol, respectivamente; *DREBs/CBFs* e *ABF3* (do inglês, *Dehydration-Responsive Element-Binding Protein/C-repeat-Binding Fator* e *Abscisic acid Responsive Elements-Binding Factor 3*, respectivamente), que não só conferem tolerância à seca e salinidade, mas também ao frio; *NAC1*, que está envolvido na sensibilidade do estômato ao ABA e à redução da desidratação. Já o estresse por temperaturas elevadas induz a expressão dos genes *Cu/Zn SOD*, *APX*, *NDPK2*, relacionados principalmente ao estresse oxidativo secundário, enquanto o estresse salino induz a expressão de genes de transporte de íons, como o *SOSs* (Kumar et al., 2012; Giordano et al., 2021).

Diante do exposto, se torna fundamental a identificação de marcadores moleculares e o entendimento dos mecanismos comuns induzidos por múltiplos estresses, para que no futuro isso possa ser usado no melhoramento genético e nas técnicas de biologia molecular, visando o aumento da tolerância das plantas a estresses ambientais.

4 VIAS METABÓLICAS DE DEFESA

A sobrevivência da planta sob estresse salino depende da sua versatilidade para ativar processos de aclimação, que inclui alterações fisiológicas, bioquímicas, moleculares e

morfológicas (Prisco & Gomes-Filho, 2010). Com a imposição do estresse, as plantas ativam diferentes rotas de defesa, por meio de mudanças estruturais e metabólicas, para alcançar o equilíbrio homeostático (osmótico, iônico e bioquímico), detoxificação celular (remoção de EROs, e compartimentação e/ou extrusão de íons tóxicos). As alterações ocorrem de modo sincronizado e seguem uma sequência de ativação de vias, que ajustam a fisiologia da planta e resultam na tolerância ou susceptibilidade ao estresse.

4.1 Vias de defesa para homeostase osmótica e iônica

Os estudos direcionados para o entendimento dos mecanismos de tolerância à salinidade destacam três tipos principais de respostas utilizadas pelas plantas: o ajustamento osmótico, a exclusão de íons tóxicos (Na^+ e Cl^-) e o controle da acumulação de Na^+ nos tecidos. Entretanto, nem todos os mecanismos são válidos para todas as espécies, e mais de um mecanismo pode atuar de forma coordenada para minimizar os efeitos deletérios da salinidade.

O ajuste osmótico é considerado o principal processo para atingir a homeostase osmótica, e constitui característica importante para a tolerância ao sal, pois aumenta a capacidade da planta de manter o turgor celular e o crescimento (Singh et al., 2015). Esse fenômeno é alcançado pelo acúmulo de solutos orgânicos (ou solutos compatíveis) no citosol e de íons inorgânicos principalmente no vacúolo. O acúmulo dessas moléculas promove redução no potencial osmótico e, conseqüentemente, no potencial hídrico celular de modo a manter, nas plantas ajustadas osmoticamente, os processos de absorção e transporte de água e nutrientes ao longo do corpo da planta. Esses solutos também desempenham funções protetoras, atuando como antioxidantes, contribuindo assim para a manutenção da integridade das macromoléculas, eliminação de EROs, estabilização de enzimas e proteínas (Shinozaki et al., 2015).

Os solutos compatíveis são substâncias sem carga em pH neutro e muito solúveis em água, que reduzem o potencial osmótico do citosol e organelas sem inibir as reações metabólicas, mesmo quando em elevadas concentrações (Gupta & Huang, 2014). Uma grande diversidade de moléculas pode atuar como solutos compatíveis, incluindo: açúcares (glicose, frutose, sacarose, trealose e rafinose); álcoois poliídricos (sorbitol, manitol, glicerol, arabinitol, pinitol e inosítois metilados); proteínas (peptídeos de baixa massa molecular); aminoácidos e seus derivados (glutamato, aspartato, glicina, prolina, prolina betaína, glicina betaína e β -alanina betaína); ácidos orgânicos (oxaloacetato, malato); aminas terciárias (1,4,5,6-tetra-hidro-2-metil-4-carboxilpirimidina); poliaminas (putrescina, cadaverina, espermidina, espermina); e derivados de sulfônio (dimetilsulfoniopropionato e colina-O-sulfato) (Prisco et al., 2016).

As rotas de ativação dos processos de biossíntese e degradação dos solutos compatíveis ainda não estão completamente elucidadas. Os estudos sugerem que parte desses compostos são oriundos da síntese irreversível ou resultante da alteração do equilíbrio entre a síntese e o catabolismo desencadeado pelo estresse; também, que eles podem ser simplesmente o resultado da hidrólise de polímeros e quando o estresse é removido os monômeros podem ser polimerizados novamente durante o ajuste osmótico reversível. Nesse contexto, o papel

fisiológico dos solutos compatíveis e sua relevância metabólica, em sua maioria, ainda são especulativos (Bray et al., 2000; Shinozaki et al., 2015).

Os estudos evidenciam que os processos de reestabelecimento da homeostase osmótica e iônica podem ser explorados simultaneamente, com caráter interdependente. O primeiro é resultado do ajuste osmótico, conforme descrito anteriormente, e decorre da absorção de íons, sua compartimentação em alguns tecidos e organelas celulares, acoplado ao acúmulo de solutos compatíveis no citosol (Prisco & Gomes-Filho, 2010; Hasegawa, 2013). As plantas glicófitas incapazes de restaurar a homeostase osmótica invariavelmente sofrem mais danos sob estresse salino do que as plantas ajustadas osmoticamente (Saxena et al., 2013; Cabello et al., 2014).

Embora a homeostase osmótica seja fundamental para a aclimação à salinidade, em algumas espécies de plantas, os mecanismos voltados para a homeostase iônica são considerados os mais relevantes. Nesse contexto, processos fisiológicos importantes, como as rotas de efluxo e a compartimentação dos íons tóxicos no vacúolo e o controle de seu transporte para as folhas, são fundamentais para conferir tolerância aos sais (Munns & Tester, 2008). Em glicófitas expostas à salinidade, a manutenção dos teores de K^+ , acoplada a baixas concentrações de Na^+ , é o principal mecanismo responsável pelo aumento da tolerância a esse estresse (Plett & Møller, 2010). Contudo, as interações entre esses íons mostradas nos mecanismos de transporte são complexas, pois envolvem processos que operam em células, tecidos ou órgãos ou até mesmo na planta inteira (Tester & Davenport, 2003). Nas células vegetais, a intercomunicação entre os compartimentos celulares envolve o transporte de íons através da membrana plasmática e do tonoplasto. Além disso, o transporte de Na^+ , na planta inteira, compreende os processos de absorção pelas raízes, distribuição pelo xilema, recirculação pelo floema e efluxo para o solo.

Por décadas, diversos centros de pesquisa têm se dedicado à caracterização dos sistemas de transporte e distribuição de Na^+ nas plantas, e em particular sua entrada inicial nas células das raízes. A restrição do influxo de Na^+ , bem como a retenção de K^+ , através dos canais não seletivos NSCCs (do inglês, *Non-Selective Cation Channels*) foi citada como um importante mecanismo de tolerância ao sal. Os canais NSCCs são caracterizados por sua baixa discriminação entre os cátions, em particular o Na^+ e o K^+ (Demidchik & Maathuis, 2007), e constituem a principal via de absorção de Na^+ em muitas espécies de plantas sensíveis à salinidade. Embora a inibição dessa via pareça uma estratégia metodológica útil para o aumento da tolerância à salinidade (Horie et al., 2012), esse mecanismo torna-se impraticável devido ao grande número de reguladores dos canais NSCCs, bem como pelo fato de que a regulação negativa acarretará limitações no ingresso de outros cátions inorgânicos nas células vegetais. Baseado nesses estudos, os autores chegaram à conclusão que as plantas carecem de mecanismos regulatórios específicos para reduzir a entrada de Na^+ no simplasto radicular por não apresentar transportadores exclusivos para a absorção desse cátion. Dessa forma, as rotas de efluxo de Na^+ e a redistribuição desse íon para compartimentos celulares, tecidos ou órgãos específicos compreendem os principais mecanismos de aclimação ao estresse salino.

O efluxo de Na^+ das células das raízes previne a acumulação desse íon em níveis tóxicos no citosol e seu transporte para a parte aérea das plantas. Nas células vegetais,

o antiporte Na^+/H^+ , SOS1, um dos três componentes da rota de sinalização denominada SOS, e presente na membrana plasmática, é o único mecanismo de efluxo de Na^+ da célula (Blumwald, 2000; Zhu, 2003; Mansour, 2014). Esta troca eletroneutra de Na^+ por H^+ tem sido citada como fundamental para o restabelecimento da homeostase iônica, promovendo a exclusão de Na^+ do citoplasma e permitindo a sobrevivência e o crescimento de plantas sob condições de salinidade (Olías et al., 2009; Plett & Møller, 2010; Yue et al., 2012). Além do Ca^{2+} , a rota SOS possui como sinalizadores o ácido abscísico (ABA) e algumas EROs. Nessa via de sinalização, o ABA percebe o estresse osmótico promovido pelo excesso de sais, e juntamente a isso, ocorre a formação de EROs. Ambos, ABA e EROs também sinalizam a condição de estresse e ativam a rota SOS (Chinnusamy et al., 2005). O gradiente de potencial eletroquímico necessário para a atividade do transportador SOS1 é originado pela bomba de prótons, uma H^+ -ATPase de membrana plasmática.

Em paralelo à exclusão de Na^+ , as plantas glicófitas podem ativar vias de redução do acúmulo de Na^+ nos tecidos por: (i) diminuir o carregamento de sais no xilema ou intensificar sua retirada antes de chegar à parte aérea; (ii) aumentar a recirculação dos sais da parte aérea via floema; ou (iii) aumentar a compartimentação ou a alocação dos sais para locais particulares da parte aérea (como as folhas mais velhas). Em suma, para manter uma relação K^+/Na^+ citosólica favorável, os processos de exclusão e recirculação de Na^+ devem atuar de forma coordenada e combinada com um mecanismo eficiente de compartimentação desse íon nos vacúolos das células das raízes. O influxo de Na^+ no vacúolo é controlado por um transportador NHX (ver item 2), presente na membrana do tonoplasto (Blumwald, 2000; Jiang et al., 2010). O gradiente de prótons necessário para a atividade desse transportador é gerado pelas bombas H^+ -ATPase e H^+ -PPiase vacuolares (Klobus & Janicka-Russak, 2004; Gévaudant et al., 2007; Jiang et al., 2010; Wakeel et al., 2010).

É importante destacar que a recirculação do Na^+ das folhas para as raízes pelo floema promove somente a recirculação de pequena proporção do Na^+ que é transportado para a parte aérea. Portanto, os processos determinantes para a menor acumulação de Na^+ nos tecidos aéreos, e conseqüentemente aumento da tolerância à salinidade, são aqueles que controlam a absorção radicular e o carregamento de Na^+ no xilema das raízes. Dessa forma, um efluxo de Na^+ para a solução do solo deve funcionar de modo mais eficiente nas raízes para reduzir as taxas de acumulação desse íon nos tecidos, uma vez que o influxo unidirecional de Na^+ na célula ocorre de modo rápido e pode exceder enormemente a taxa de exclusão. Os processos de extrusão e compartimentação do Na^+ são sincronizados com o ajuste osmótico, mantendo alta a relação K^+/Na^+ e o equilíbrio hídrico entre meio externo, citosol + organelas e vacúolo.

4.2 Rotas para homeostase bioquímica

A homeostase bioquímica é um processo bastante complexo, visto que inclui todas as reações do metabolismo, incluindo ajustes bioquímicos e moleculares voltados para manter o funcionamento normal do organismo. Esse sistema compreende um controle dinâmico de

diversas rotas intrincadas de sinalização. Os mecanismos voltados para homeostase iônica e osmótica e a ativação do sistema antioxidante são controlados bioquimicamente após a percepção e transdução do sinal do estresse salino, e envolve a modulação de respostas em diferentes escalas, como a expressão de genes, sinalização por fatores de transcrição, regulação transcricional e pós-transcricional, ativação de enzimas, e regulação de canais, transportadores e bombas (Miranda et al., 2016, 2017a, 2017b; Araújo et al., 2021a, 2021b; Gadelha et al., 2021).

Plantas estressadas apresentam, inevitavelmente, acúmulo excessivo de íons tóxicos e produção de EROs e devem ativar controladamente e efetivamente os processos de detoxificação dos íons no citosol e a eliminação de EROs em diferentes compartimentos celulares. Os processos antioxidantes envolvem mecanismos complexos, podendo ser enzimáticos e não enzimáticos, e que atuam em compartimentos subcelulares para mitigar os danos oxidativos. Os principais agentes antioxidantes não-enzimáticos são: ácido ascórbico, α -tocoferol, flavonoides, glutathione, carotenoides, lipídeos e compostos fenólicos (Nadarajah, 2020). Além destes, há evidências crescentes de que os açúcares solúveis, incluindo dissacarídeos oligossacarídeos da família da rafinose e frutanos podem prevenir a formação de EROs, bem como aumentar os níveis de NADPH (um potente agente redutor) e proteger outras moléculas antioxidantes (Keunen et al., 2013; Behr et al., 2020). Por outro lado, entre os principais agentes antioxidantes enzimáticos tem-se: a dismutase do superóxido (SOD), a catalase (CAT), a peroxidase (POD), a peroxidase do ascorbato (APX), a peroxidase da glutathione (GPX), dentre outros. Essas enzimas, nas células vivas, agem de forma coordenada. Por exemplo, a primeira linha de defesa antioxidativa contra o radical $\bullet\text{O}_2^-$ se dá pela ação da SOD que converte esse radical em H_2O_2 . Em seguida, por ação de enzimas como a CAT, a APX ou a POD, o H_2O_2 é degradado, ou reduzido completamente, produzindo água e oxigênio e assim extinguindo os efeitos tóxicos dessa ERO (You & Chan, 2015; Nadarajah, 2020; Souza et al., 2021).

A ativação de várias enzimas relacionadas com a proteção contra danos oxidativos, em associação aos mecanismos de ajuste osmótico e iônico, tem sido determinante para plantas sob estresses abióticos. Em sorgo, Guimarães et al. (2018) concluíram que a sincronia entre as enzimas SOD e CAT resultou em melhor resposta nas variedades Sudão e F305. Nessa mesma espécie, para a variedade Redbine, foi observado que, sob condições de estresse salino, há aumento nas atividades de enzimas antioxidantes, enfatizando a ativação da SOD quando as plantas foram submetidas a níveis de salinidade superiores a 150 mM de NaCl (Yilmaz et al., 2020).

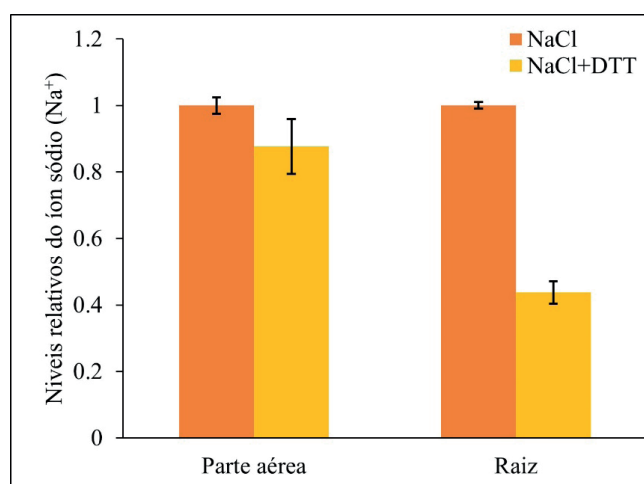
As poliaminas, além da ação como osmorreguladores, podem também exercer papel protetor sobre a homeostase redox (Li et al., 2015), mitigando os danos sobre a maquinaria fotossintética (Demetriou et al., 2007) e a homeostase iônica (Pottosin et al., 2012), além de atuarem em redes cruzadas de sinalização com hormônios, como etileno, óxido nítrico e ABA (Hussain et al., 2011; Freitas, 2015, 2018b).

As redes de sinalização e proteção do retículo endoplasmático são bastantes diversas. Plantas transgênicas de tomate superexpressando HSPs, como a BiP, apresentaram raízes

mais vigorosas, maior conteúdo de água e absorveram menos sódio, além de apresentarem menores danos nos fotossistemas, em comparação com plantas não transgênicas (Fu et al., 2016). Por outro lado, em *Arabidopsis*, a expressão aumentada de bZIP17 sob estresse salino possivelmente controlou a expressão de BiP3, enquanto a superexpressão de bZIP60 aumentou a tolerância aliviando a inibição do crescimento da raiz (Fujita et al., 2007; Liu et al., 2007; Henriquez-Valencia et al., 2015). Em sorgo, o tratamento combinado de NaCl com indutores do estresse do RE resultou em menores níveis de Na⁺ tanto na raiz quanto na parte aérea (Figura 4). Este resultado foi observado porque os indutores de estresse do RE foram capazes de induzir a expressão dos genes PDI, bZIP60 e dos transportadores NHX1 e SOS1 (Queiroz et al., 2020). Diante disso, se torna fundamental explorar os mecanismos que conectam respostas a estresses abióticos com a ação do RE de modo a desenvolver culturas que respondam mais eficientemente às condições adversas.

Nos cloroplastos, diversas proteínas relacionadas a respostas de defesa ao excesso de sais já foram identificadas, sendo observado que elas atuam na manutenção da integridade estrutural da organela, garantindo seu funcionamento. Dentre essas proteínas, estão aquelas que atuam na detoxificação de EROs pelos ciclos água-água e ascorbato-glutationa, em que a SOD dependente de cobre e zinco, localizada na membrana estromal, catalisa a dismutação do $\bullet\text{O}_2^-$ em H_2O e H_2O_2 . Este, por sua vez, é reduzido a H_2O pelas peroxidases do ascorbato tilacoidal ou estromal dissipando o excesso de energia ou, alternativamente, por tiorredoxinas e peroxirredoxinas no estroma, resultando em uma diminuição do poder redutor na cadeia transportadora de elétrons e assim proporcionando um melhor desempenho da planta frente ao estresse (Suo et al., 2017; Shigeoka & Maruta, 2014).

Figura 4. Níveis relativos do íon sódio na parte aérea e raízes de plântulas de sorgo submetidas ao estresse salino (NaCl) e ao estresse combinado de NaCl com ditiotreitól (DTT, um indutor do estresse do retículo endoplasmático). Adaptado de Queiroz et al. (2020).



Embora os mecanismos precisem ser mais esclarecidos, as respostas ao estresse salino parecem favorecer a ação de enzimas antioxidantes que aceleram a degradação de proteínas D1 danificadas pelo estresse salino, seguidas pela síntese *de novo* e inserção de proteínas D1

normais recompondo o PSII. Além disso, maiores quantidades de galactolipídeos e ácidos graxos insaturados na membrana tilacoidal aumentam sua fluidez, garantem a manutenção dos centros de reação dos dois fotossistemas (PSI e PSII), bem como do complexo dos citocromos *b₆f* e dos complexos coletores de luz, promovendo desse modo uma maior tolerância ao estresse salino (Wang et al., 2014).

Ressalte-se que a continuidade do ciclo de Calvin é fundamental para o processo de aclimação ao estresse salino, em que plantas tolerantes apresentam melhor performance fotossintética, maior condutância estomática e maiores níveis internos de carbono do que plantas sensíveis, além de melhor desempenho da ativase da Rubisco (enzima que regula a atividade da Rubisco) e de outras proteínas do complexo da Rubisco que passam a atuar como chaperonas (Kim et al., 2005; Negrão et al., 2017, Gadelha et al., 2021).

5 BIOMARCADORES DE TOLERÂNCIA AO ESTRESSE SALINO

Com o avanço das tecnologias disponíveis, o estudo das “ômicas” vem cada vez mais fornecendo uma visão ampla e rica sobre a biologia de sistemas, através de um fluxo multidirecional de informações controlado pelo núcleo da célula. Isto tem sido feito por meio do estudo de moléculas como os RNAs (transcriptômica), as proteínas (proteômica) e os metabólitos primários e secundários (metabolômica) em células, tecidos e órgãos e que variam de acordo com o ambiente em que o organismo se insere. Dessa forma, compreender as interações entre essas moléculas e identificar biomarcadores na regulação do estresse tem revelado como plantas toleram e modulam o metabolismo sob condições adversas (Razzaq et al., 2019).

5.1 Transcriptoma

As alterações na expressão gênica em resposta à salinidade podem ser quantificadas de diversas formas, incluindo o emprego da técnica de microarranjos de DNA, reação em cadeia da polimerase (PCR, do inglês, *Polymerase Chain Reaction*), *northern blotting*, dentre outras, as quais identificam o total de mRNAs transcritos (o transcriptoma) em um determinado tecido ou órgão. O estudo do transcriptoma envolve o conhecimento de uma ampla variedade de genes diferencialmente expressos, que podem ser modulados positivamente ou negativamente, reprimidos ou sintetizados *de novo*, e regulados por uma variedade de fatores de transcrição, proteínas e metabólitos que atuam no processo de aclimação à salinidade (Arif et al., 2020).

Transcritos biomarcadores potenciais incluem genes como *NHX1*, *SOS3/CBL4*, *SOS2/CIPK24* e *SOS1*, que estão envolvidos na compartimentação e exclusão de Na^+ e com sensores dos níveis de cálcio, síntese de carboidratos, aminoácidos e genes que codificam as proteínas *CAT*, desidrina (DHN), desidrogenase do gliceraldeído-3-fosfato (GAPDH), glutarredoxina-C1 (GST), S-transferase da glutationa, *LEA* (do inglês, *Late embryogenesis abundant*), *SAMS*

(do inglês, *S-adenosylmethionine synthase*) e *P5CS* (Miranda et al., 2017a; Amirbakhtiar et al., 2019; Gadelha et al., 2021). Tais moléculas são ativadas para garantir a manutenção de processos biológicos básicos, como as homeostases iônica, osmótica e oxidativa, que foram citadas no item 2 e compõem as rotas de defesa discutidas no item 4. Já os receptores do tipo cinase (RLK's, do inglês *Receptors Like Kinase*) de diferentes famílias, como aqueles ricos em prolina, serina, cisteína ou treonina (Figura 3), constituem alvos gênicos relacionados ao ajuste osmótico, defesa antioxidante contra o excesso de EROs, e recuperação do crescimento e desenvolvimento sob salinidade (Krasensky & Jonak, 2012). Dentre os vários fatores de transcrição envolvidos nas vias de defesa contra à salinidade, destacam-se os das famílias *ERF* (do inglês, *Ethylene Response Factor*), *AP2* (do inglês, *Apetala-2*) e *DREB*, que se ligam a promotores de genes de tolerância como *MYB*, *WRKY*, *NAC*, *HSPs*, dentre outros (Arif et al., 2020). Além dos componentes referidos previamente, pode-se citar genes marcadores relacionados com as enzimas redutase da isoflavona, sintase do ATP, dismutase do superóxido, sintetase da sacarose, ativase da rubisco, AOX, e com proteínas do sistema fotossintético, clorofilas e solutos compatíveis (Amaral et al., 2016; Arif et al., 2020).

5.2 Proteoma

A elucidação de alvos proteicos e biomarcadores de tolerância ao estresse salino pode ser realizada por meio de técnicas com emprego de anticorpos/imunoensaios (*western blotting* ou *immunoblotting*), atividade de enzimas, pela determinação do proteoma *downstream* por cromatografia líquida acoplada a espectrometria de massa, por determinação dos padrões de eletroforese bidimensional (2D), acoplado a espectrometria de massas, dentre outras. Tais estudos revelam todas as proteínas de um determinado tecido ou órgão (o proteoma), e têm corroborado com os estudos dos genes diferencialmente expressos, citados anteriormente, para auxiliar na compreensão dos mecanismos de tolerância e os ajustes pós-traducionais induzidos pela salinidade.

A partir de estudos proteômicos, os pesquisadores identificaram diversas proteínas biomarcadoras de processos metabólicos, tais como aquelas envolvidas no metabolismo dos aminoácidos (*P5CS*, sintase da glutamina, desidrogenase da betaína e desidrogenase da glicina), no enovelamento proteico e defesa (*LEA*, chaperonas *HSP70* e *HSP90*), no metabolismo energético (enzimas da glicólise e ciclo de Krebs), e proteínas/enzimas antioxidantes [como *SOD*, *CAT*, *APX*, *DHAR* (redutase do desidroascorbato), *MDAR* (redutase do monodesidroascorbato), *GPX* (peroxidase da glutationa) e *POD*] (Krishnamurthy et al., 2018; Arif et al., 2020). A comparação entre géis 2D de proteínas extraídas de folhas de milho sob salinidade identificou importantes proteínas marcadoras de estresse envolvidas no metabolismo do carbono e fotossíntese, no metabolismo energético, na resposta ao estresse, e diversas subunidades da sintase do ATP, além de outras proteínas, como chaperoninas, sintase da cisteína, *HSP70* e o fator de alongação *TU* (Araujo et al., 2021b). Além disso, a tolerância ao estresse salino induzida pelo pré-tratamento com H_2O_2 foi relacionada com o aumento dos níveis da Rubisco (subunidade maior), ferredoxina, *SAMS* e de

uma proteína associada à membrana tilacóide, ressaltando a importância da modulação proteica. Igualmente, a comparação de géis 2D de sorgo indicou que a tolerância ao estresse salino induzida por nutrição com amônio aumentou a síntese de proteínas relacionadas ao complexo coletor de luz, enzimas do metabolismo C4 [carboxilase do fosfoenolpiruvato (PEPcase) e fosfatase do piruvato], sintase do ATP nos plastídeos, sintetase da cisteína e desidrogenase do isocitrato. Tais alterações foram associadas à melhor performance das plantas, menores níveis de H_2O_2 , aumento da assimilação de carbono e maior relação K^+/Na^+ (Oliveira et al., 2020a).

O emprego de biomarcadores do transcriptoma e proteoma deve ser cuidadosamente analisado, pois o ajuste fino dos genes e proteínas nem sempre resulta em respostas de tolerância ao estresse. Em muitos casos, as vias de respostas divergem até mesmo em genótipos da mesma espécie, situações em que determinado alvo molecular, que atuou como crucial para o genótipo tolerante, pode não ser empregado como biomarcador para o genótipo sensível. Esse mesmo raciocínio deve ser empregado para diferentes espécies, e até mesmo para espécies em que o emprego de estratégias de cultivo (como será descrito no item 6) foi efetivo para aumentar a tolerância da planta à salinidade.

5.3 Metaboloma

Uma outra abordagem para o estudo do estresse salino em plantas é a avaliação do perfil metabólico, o qual revela alterações no conjunto total de metabólitos de baixo peso molecular (o metaboloma), em tecidos e órgãos, como folhas, caules, raízes e frutos. Em geral, a separação e identificação desses metabólitos pode ser alcançada através de técnicas de cromatografia gasosa/líquida acoplada a espectrometria de massas (GC/MS), ensaios espectrofotométricos, dentre outras. Por se tratar de um grande volume de dados, tal investigação por GC/MS envolve análise multivariada para identificação de biomarcadores.

Os perfis metabólicos têm sido determinados com diversas finalidades, como, por exemplo, para estudos com genótipos contrastantes ao estresse salino (Oliveira et al., 2020b), com plantas em diferentes estádios de desenvolvimento (Zhang et al., 2018b) e em diversas condições de estresses abióticos (Obata & Fernie, 2012), ou mesmo para avaliar a qualidade genética de culturas (Gamboa-Becerra et al., 2019), e também para caracterização de biomarcadores induzidos por compostos químicos ao longo do desenvolvimento que causam estresse do retículo endoplasmático (Lima et al., 2022).

Dentre os vários metabólitos que apresentam flutuações nos tecidos vegetais sob salinidade, e que podem atuar como biomarcadores, pode-se citar, em plantas de *Egletes viscosa*, os metabólitos primários chaves, prolina, valina e sacarose, e os secundários, monoterpenos e sesquiterpenos (Batista et al., 2019). No milho, os metabólitos arabitol, glicose, asparagina, e tirosina se mostraram cruciais nas respostas de tolerância aos sais (Araújo et al., 2021a), enquanto no sorgo, os metabólitos chaves para essas respostas foram poliaminas, prolina, ácido gama-aminobutírico, citrato, glicose e frutose (Oliveira et al., 2020b). De modo geral, os pesquisadores estabeleceram o papel desses metabólitos como biomarcadores por eles

favorecem o ajustamento osmótico, a proteção contra o estresse oxidativo, a diminuição dos níveis de Na^+ em folhas e raízes e a manutenção da fotossíntese e crescimento. Tais estudos têm mostrado que os metabólitos biomarcadores são intensificados com o emprego de indutores de tolerância, como a aplicação de ácido salicílico (Batista et al., 2019) ou de peróxido de hidrogênio (Araújo et al., 2021a), conforme será descrito no item 6.

Embora grande enfoque seja dado ao metabolismo primário, o metabolismo secundário também desempenha importante papel nas respostas à salinidade, não apenas em halófitas, mas também em glicófitas. Assim como em diversas halófitas, os metabólitos marcadores de tolerância incluem compostos envolvidos na defesa antioxidante, com a participação, por exemplo, de flavonoides, carotenoides, compostos nitrogenados e conjugados de poliaminas, além de prolina e glicina betaína, sendo estes dois últimos envolvidos no ajustamento osmótico (Benjamin et al., 2019). Em maçã (*Mallus halliana*), sob salinidade, o acúmulo de flavonoides foi decorrente de vias metabólicas que incluem o kaempferol e a quercetina, enquanto o acúmulo de ácido chiquímico foi relacionado à biossíntese de aminoácidos e outros metabólitos secundários, como pigmentos, alcalóides, vindolina e catarantina (Jia et al., 2019). Da mesma forma, em arroz (*Oryza sativa*), metabólitos como chiquimato e quinato (precursors de metabólitos secundários) foram considerados marcadores e críticos para a tolerância ao estresse salino (Chang et al., 2019).

Em uma visão ampla, muitas outras moléculas sejam RNAs, proteínas ou outros metabólitos têm sido consideradas como cruciais nas respostas à salinidade. No entanto, embora algumas sejam bem conhecidas, a influência de outras e de suas respectivas vias metabólicas ainda necessitam ser aprofundadas ou descobertas. Portanto, maior compreensão de como essas moléculas interagem e como são moduladas podem auxiliar na identificação de marcadores biológicos e moleculares em espécies mais tolerantes à salinidade.

6 ESTRATÉGIAS PARA O AUMENTO DA TOLERÂNCIA À SALINIDADE

O aumento da incidência de áreas afetadas por salinidade, associada à demanda crescente do uso de água salobra para produtividade agrícola, tem levado inúmeros centros de pesquisa no mundo a direcionar esforços para estudos básicos e aplicados incluindo temas relacionados ao estresse salino. Os estudos são norteados com o intuito de estimular vias metabólicas relacionadas a resiliência da planta sob estresse, seja por meio da transformação genética ou pelo desenvolvimento de novas técnicas de manejo de cultivo.

As estratégias com agentes indutores de aclimação à salinidade incluem principalmente a adoção de técnicas de tolerância cruzada, pré-tratamento com moléculas orgânicas intrínsecas do vegetal, alterações na adubação de nutrientes essenciais ou benéficos, ou até mesmo a alteração na fonte do nutriente. O uso de alguns indutores de aclimação tem sido efetivo para algumas espécies de plantas, permitindo a sobrevivência do vegetal sob excesso de sal, e é caracterizada por ser uma forma mediadora de tolerância, que não é transmitida para as gerações futuras.

6.1 Agentes mediadores de tolerância cruzada

A tolerância cruzada acontece quando a aclimação a um estresse é intensificada pela exposição a um estresse anterior, de mesmo tipo ou diferente, ou a compostos relacionados à sinalização de estresse nas plantas. Sucessos com essa estratégia, em relação à salinidade, têm sido alcançados por meio do uso do pré-tratamento de sementes/plantas com peróxido de hidrogênio (Azevedo-Neto et al., 2005; Gondim et al., 2010, 2012, 2013; Araújo et al., 2021a, 2021b), ácido salicílico (Es-sbihi et al., 2021), jasmonato (Avalbaev et al., 2021), melatonina (Ahmad et al., 2021), compostos que liberam óxido nítrico (Marques et al., 2013; Gadelha et al., 2017), dentre outros.

Diversos estudos evidenciam claramente que o pré-tratamento com uma concentração adequada de H_2O_2 , a depender da espécie, é capaz de intensificar a tolerância ao estresse salino, como é o caso em gramíneas como o arroz (Uchida et al., 2002), o milho (Azevedo-Neto et al., 2005; Gondim et al., 2012) e o trigo (Wahid et al., 2007). Os efeitos benéficos do *priming* com H_2O_2 incluem a mitigação dos efeitos tóxicos dos sais durante a germinação de sementes e o crescimento da planta (Gondim et al., 2010), modulando vias metabólicas-chaves para o funcionamento do vegetal, como rotas de metabólitos primários (Araújo et al., 2021a), alterações pontuais no proteoma (Wahid et al., 2007; Araújo et al., 2021b), e expressão de genes e atividade de enzimas antioxidantes (Gondim et al., 2012). Esse ajuste metabólico resulta em proteção ao aparato fotossintético, especialmente à ultraestrutura dos cloroplastos (Araújo et al., 2021a), e permite maior eficiência fotoquímica (Uchida et al., 2002) e fotossintética (Gondim et al., 2013) em plantas crescidas sob salinidade.

O ácido salicílico (AS) é um importante regulador endógeno de crescimento que pode funcionar como um sinal para aclimação ao estresse. A aplicação exógena de AS está diretamente relacionada ao estímulo de vias de sinalização de danos oxidativos causados por espécies reativas de oxigênio (Xu & Brosché, 2014; Herrera-Vásquez et al., 2015; Liu et al., 2021). Plantas pré-tratadas com AS, sob salinidade, mostraram melhor desempenho que plantas não pré-tratadas, fato atribuído ao reestabelecimento da homeostase iônica (Jayakannan et al., 2013; Es-sbihi et al., 2021), ativação de mecanismos para proteção contra danos oxidativos (Souana et al., 2020), reparo e proteção do aparato fotossintético (Nazar et al., 2015; Batista et al., 2019), modulação de metabólitos voláteis (Batista et al., 2019), e reestruturação da anatomia de tecidos vegetais (Es-sbihi et al., 2021).

Recentemente, o *priming* com jasmonato e melatonina, dois hormônios encontrados em plantas, tem sido bastante estudado para indução da aclimação à salinidade. Os jasmonatos receberam atenção considerável em função do seu envolvimento no desencadeamento da resistência sistêmica induzida em resposta à infecção patogênica, associada principalmente à ativação de genes envolvidos nas respostas de defesa das plantas. Entretanto, há evidências crescentes que estes compostos também atuam em vias intrincadas de defesa das plantas à salinidade, como rotas antioxidantes e acúmulo de hormônios relacionados ao crescimento das plantas (Avalbaev et al., 2021). De modo similar, a melatonina pode induzir respostas sistêmicas nos tecidos vegetais, promovendo a regulação da homeostase iônica, a ativação

de vias antioxidantes de defesa, e aumento da eficiência fotossintética de plantas expostas a concentrações elevadas de sais (Altaf et al., 2021; Armad et al., 2021).

O pré-tratamento com óxido nítrico (NO) exógeno tem se mostrado eficaz no aumento da tolerância à salinidade, porém, a indução da aclimação ao estresse depende da espécie de planta. Na cultura do milho, o *priming* com nitroprussiato de sódio (SNP), um composto que libera NO, aumentou os teores de K^+ e reduziu o acúmulo de Na^+ e os danos oxidativos aos tecidos foliares (Marques, 2013). Essa resposta foi associada com os maiores teores de antioxidantes não enzimáticos, como o ascorbato e a glutatona, e modulação de proteínas relacionadas ao aparato fotossintético, que resultaram no melhor desempenho fotossintético e de crescimento, em comparação a plantas não pré-tratadas. Em *Jatropha curcas*, o NO mitigou os efeitos nocivos do sal na mobilização de reservas e no crescimento das mudas, o que se relacionou com uma ativação mais eficiente do sistema antioxidante e por restringir melhor o acúmulo de íons tóxicos e EROs (Gadelha et al., 2017). Entretanto, deve-se ressaltar que o SNP também pode aumentar significativamente os níveis de EROs nos tecidos, independentemente de estresse salino, e apresenta limitações como doador de NO, uma vez que também libera cianeto e ferro, que mascaram o efeito do NO e, assim, o uso de SNP em pesquisas como doador de NO é discutível (Keisham et al., 2019). Entretanto, outras fontes de NO podem ser exploradas sem participação de interferentes, como por exemplo, o dietilenetriamina nonoato (DETA).

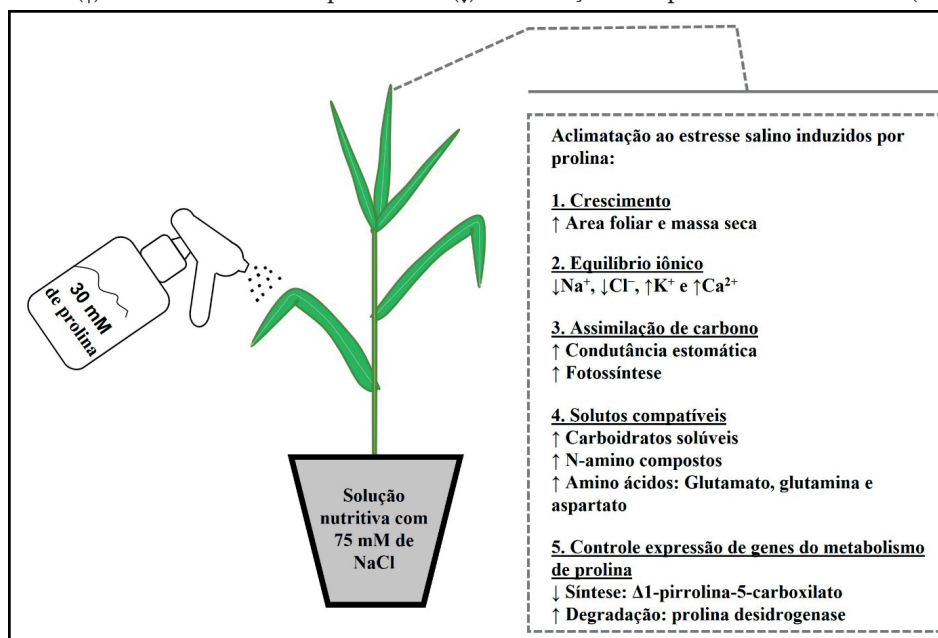
6.2 Compostos orgânicos indutores de tolerância

A aplicação de prolina exógena tem se mostrado uma estratégia promissora para melhorar o desempenho de plantas sob condições salinas. Para o milho, as plantas estressadas e tratadas com prolina mostraram decréscimos no acúmulo de íons tóxicos e de espécies reativas de oxigênio, associado a indução do sistema antioxidante (Freitas et al., 2018a). Alterações similares foram reportadas na cultura do sorgo (Figura 5), em que os efeitos benéficos da prolina exógena foram relacionados ao controle restrito da homeostase iônica e do acúmulo de solutos orgânicos, que permitiram melhor desempenho fotossintético (Freitas et al., 2019a). Além disso, esse fenômeno foi decorrente, em parte, da regulação coordenada dos níveis de prolina nos tecidos das plantas sob estresse salino, envolvendo compostos chaves do metabolismo da prolina, como os genes *P5CS1* e *PRODH* e as enzimas sintetase da Δ^1 -pirrolina-5-carboxilato (P5CS) e desidrogenase da prolina (ProDH). Em todos os casos, plantas estressadas e tratadas com prolina exógena apresentaram maiores taxas de crescimento que àquelas estressadas e não tratadas com prolina.

Embora haja diferentes hipóteses sobre o acúmulo de prolina e seu possível papel durante o estresse, sabe-se que o processo de sua síntese consome NADPH citosólico, enquanto seu catabolismo na mitocôndria aumenta os níveis de glutamato e libera os de $FADH_2$ e NADH, balanceando os níveis desses carreadores de elétrons em diferentes compartimentos subcelulares (Szabados et al., 2010). Portanto, o ajuste fino envolvendo as enzimas de síntese e degradação da prolina induzem mudanças favoráveis, como redução dos níveis de íons

tóxicos, aumento de compostos nitrogenados e carboidratos solúveis, diminuindo os danos da salinidade sobre os tecidos vegetais (Figura 5) (Freitas et al., 2019a). Além disso, o ácido gama-aminobutírico se acumula durante o estresse salino e sua degradação, que também ocorre na mitocôndria, gera substratos para o ciclo do ácido tricarboxílico e cadeia de transporte de elétrons para manter energia e esqueletos de carbono sob o estresse (Renault et al., 2010).

Figura 5. Aclimação ao estresse salino induzido por aplicação exógena de prolina em plantas de sorgo. Setas para cima (↑) indicam aumento e para baixo (↓) diminuição. Adaptado de Freitas et al. (2019a).



As poliaminas desempenham papéis fundamentais nas rotas de sinalização e defesa de plantas sob salinidade (Freitas et al., 2018b). O pré-tratamento com a poliamina putrescina estimulou a expressão diferencial de genes dos transportadores SOS1, NHX e HKT1 nos tecidos radiculares e foliares, os quais regulam eficientemente a homeostase K⁺/Na⁺ por reduzir o acúmulo de Na⁺ na raiz e promover a deposição deste íon tóxico no caule de plantas de pepino (Yuan et al., 2019). Os pesquisadores relatam ainda o envolvimento das poliaminas na sinalização por H₂O₂, algo também reportado para plantas de milho sob estresse (Freitas et al., 2018b). Já para plantas de tomate e arroz, a pulverização foliar com a poliamina espermina estimulou a integração de eventos de sinalização e resultou na maior tolerância à salinidade (Ahanger et al., 2019; Islam et al., 2020). Essa estratégia de pré-tratamento intensificou o acúmulo de osmólitos e metabólitos secundários, associado com a redução dos danos oxidativos e ativação do metabolismo antioxidante, possibilitando maior atividade do aparato fotossintético e crescimento em plantas de tomate sob estresse (Ahanger et al., 2019).

O emprego de outros compostos exógenos, como glicose, oligoquitosana e alantionina foi eficaz na ativação de respostas de defesa em algumas espécies de plantas durante o crescimento

vegetativo inicial. A glicose exógena estimulou as taxas de germinação, o acúmulo de K^+ , e intensificou a ação de enzimas antioxidantes, resultando em maior crescimento das plantas de trigo sob salinidade (Hu et al., 2012). O pré-tratamento de sementes com oligoquitosana intensificou a defesa antioxidativa de plântulas de trigo, que apresentaram menores danos oxidativos e incrementos consideráveis nas taxas fotossintéticas e parâmetros de crescimento (Ma et al., 2012). O condicionamento de plantas de beterraba com alantoina, um ureídeo que atua como fonte de nitrogênio em plantas, promoveu alterações no metabolismo das poliaminas, reduziu os danos oxidativos pela ativação das vias antioxidantes de defesa, uma resposta associada à regulação da homeostase iônica, e maiores taxas de crescimento em plantas submetidas ao excesso de sais (Liu et al., 2020).

6.3 Adubação diferencial de nutrientes na aclimação de plantas

A suplementação com nutrientes minerais, como cálcio (Ca), fósforo (P), enxofre (S) e silício (Si), também, tem sido utilizada para induzir tolerância à salinidade, porém os resultados obtidos são conflitantes. Há casos em que as alterações no nível desses nutrientes no meio de crescimento levam à tolerância, enquanto em outros a sensibilidade das plantas ao estresse salino não é alterada, o que demonstra ser uma resposta espécie-dependente. No entanto, a grande maioria desses nutrientes potencializa o sistema antioxidante e/ou ativa as vias de controle da homeostase iônica, e pode resultar em plantas com elevada capacidade de crescer na presença de sais.

A adubação suplementar com S atenuou os efeitos deletérios da salinidade por ativar eficientemente o sistema de defesa antioxidante, reduzir a absorção e acúmulo de íons tóxicos e a relação Na^+/K^+ , e por promover uma nutrição balanceada dos íons fósforo e potássio (Freitas et al., 2019b). Por outro lado, a suplementação com Si à solução nutritiva estimulou a ação de enzimas antioxidantes e acúmulo de compostos nitrogenados, o que possibilitou melhor desempenho de plantas de girassol sob condições de salinidade (Conceição et al., 2019). Em contraste, embora o Si tenha promovido alterações fisiológicas e bioquímicas benéficas nos tecidos vegetais de plantas de alface, as respostas não foram suficientes para aumentar a tolerância ao estresse salino (Lemos-Neto et al., 2020).

O uso de doses adicionais de Ca e P se mostrou ineficiente na ativação da tolerância para algumas espécies leguminosas, como feijão-caupi e soja. A adubação suplementar com Ca^{2+} para plantas de feijão-caupi induziu alterações específicas na composição lipídica e na estrutura de membrana (Guimarães et al., 2011), aliviou a toxicidade do Na^+ e promoveu respostas relevantes para o equilíbrio nutricional e homeostase Na^+/K^+ (Guimarães et al., 2012). Entretanto, essa estratégia não foi eficaz de mitigar os efeitos osmóticos associados ao aumento da concentração de sais e, dessa forma, não aumentou a tolerância ao estresse salino (Guimarães et al., 2012). Similarmente, o emprego da adubação suplementar com P estimulou o crescimento de plantas de soja sob condições de estresse salino, mas não mitigou os efeitos deletérios da salinidade (Miranda et al., 2013a).

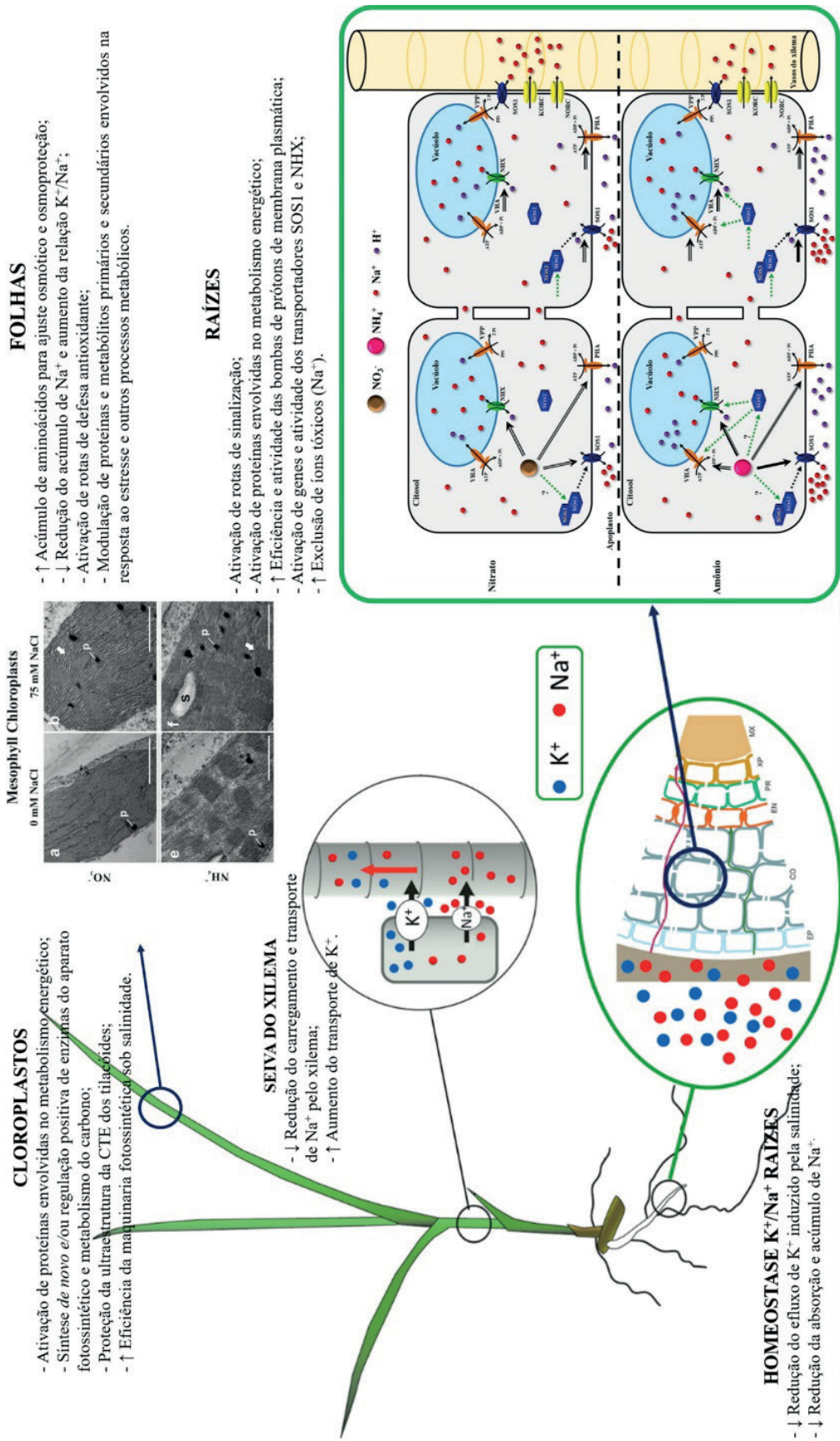
Diante de todas as estratégias apresentadas, a adubação diferencial com nitrogênio (N) talvez seja uma das mais promissoras para induzir respostas de tolerância ao sal em condições de campo, por se tratar do elemento mais requerido pelos vegetais. Entretanto, as pesquisas têm mostrado resultados conflitantes a depender da espécie de planta, havendo casos em que incrementos na dose de nitrato (NO_3^-), ou sua substituição parcial ou total por amônio (NH_4^+), foram determinantes para ativar mecanismos de aclimação à salinidade em determinadas culturas. Espécies como girassol, milho, e alguns genótipos de sorgo, mostraram perturbações severas no crescimento e alta sensibilidade ao estresse salino quando nutridas com NH_4^+ ; no entanto, uma nutrição com elevadas concentrações de NO_3^- ou uma combinação com concentrações iguais entre NO_3^- e NH_4^+ foi capaz de aliviar os efeitos prejudiciais da salinidade em comparação com a nutrição com NO_3^- (Feijão et al., 2011; 2013; 2017; Souza et al., 2021).

Em outra linha de frente, diversos estudos têm fornecido fortes evidências de que a nutrição com apenas NH_4^+ mitiga efetivamente os efeitos nocivos do sal e aumenta a tolerância ao estresse salino em plantas de sorgo forrageiro, em comparação com o fornecimento de NO_3^- (Miranda et al., 2013b; 2014; 2015; 2016; 2017a; 2017b; Coelho et al., 2020; Oliveira et al., 2020b; Paula-Marinho, 2020; Souza et al., 2021). A reprogramação das respostas de plantas de sorgo à salinidade, mediada pela nutrição com NH_4^+ , se encontra resumida na Figura 6.

De modo geral, o papel benéfico da nutrição com NH_4^+ sob estresse foi atribuído: (i) ao acúmulo de aminoácidos para fins de ajuste osmótico, mantendo o status hídrico e a osmoproteção, e reduzindo o efluxo de K^+ induzido pela salinidade (Miranda et al., 2013b; 2016; Coelho et al., 2020); (ii) a ativação de proteínas envolvidas no metabolismo energético (Oliveira et al., 2020b) para direcionar energia para a atividade das bombas de prótons nas raízes (Miranda et al., 2017), e que culmina na ativação de genes e na eficiência dos transportadores antiporte SOS1 e NHX ; (iii) a restrição do acúmulo de Na^+ nos tecidos da raiz e, conseqüentemente, redução do carregamento de Na^+ na seiva do xilema e seu acúmulo na parte aérea (Miranda et al., 2017; Coelho et al., 2020); (iv) a síntese *de novo* ou regulação positiva de enzimas do aparato fotossintético e metabolismo do carbono (Oliveira et al., 2020b), associada a ativação de vias de defesa antioxidante (Souza et al., 2021) e proteção da ultraestrutura dos componentes da cadeia transportadora de elétrons dos tilacóides (Paula-Marinho, 2020), o que resulta na alta eficiência da maquinaria fotossintética sob salinidade (Miranda et al., 2014; 2016; Paula-Marinho, 2020); e por fim, (v) da modulação de proteínas e metabólitos primários e secundários envolvidos na resposta ao estresse e outros processos metabólicos, constituindo vias intrincadas de respostas para tolerância à salinidade (Oliveira et al., 2020a; Paula-Marinho, 2020).

O próximo passo para disponibilizar tais estratégias aos produtores é confirmar os resultados em condições de campo, com vistas a constituir novas técnicas de manejo voltadas a aumentar a tolerância ao sal. Testes no campo poderão fornecer melhor compreensão dos mecanismos de detoxificação, ajuste nutricional e iônico, modulação metabólica, e interação com outros fatores bióticos e abióticos. Mesmo assim, os estudos a nível celular e molecular devem continuar até que alcancemos um melhor entendimento desses mecanismos.

Figura 6. Papel do amônio (NH_4^+) na ativação de vias intrínsecas de respostas para tolerância de plantas de sorgo ao estresse salino. Adaptado de Miranda et al. (2017a) e Paula-Marinho (2020).



7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os vegetais devem superar sérios desafios para manter o crescimento e desenvolvimento sob condições de estresse salino. Para se aclimatarem às alterações do meio em que vivem, as plantas convertem os sinais e estímulos que recebem numa cascata de eventos que se inicia na membrana plasmática e segue até ao núcleo celular, controlando a expressão de genes relacionados à antioxidantes, enzimas, proteínas e outras moléculas de defesa. Estudos comparativos conduzidos com genótipos tolerantes e sensíveis aos sais têm auxiliado bastante para entendermos as alterações morfofisiológicas, bioquímicas e moleculares que as plantas experimentam para lidar com os efeitos prejudiciais da salinidade. Já se sabe que a redução do excesso de energia no aparato fotossintético e preservação da ultraestrutura dos plastídios, o acúmulo de solutos compatíveis e a ativação dos mecanismos de exclusão e armazenamento de íons tóxicos têm sido fundamentais para a aclimação e tolerância à salinidade de diversas espécies de plantas. As respostas incluem modulações em moléculas alvo em diferentes níveis, que vão desde a expressão de genes a ativação/desativação de componentes específicos.

O emprego bem-sucedido de estratégias para aumento da tolerância à salinidade, como a nutrição com diferentes fontes de nitrogênio e os pré-tratamentos com peróxido de hidrogênio, ácido salicílico, e outras moléculas que se mostraram promissoras na melhoria das injúrias causadas pelo sal, abrem perspectivas futuras. Os estudos demonstram que essas estratégias são capazes de ativar vias interconectadas para o controle do metabolismo e coordenação da expressão gênica em compartimentos específicos, que culminam no controle do sistema antioxidante e no restabelecimento da homeostase osmótica e iônica (absorção, exclusão, sequestro e transporte de íons tóxicos).

O desafio para disponibilizar tais estratégias aos produtores consiste em confirmar os resultados em condições de campo, com vistas a constituir novas técnicas de manejo voltadas para aumentar à tolerância ao sal. Porém, é importante que os estudos a nível celular e molecular continuem até que se alcance melhor entendimento desses mecanismos. Embora cada vez mais biomarcadores do estresse tenham sido identificados, principalmente com o avanço tecnológico nas técnicas envolvendo as “ômicas”, entre eles transcritos, proteínas, ou metabólitos primários e secundários, há a necessidade de mais esforços para identificação de novas moléculas que forneçam a base para o entendimento de como os mecanismos de aclimação induzem a tolerância em glicófitas. Com isso, num futuro próximo, esses achados poderão ser alvos de programas de melhoramento genético, para a produção de plantas tolerantes aos sais e sua posterior disponibilização para os agricultores.

LITERATURA CITADA

Acosta-Motos, J. R.; Ortuño, M. F.; Bernal-Vicente, A.; Diaz-Vivancos, P.; Sanchez-Blanco, M. J.; Hernandez, J. A. Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. *Agronomy*, v.7, n.1, p.18, 2017.

- Ahanger, M. A.; Qin, C.; Maodong, Q.; Dong, X. X.; Ahmad, P.; Abd_Allah, E. F.; Zhang, L. Spermine application alleviates salinity induced growth and photosynthetic inhibition in *Solanum lycopersicum* by modulating osmolyte and secondary metabolite accumulation and differentially regulating antioxidant metabolism. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.144, p.1–13, 2019.
- Ahmad, S.; Cui, W.; Kamran, M.; Ahmad, I.; Meng, X.; Wu, X.; Su, W.; Javed, T.; El-Serehy, H.A.; Jia, Z.; Han, Q. Exogenous application of melatonin induces tolerance to salt stress by improving the photosynthetic efficiency and antioxidant defense system of maize seedling. *Journal of Plant Growth Regulation*, v.40, p.1270–1283, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10187-0>
- Al-Shoaibi, A. A. Combined effects of salinity and temperature on germination, growth and gas exchange in two cultivars of *Sorghum bicolor*. *Journal of Taibah University for Science*, v.14, p.812-822, 2020.
- Altaf, M. A.; Shahid, R.; Ren, M. X.; Altaf, M. M.; Khan, L. U.; Shahid, S.; Jahan, M. S. Melatonin alleviates salt damage in tomato seedling: A root architecture system, photosynthetic capacity, ion homeostasis, and antioxidant enzymes analysis. *Scientia Horticulturae*, v.285, p.110145, 2021.
- Amaral, M. N.; Arge, L. W. P.; Benitez, L. C.; Danielowski, R.; Silveira, S. F.; Rosa, F.D., Braga, E.J.B. Comparative transcriptomics of rice plants under cold, iron, and salt stresses. *Functional & Integrative Genomics*, v.16, p.567-579, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10142-016-0507-y>
- Amirbakhtiar, N.; Ismaili, A.; Ghaffari, M. R.; Nazarian Firouzabadi, F.; Shobbar, Z. S. Transcriptome response of roots to salt stress in a salinity-tolerant bread wheat cultivar. *PloS One*, v.14, p.e0213305, 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213305>
- Anjum, N. A.; Sofu, A.; Scopa, A.; Roychoudhury, A.; Gill, S. S.; Iqbal, M.; Lukatkin, A. S.; Pereira, E. Duarte, A. C.; Ahmad, I. Lipids and proteins – major targets of oxidative modifications in abiotic stressed plants. *Environmental Science and Pollution Research*, v.22, p.4099–4121, 2015.
- Araújo, G. S.; Lopes, L. S.; Paula-Marinho, S. O.; Mesquita, R. O.; Nagano, C. S.; Vasconcelos, F. R.; Carvalho, H. H.; Moura, A. A. A. N.; Marques, E. C.; Gomes-Filho, E. H₂O₂ priming induces proteomic responses to defense against salt stress in maize. *Plant Molecular Biology*, v.106, p.33–48, 2021b.

- Araújo, G. S.; Paula-Marinho, S. O.; Pinheiro, S. K. P.; Miguel, E. C.; Lopes, L. S.; Marques, E. C.; Carvalho, H. H.; Gomes-Filho, E. H₂O₂ priming promotes salt tolerance in maize by protecting chloroplasts ultrastructure and primary metabolites modulation. *Plant Science*, v.303, p.110774, 2021a.
- Arif, Y.; Singh, P.; Siddiqui, H.; Bajguz, A.; Hayat, S. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.156, p.64-77, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.08.042>
- Avalbaev, A.; Allagulova, C.; Maslennikova, D.; Fedorova, K.; Shakirova, F. Methyl jasmonate and cytokinin mitigate the salinity-induced oxidative injury in wheat seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*, v.40, n.4, p.1741-1752, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10221-1>
- Azevedo-Neto, A. D.; Prisco, J. T.; Eneas-Filho, J.; Medeiros, J.-V. R.; Gomes-Filho, E. Hydrogen peroxide pretreatment induces salt-stress acclimation in maize plants. *Journal of Plant Physiology*, v.162, p.1114-1122, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.01.007>
- Batista, V. C. V.; Pereira, I. M. C.; Paula-Marinho, S.O.; Canuto, K. M.; Pereira, R. D. C. A.; Rodrigues, T. H. S.; Daloso, D. M.; Gomes-Filho, E; Carvalho, H. H. Salicylic acid modulates primary and volatile metabolites to alleviate salt stress-induced photosynthesis impairment on medicinal plant *Egletes viscosa*. *Environmental and Experimental Botany*, v.167, p.103870, 2019.
- Baxter, A.; Mittler, R.; Suzuki, N. ROS as key players in plant stress signalling. *Journal of Experimental Botany*, v.65, p.1229-1240, 2014. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert375>
- Behr, M.; Neutelings, G.; el Jaziri, M.; Baucher, M. You want it sweeter: how glycosylation affects plant response to oxidative stress. *Frontiers in Plant Science*, v.11, p. 1443 2020.
- Benjamin, J. J.; Lucini, L.; Jothiramshekar, S.; Parida, A. Metabolomic insights into the mechanisms underlying tolerance to salinity in different halophytes. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.135, p.528-545, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.11.006>
- Blumwald, E. Sodium transport and salt tolerance in plants. *Current Opinion in Cell Biology*, v.12, p.431-434, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0955-0674\(00\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0955-0674(00)00112-5)
- Bray, E. A.; Bailey-Serres, J.; Weretilnyk, E. Responses to abiotic stress. In: Buchanan, B. B.; Gruissem, W.; Jones, R. L. (eds.). *Biochemistry and molecular biology of plants*. Rockville: American Society of Plant Physiology, 2000. p.1158-1203.

- Cabello, J. V.; Lodeyro A. F.; Zurbriggen, M. D. Novel perspectives for the engineering of abiotic stress tolerance in plants. *Current Opinion in Biotechnology*, v.26, p.62-70, 2014.
- Carillo, P.; Raimondi, G.; Kyriacou, M. C.; Pannico, P.; El-Nakhel, C.; Cirillo, V.; Colla G.; Pascale, S.; Roupahel, Y. Morpho-physiological and homeostatic adaptive responses triggered by omeprazole enhance lettuce tolerance to salt stress. *Scientia Horticulturae*, v.249, p.22-30, 2019.
- Chang, J.; Cheong, B. E.; Natera, S.; Roessner, U. Morphological and metabolic responses to salt stress of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars which differ in salinity tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.144, p.427-435, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.10.017>
- Chinnusamy, V.; Zhu, J; Zhou, T.; Zhu, J. -K. Small RNAs: big role in abiotic stress tolerance of plants. In: Jenks, M. A.; Hasegawa, P. M.; Jain, S. M. (eds.). *Advances in molecular breeding toward drought and salt tolerant crops*. Dordrecht: Springer, 2007. p.223-260.
- Coelho, D. G.; Miranda, R. S.; Paula-Marinho, S. O.; Carvalho, H. H.; Prisco, J. T.; Gomes-Filho, E. Ammonium nutrition modulates K⁺ and N uptake, transport and accumulation during salt stress acclimation of sorghum plants. *Archives of Agronomy and Soil Science*, v.66, p.1991-2004, 2020.
- Conceição, S. S.; Oliveira-Neto, C. F.; Marques, E. C.; Barbosa, A. V. C.; Galvão, J. R.; Oliveira, T. B.; Okumura, R. S.; Martins, J. T. S.; Costa, T. C.; Gomes-Filho, E. Silicon modulates the activity of antioxidant enzymes and nitrogen compounds in sunflower plants under salt stress. *Archives of Agronomy and Soil Science*, v.65, p.1237-1247, 2019. <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1562272>
- Das, K.; Roychoudhury, A. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. *Frontiers in Environmental Science*, v.2, p.53, 2014.
- Deinlein, U.; Stephan, A. B.; Horie, T., Luo, W.; Xu, G.; Schroeder, J. I. Plant salt-tolerance mechanisms. *Trends in Plant Science*, v.19, n.6, p.371-379, 2014.
- del Río, L. A. ROS and RNS in plant physiology: an overview. *Journal of Experimental Botany*, v.66, p.2827-2837, 2015. <https://doi:10.1093/jxb/erv099>
- Demetriou, G.; Neonaki, C.; Navakoudis, E.; Kotzabasis, K. Salt stress impact on the molecular structure and function of the photosynthetic apparatus – The protective role of polyamines. *Biochimica et Biophysica Acta*, v.1767, p.272-280, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2007.02.020>

- Demidchik, V. Mechanisms of oxidative stress in plants: From classical chemistry to cell biology. *Environmental and Experimental Botany*, v.109, p.212-228, 2015.
- Demidchik, V.; Maathuis, F. J. M. Physiological roles of nonselective cation channels in plants: from salt stress to signalling and development. *The New Phytologist*, v.175, p.387-404, 2007.
- Duan, H.; Ma, Y.; Liu, R.; Li, Q.; Yang, Y.; Song, J. Effect of combined waterlogging and salinity stresses on euhalophyte *Suaeda glauca*. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.127, p.231-237, 2018.
- Duhan, S.; Kumari, A.; Bala, S.; Sharma, N.; Sheokand, S. Effects of waterlogging, salinity and their combination on stress indices and yield attributes in pigeonpea (*Cajanus cajan* L. Millsp.) genotypes. *Indian Journal of Plant Physiology*, v.23, p.65-76, 2018. <https://doi.org/10.1007/s40502-018-0352-1>
- Es-sbihi, F. Z.; Hazzoumi, Z.; Aasfar, A.; Amrani Joutei, K. Improving salinity tolerance in *Salvia officinalis* L. by foliar application of salicylic acid. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, v.8, n.1, p.1-12, 2021. <https://doi.org/10.1186/s40538-021-00221-y>
- FAO. The state of food and agriculture: Overcoming water challenges in agriculture. Rome: Italy, 2020. 210p. <https://doi.org/10.4060/cb1447en>
- Farooq, M.; Rehman, A.; Al-Alawi, A. K.; Al-Busaidi W. M.; Lee, D. J. Integrated use of seed priming and biochar improves salt tolerance in cowpea. *Scientia Horticulturae*, v.272, p.109507, 2020.
- Feijão, A. R. Influência de diferentes fontes de nitrogênio na tolerância de plantas de girassol ao estresse salino. 2017. Tese (Doutorado em Bioquímica) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza: UFC, 2017. 115p. Tese de Doutorado.
- Feijão, A. R.; Marques, E. C.; Silva, J. C. B.; Lacerda, C. F.; Prisco, J. T.; Gomes-Filho, E. Nitrato modula os teores de cloreto e compostos nitrogenados em plantas de milho submetidas à salinidade. *Bragantia*, v.71, n.1, p.10-19, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052013005000021>
- Feijão, A. R.; Silva, J. C. B.; Marques, E. C.; Prisco, J. T.; Gomes-Filho, E. Efeito da nutrição de nitrato na tolerância de plantas de sorgo sudão à salinidade. *Revista Ciência Agronômica*, v.42, p.675-683, 2011.
- Flowers, T. J.; Colmer, T. D. Salinity tolerance in halophytes. *New Phytol*, v.179 p.945-963, 2008.

- Flowers, T. J.; Munns, R.; Comer, T. D. Sodium chloride toxicity and the cellular basis of salt tolerance in halophytes. *Annals of Botany*. v.115, p.419-431, 2015. <https://doi.org/10.1093/aob/mcu217>
- Freitas, P. A. F.; Carvalho, H. H.; Costa, J. H.; Souza Miranda, R.; Cruz Saraiva, K. D.; Oliveira, F. D. B.; Gomes-Filho, E. Salt acclimation in sorghum plants by exogenous proline: physiological and biochemical changes and regulation of proline metabolism. *Plant Cell Reports*, v.38, p.403-416, 2019a.
- Freitas, P. A. F.; Miranda, R. S.; Marques, E. C.; Prisco, J. T.; Gomes-Filho, E. Salt tolerance induced by exogenous proline in maize is related to low oxidative damage and favorable ionic homeostasis. *Journal of Plant Growth Regulation*, v.37, p.911-924, 2018a. <https://doi.org/10.1007/s00344-018-9787-x>
- Freitas, V. S. Metabolismo das poliaminas e do etileno e indução do sistema de defesa antioxidativa em genótipos de milho com tolerância diferencial ao estresse salino. Fortaleza: UFC, 2015, 137p. Tese Doutorado.
- Freitas, V. S.; Miranda, R. S.; Costa, J. H.; Oliveira, D. F.; Paula, S. O.; Miguel, E. C.; Freire, R. S.; Prisco, J. T.; Gomes-Filho, E. Ethylene triggers salt tolerance in maize genotypes by modulating polyamine catabolism enzymes associated with H₂O₂ production. *Environmental and Experimental Botany*, v.145, p.75-86, 2018b. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.10.022>
- Freitas, W. E. S.; Oliveira, A. B.; Mesquita, R. O.; Carvalho, H. H.; Prisco, J. T.; Gomes-Filho, E. Sulfur-induced salinity tolerance in lettuce is due to a better P and K uptake, lower Na/K ratio and an efficient antioxidative defense system. *Scientia Horticulturae*, v.257, p.108764, 2019b.
- Fu, C.; Liu, X.X.; Yang, W.W.; Zhao, C.M., Liu, J., Enhanced salt tolerance in tomato plants constitutively expressing heat-shock protein in the endoplasmic reticulum. *Genetic Molecular Research*. v. 15, gmr15028301, 2016. <https://doi.org/10.4238/gmr.15028301>
- Fujita, M.; Mizukado, S.; Fujita, Y.; Ichikawa, T.; Nakazawa, M.; Seki, M.; Shinozaki, K. Identification of stress-tolerance-related transcription-factor genes via mini-scale Full-length cDNA Over-eXpressor (FOX) gene hunting system. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, v.364, p.250-257, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2007.09.124>
- Gadelha, C. G.; Coutinho, Í. A. C.; de Paiva Pinheiro, S. K.; de Castro Miguel, E.; Carvalho, H. H., de Sousa Lopes, L.; Gomes-Filho, E. Sodium uptake and transport regulation, and photosynthetic efficiency maintenance as the basis of differential salt tolerance in rice

- cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, v.192, p.104654, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104654>
- Gadelha, C. G.; Miranda, R. S.; Alencar, N. L. M.; Costa, J. H.; Prisco, J. T.; Gomes-Filho, E. Exogenous nitric oxide improves salt tolerance during establishment of *Jatropha curcas* seedlings by ameliorating oxidative damage and toxic ion accumulation. *Journal of Plant Physiology*, v.212, p.69-79, 2017.
- Gamboa-Becerra, R.; Hernández-Hernández, M. C.; González-Ríos, Ó.; Suárez-Quiroz, M. L.; Gálvez-Ponce, E.; Ordaz-Ortiz, J. J.; Winkler, R. Metabolomic markers for the early selection of *Coffea canephora* plants with desirable cup quality traits. *Metabolites*, v.9, p.214, 2019.
- Gévaudant, F.; Duby, G.; von Stedingk, E.; Zhao, R.; Morsomme, P.; Boutry, M. Expression of a constitutively activated plasma membrane H⁺-ATPase alters plant development and increases salt tolerance. *Plant Physiology*, v.144, p.1763-1776, 2007. <https://doi.org/10.1104/pp.107.103762>
- Giordano, M.; Petropoulos, S. A.; Rouphael, Y. Response and defence mechanisms of vegetable crops against drought, heat and salinity stress. *Agriculture*, v.11, n.5, p.463, 2021.
- Gondim, F. A.; Gomes-Filho, E.; Costa, J. H.; Alencar, N. L. M.; Prisco, J. T. Catalase plays a key role in salt stress acclimation induced by hydrogen peroxide pretreatment in maize. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.56, p.62-71, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.04.012>
- Gondim, F. A.; Gomes-Filho, E.; Lacerda, C. F.; Prisco, J. T.; Azevedo-Neto, A.; Marques, E. C. Pretreatment with H₂O₂ in maize seeds: effects on germination and seedling acclimation to salt stress. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.22, p.103-112, 2010.
- Gondim, F. A.; Miranda, R. S.; Gomes-Filho, E.; Prisco, J. T. Enhanced salt tolerance in maize plants induced by H₂O₂ leaf spraying is associated with improved gas exchange rather than with non-enzymatic antioxidant system. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, v.25, p.251-260, 2013.
- Gorai, M.; Ennajeh, M.; Khemira, H.; Neffati, M. Combined effect of NaCl-salinity and hypoxia on growth, photosynthesis, water relations and solute accumulation in *Phragmites australis* plants. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, v.205, p.462-470, 2010.
- Guimarães, F. V. A.; Lacerda, C. F.; Marques, E. C.; Abreu, C. E. B.; Aquino, B. F.; Prisco, J. T.; Gomes-Filho, E. Supplemental Ca²⁺ does not improve growth but it affects nutrient uptake in NaCl-stressed cowpea plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.24, p.9-18, 2012.

- Guimarães, F. V. A.; Lacerda, C. F.; Marques, E. C.; Miranda, M. R. A.; Abreu, C. E. B.; Prisco, J. T.; Gomes-Filho, E. Calcium can moderate changes on membrane structure and lipid composition in cowpea plants under salt stress. *Plant Growth Regulation*, v.65, p.55-63, 2011.
- Guimarães, M. J. M.; Simões, W. L.; Camara, T. J. R.; Silva, C. U. C.; Willadino, L. G. Antioxidant defenses of irrigated forage sorghum with saline aquaculture effluent. *Revista Caatinga*, v.31, p.135-142, 2018.
- Gupta, B.; Huang, B. Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. *International Journal of Genomics*, v.1, p.1-18, 2014.
- Hasegawa, P. M. Sodium (Na⁺) homeostasis and salt tolerance of plants. *Environmental and Experimental Botany*, v.92, p.19-31, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.03.001>
- Henriquez-Valencia, C.; Moreno, A. A.; Sandoval-Ibañez, O.; Mitina, I.; Blanco-Herrera, F.; Cifuentes-Esquivel, N.; Orellana, A. bZIP17 and bZIP60 regulate the expression of BiP3 and other salt stress responsive genes in an UPR-independent manner in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Cellular Biochemistry*, v.116, n.8, p.1638-1645, 2015. <https://doi.org/10.1002/jcb.25121>
- Herrera-Vásquez, A.; Salinas, P.; Holuigue, L. Salicylic acid and reactive oxygen species interplay in the transcriptional control of defense genes expression. *Frontiers in Plant Science*, v.6, p.171, 2015.
- Hopmans, J. W.; Qureshi, A. S.; Kisekka, I.; Munns, R.; Grattan, S. R.; Rengasamy, P.; Bengali, A.; Assouline, S.; Javaux, M.; Minhas, P. S.; Raats, P. A. C.; Skaggs, T. H.; Wang, G.; De Jong van Lier, Q.; Jiao, H.; Lavado, R. S.; Lazarovitch, N.; Li, B.; Taleisnik, E. Chapter One - Critical knowledge gaps and research priorities in global soil salinity. *Advances in Agronomy*, v.169, p.1-191, 2021.
- Horchani, F.; Hajri, R.; Khayati, H.; Aschi-smiti, S. Physiological responses of tomato plants to the combined effect of root hypoxia and NaCl-salinity. *Journal of Phytology*, v.2, p.1-8, 2010.
- Horie, T.; Karahara, I.; Katsuhara, M. Salinity tolerance mechanisms in glycophytes: An overview with the central focus on rice plants. *Rice*, v.5, p.1-18, 2012. <https://doi.org/10.1186/1939-8433-5-11>
- Howell, S. H. Endoplasmic reticulum stress responses in plants. *Annual Review of Plant Biology*, v.64, p.477-499, 2013. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120053>

- Hu, M.; Shi, Z.; Zhang, Z.; Zhang, Y.; Li, H. Effects of exogenous glucose on seed germination and antioxidant capacity in wheat seedlings under salt stress. *Plant Growth Regulation*, v.68, p.177-188, 2012. <https://doi.org/10.1007/s10725-012-9705-3>
- Huang, H.; Ullah, F.; Zhou, D. X.; Yi, M.; Zhao, Y. mechanisms of ROS regulation of plant development and stress responses. *Frontiers in Plant Science*, v.10, p.1–10, 2019.
- Hussain, S. S.; Ali, M.; Ahmad, M.; Siddique, K. H. M. Polyamines: natural and engineered abiotic and biotic stress tolerance in plants. *Biotechnology Advances*, v.29, p.300-311, 2011.
- Islam, M. A.; Jin-huan, P.; Fan-wei, M.; Ya-wen, L.; Ning, X.; Chao, Y.; Jun, L. Putrescine, spermidine, and spermine play distinct roles in rice salt tolerance. *Journal of Integrative Agriculture*, v.19, n.3, p.643-655, 2020. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62705-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62705-X)
- Jayakannan, M.; Bose, J.; Babourina, O.; Rengel, Z.; Shabala, S. Salicylic acid improves salinity tolerance in *Arabidopsis* by restoring membrane potential and preventing salt-induced K^+ loss via a GORK channel. *Journal of Experimental Botany*, v.64, p.2255–2268, 2013. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert085>
- Jia, Y.; Zhu, Y.; Hu, R.; Zhang, L.; Cheng, Z.; Zhu, T.; Zhao, X.; Zhang, Y.; Wang, Y. Integrated physiologic, proteomic, and metabolomic analyses of *Malus halliana* adaptation to saline–alkali stress. *Horticulture research*, v.6, n.1, p.1-19, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41438-019-0172-0>
- Jiang, X.; Leidi, E. O.; Pardo, J. M. How do vacuolar NHX exchangers function in plant salt tolerance? *Plant Signaling and Behavior*, v.5, p.792-795, 2010. <https://doi.org/10.4161/psb.5.7.11767>
- Keisham, M.; Jain, P.; Singh, N.; von Toerne, C.; Bhatla, S. C.; Lindermayr, C. Deciphering the nitric oxide, cyanide and iron-mediated actions of sodium nitroprusside in cotyledons of salt stressed sunflower seedlings. *Nitric Oxide*, v.88, p.10–26, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2019.03.008>
- Keunen, E.; Peshev, D.; Vangronsveld, J.; van den Ende, W.; Cuypers, A. Plant sugars are crucial players in the oxidative challenge during abiotic stress: extending the traditional concept. *Plant, Cell and Environment*, v.36, p.1242–1255, 2013. <https://doi.org/10.1111/pce.12061>
- Kim, D. W.; Rakwal, R.; Agrawal, G. K.; Jung, Y. H.; Shibato, J.; Jwa, N. S.; Usui, K. A hydroponic rice seedling culture model system for investigating proteome of salt stress in rice leaf. *Electrophoresis*, v.26, p.4521-4539, 2005. <https://doi.org/10.1002/elps.200500334>

- Klobus, G.; Janicka-Russak, M. Modulation by cytosolic components of proton pump activities in plasma membrane and tonoplast from *Cucumis sativus* L. roots during salt stress. *Physiologia Plantarum*, v.121, p.84-92, 2004. <https://doi.org/10.1111/j.0031-9317.2004.00306.x>
- Krasensky, J.; Jonak, C. Drought, salt, and temperature stress-induced metabolic rearrangements and regulatory networks. *Journal of Experimental Botany*, v.63, p.1593-1608, 2012.
- Krishnamurthy, P.; Qingsong, L.; Kumar, P. P. Proteomics perspectives in post-genomic era for producing salinity stress-tolerant crops. In: *Salinity responses and tolerance in plants*. Springer, v.2, 2018. p.239-266. https://doi.org/10.1007/978-3-319-90318-7_10
- Kumar, R.; Solankey, S. S.; Singh, M. Breeding for drought tolerance in vegetables. *Vegetable Science*, v.39, n.1, p.1-15, 2012.
- Lacerda, C. F.; Ferreira, J. F. S.; Liu, X.; Suarez, D. L. Evapotranspiration as a criterion to estimate nitrogen requirement of maize under salt stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v.202, p.192-202, 2016.
- Lamers, J.; Meer, T. van D.; Testerink, C. How plants sense and respond to stressful environments. *Plant Physiology*, v.182, p.1624-1635, 2020. <https://doi.org/10.1104/pp.19.01464>
- Lemos-Neto, H. S.; Guimarães, M. A.; Mesquita, R. O.; Freitas, W. E. S.; Oliveira, A. B.; Dias, N. S.; Gomes-Filho, E. Silicon supplementation induces physiological and biochemical changes that assist lettuce salinity tolerance. *Silicon*, v.12, p.1-15, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12633-020-00715-8>
- Li, J.; Hu, L.; Zhang, L.; Pan, X.; Hu, X. Exogenous spermidine is enhancing tomato tolerance to salinity – alkalinity stress by regulating chloroplast antioxidant system and chlorophyll metabolism. *BMC Plant Biology*, v.15, p.303, 2015. <https://doi.org/10.1186/s12870-015-0699-7>
- Li, P. C.; Yang, X. Y.; Wang, H. M.; Ting, P. A. N.; Yang, J. Y.; Wang, Y. Y.; Xu, C. W. Metabolic responses to combined water deficit and salt stress in maize primary roots. *Journal of Integrative Agriculture*, v.20, n.1, p.109-119, 2021. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63242-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63242-7)
- Lima, K. R. P.; Cavalcante, F. L. P.; Paula-Marinho, S. O.; Pereira, I. M. C.; Lopes, L. S.; Nunes, J. V. S.; Coutinho, I. A. C.; Gomes-Filho, E.; Carvalho, H. H. Metabolomic profiles exhibit the influence of endoplasmic reticulum stress on sorghum seedling growth over time. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.170, p.192-205, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.11.041>

- Liu, J. X.; Srivastava, R.; Che, P.; Howell, S. H. Salt stress responses in *Arabidopsis* utilize a signal transduction pathway related to endoplasmic reticulum stress signaling. *The Plant Journal*, v.51, n.5, p.897-909, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2007.03195.x>
- Liu, L.; Liu, D.; Wang, Z.; Zou, C.; Wang, B.; Zhang, H.; Gai, Z.; Zhang, P.; Wang, Y.; Li, C. Exogenous allantoin improves the salt tolerance of sugar beet by increasing putrescine metabolism and antioxidant activities. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.154, p.699-713, 2020.
- Liu, Y.; Xi, M.; Li, Y.; Cheng, Z.; Wang, S.; Kong, F. Improvement in salt tolerance of *Iris pseudacorus* L. in constructed wetland by exogenous application of salicylic acid and calcium chloride. *Journal of Environmental Management*, v.300, n.308, p.113703, 2021.
- Llesuy, S. F. Introducción y especies activas de oxigênio. In: *Estresse oxidativo e antioxidantes*; Marroni, N.P., Ed.; ULBRA: Canoas, 2002; pp. 21-32.
- Lopes, L. S.; Carvalho, H. H.; Miranda, R. S.; Gallão, M. I.; Gomes-Filho, E. The influence of dissolved oxygen around rice roots on salt tolerance during pre-tillering and tillering phases. *Environmental and Experimental Botany*, v.178, p.104169, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104169>
- Ma, L.; Li, Y.; Yu, C.; Wang, Y.; Li, X.; Li, N.; Chen, Q.; Bu, N. Alleviation of exogenous oligochitosan on wheat seedlings growth under salt stress. *Protoplasma*, v.249, n.2, p.393-399, 2012.
- Mansour, M. M. F. The plasma membrane transport systems and adaptation to salinity. *Journal of Plant Physiology*, v.171, p.1787-1800, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.08.016>
- Mariani, L.; Ferrante, A. agronomic management for enhancing plant tolerance to abiotic stresses—drought, salinity, hypoxia, and lodging. *Horticulturae*, v.3, n.52, 2017.
- Marques, E. C. Aclimação de plantas de milho à salinidade mediada pelo pré-tratamento com nitroprussiato de sódio. Fortaleza: UFC, 2013. 99p. Tese de Doutorado.
- Medeiros, W. J. F.; Oliveira, F. Í. F.; Lacerda, C.F.; Sousa, C. H. C.; Cavalcante, L. F.; Silva, A. R. A.; Ferreira, J. F. S. Isolated and combined effects of soil salinity and waterlogging in seedlings of ‘Green Dwarf’coconut. *Semina: Ciências Agrárias*, v.39, p.1459-1468, 2018.
- Miller, G.; Suzuki, N.; Ciftci-Yilmaz, S.; Mittler, R. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. *Plant, Cell and Environment*, v.33, p.453-67, 2010.

- Miranda, R. S. Modulação bioquímica e molecular da aclimação de plantas de sorgo à salinidade: controle do acúmulo de Na⁺ mediado pelo íon NH₄⁺. Fortaleza: UFC, 2015. 161p. Tese de Doutorado.
- Miranda, R. S.; Alvarez-Pizarro, J. C.; Araújo, C. M. S.; Prisco, J. T.; Gomes-Filho, E. Influence of inorganic nitrogen sources on K⁺/Na⁺ homeostasis and salt tolerance in sorghum plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, v.35, p.841-852, 2013b. <https://doi.org/10.1007/s11738-012-1128-2>
- Miranda, R. S.; Alvarez-Pizarro, J. C.; Costa, J. H.; Paula, S. O.; Prisco, J. T.; Gomes-Filho, E. Putative role of glutamine in the activation of CBL/CIPK signalling pathways during salt stress in sorghum. *Plant Signalling & Behavior*, v.12, p.e1361075, 2017b. <https://doi.org/10.1080/15592324.2017.1361075>
- Miranda, R. S.; Gomes-Filho, E.; Prisco, J. T.; Alvarez-Pizarro, J. C. Ammonium improves tolerance to salinity stress in *Sorghum bicolor* plants. *Plant Growth Regulation*, v.78, p.121-131, 2016.
- Miranda, R. S.; Mesquita, R. O.; Costa, J. H.; Alvarez-Pizarro, J. C.; Prisco, J. T.; Gomes-Filho, E. Integrative control between proton pumps and SOS1 antiporters in roots is crucial for maintaining low Na⁺ accumulation and salt tolerance in ammonium-supplied *Sorghum bicolor*. *Plant and Cell Physiology*, v.58, p.522-536, 2017a. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcw231>
- Miranda, R. S.; Mesquita, R. O.; Freitas, N. S.; Prisco, J. T.; Gomes-Filho, E. Nitrate:ammonium nutrition alleviates detrimental effects of salinity by enhancing photosystem II efficiency in sorghum plants. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.S8-S12, 2014.
- Miranda, R. S.; Ruppenthal, V.; Lopes, L. S.; Fontenele, C.; Marques, V. B.; Bezerra, M. A.; Lacerda, C. F. Phosphorus fertilization improves soybean growth under salt stress. *International Journal of Plant and Animal Science*, v.1, p.21-29, 2013a.
- Munns, R.; Tester, M. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, v.59, p.651-681, 2008. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Nadarajah, K. K. ROS homeostasis in abiotic stress tolerance in plants. *International journal of molecular sciences*, v.21, n.15, 2020. <https://doi:10.3390/ijms21155208>
- Nazar, R.; Umar, S.; Khan, N. A. Exogenous salicylic acid improves photosynthesis and growth through increase in ascorbate-glutathione metabolism and S assimilation in

- mustard under salt stress. *Plant Signaling & Behavior*, v.10, e1003751, 2015. <https://doi.org/10.1080/15592324.2014.1003751>
- Negrão, S.; Schmöckel, S. M.; Tester, M. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Annals of Botany*, v.119, n.1, p.1-11, 2017. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw191>
- Obata, T.; Fernie, A. R. The use of metabolomics to dissect plant responses to abiotic stresses. *Cellular and Molecular Life Sciences*, v.69, p.3225-3243, 2012. <https://doi.org/10.1007/s00018-012-1091-5>
- Oliás, R.; Eljakaovi, C.; Li, J.; Morales, P. A.; Marín-Manzano, M. C.; Pardo, J. M.; Belver, A. The plasma membrane Na⁺/H⁺ antiporter SOS1 is essential for salt tolerance in tomato and effects the partitioning of Na⁺ between plant organs. *Plant, Cell and Environment*, v.32, p.904-916, 2009.
- Oliveira, D. F.; de Sousa Lopes, L.; Gomes-Filho, E. Metabolic changes associated with differential salt tolerance in sorghum genotypes. *Planta*, v.252, n.3, p.1-18, 2020a.
- Oliveira, F. D. B.; Miranda, R. S.; Araújo, G. S.; Coelho, D. G.; Lobo, M. D. P.; Paula-Marinho, S. O.; Lopes, L. S.; Monteiro-Moreira, A. C. O.; Carvalho, H. H.; Gomes-Filho, E. New insights into molecular targets of salt tolerance in sorghum leaves elicited by ammonium nutrition. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.154, p.723-734, 2020b. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.06.051>
- Park, C. J.; Park, J. M. Endoplasmic reticulum plays a critical role in integrating signals generated by both biotic and abiotic stress in plants. *Frontiers in Plant Science*, v.10, p.399, 2019.
- Paula-Marinho, S. O. Respostas fisiológicas e metabólicas mediadas pela fonte de nitrogênio: papel do NH₄⁺ na tolerância de plantas de sorgo sob salinidade. Fortaleza: UFC, 2020. 101p. Tese de Doutorado.
- Plett, D. C.; Møller, I. S. Na⁺ transport in glycophytic plants: what we know and would like to know. *Plant, Cell and Environment*, v.33, p.612-626, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02086.x>
- Pottosin, I.; Velarde-Buendía, A. M.; Zepeda-Jazo, I.; Dobrovinskaya, O.; Shabala, S. Synergism between polyamines and ROS in the induction of Ca²⁺ and K⁺ fluxes in roots. *Plant Signaling and Behavior*, v.7, p.1084-1087, 2012. <https://doi.org/10.4161/psb.21185>

- Prisco, J. T.; Gomes-Filho, E. Fisiologia e bioquímica do estresse salino. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F. (Ed.). Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. INCTSal: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 143-159.
- Prisco, J. T.; Gomes-Filho, E.; Miranda, R. S. Physiology and biochemistry of plants growing under salt stress. In: Gheyi, H.R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes-Filho, E. (Ed. 2). Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. INCTSal: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2016. p. 163-180.
- Queiroz, C. S. de; Pereira, I. M. C.; Lima, K. R. P.; Bret, R. S. C.; Alves, M. S.; Gomes-Filho, E.; Carvalho, H. H. Combined NaCl and DTT diminish harmful ER-stress effects in the sorghum seedlings CSF 20 variety. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.147, p.223–234, 2020.
- Raza, A.; Ashraf, F.; Zou, X.; Zhang, X.; Tosif, H. Plant adaptation and tolerance to environmental stresses: mechanisms and perspectives. In: *Plant ecophysiology and adaptation under climate change: mechanisms and perspectives I*. Springer, Singapore, 2020. p.117-145,
- Razzaq, A.; Sadia, B.; Raza, A.; Hameed, M. K.; Saleem, F. Metabolomics: A way forward for crop improvement. *Metabolites*, v.9, p.303, 2019. <https://doi.org/10.3390/metabo9120303>
- Renault, H.; Roussel, V.; El Amrani, A.; Arzel, M.; Renault, D.; Bouchereau, A.; Deleu, C. The *Arabidopsis* pop2-1 mutant reveals the involvement of GABA transaminase in salt stress tolerance. *BMC Plant Biology*, v.10, n.1, p.1-16, 2010. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-10-20>
- Rivero, R. M.; Mestre, T. C.; Mittler, R. O. N.; Rubio, F.; Garcia-Sanchez, F.; Martinez, V. The combined effect of salinity and heat reveals a specific physiological, biochemical and molecular response in tomato plants. *Plant, Cell and Environment*, v.37, n.5, p.1059-1073, 2014. <https://doi.org/doi:10.1111/pce.12199>
- Sá, F. V. S.; Ferreira Neto, N.; Lima, Y. B.; Paiva, E. P.; Prata, R. C.; Lacerda, C. F.; Brito, M. E. B. Growth, gas exchange and photochemical efficiency of the cowpea bean under salt stress and phosphorus fertilization. *Comunicata Scientiae*, v.9, n.4, p.668-679, 2018. <https://doi.org/10.14295/CS.v9i4.2763>
- Sahin; U., Ekinçi, M.; Ors, S.; Turan, M.; Yildiz, S.; Yildirim, E. Effects of individual and combined effects of salinity and drought on physiological, nutritional and biochemical properties of cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata). *Scientia Horticulturae*, v.240, p.196-204, 2018.
- Sánchez-Guerrero, A.; del-Saz, N. F.; Florez-Sarasa, I.; Ribas-Carbó, M.; Fernie, A. R.; Jiménez, A.; Sevilla, F. Coordinated responses of mitochondrial antioxidative enzymes, respiratory

- pathways and metabolism in *Arabidopsis thaliana* thioredoxin *trxo1* mutants under salinity. *Environmental and Experimental Botany*, v.162, p.212-222, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.02.026>
- Saxena, S.C.; Kaur, H.; Verma P.; Petla, B.P.; Andugula, V.R.; Majee, M. Osmoprotectants: potential for crop improvement under adverse conditions. *In: Tuteja, N.; Gill, S.S. (Eds). Plant Acclimation to Environmental Stress. New York: Springer, 2013, p.197-232.*
- Sghaier, H.; Aloui, A.; Khadri, A.; Aschi-Smiti, S.; Brouquisse, R. Effects of combined salt and flooding stresses on the growth and physiological behavior of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *African Journal of Agricultural Research*, v.16, p.758-764, 2020. <https://doi.org/10.5897/AJAR2020.14831>
- Shabala, S. Signalling by potassium: another second messenger to add to the list? *Environmental and Experimental Botany*, v.68, p.4003-4007, 2017. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx238>
- Shabala, S.; Shabala, L.; Barcelo, J.; Poschenrieder, C. Membrane transporters mediating root signalling and adaptive responses to oxygen deprivation and soil flooding. *Plant, Cell and Environment*. v.37, p.2216-2233, 2014. <https://doi.org/10.1111/pce.12339>
- Shigeoka, S.; Maruta, T. Cellular redox regulation, signaling, and stress response in plants. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, v.78, n.9, p.1457-1470, 2014.
- Shinozaki, K.; Uemura, M.; Bailey-Serres, J.; Bray, E. A.; Weretilnyk, E. Responses to abiotic stress. *In: Buchanan, B. B.; Gruissem, W.; Jones, R. L. (Second edition). Biochemistry and molecular biology of plants. Ed. Oxford: Wiley Black Well, 2015, 1264p.*
- Singh, M.; Kumar, J.; Singh, S.; Singh, V. P.; Prasad, S. M. Roles of osmoprotectants in improving salinity and drought tolerance in plants: a review. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, v.14, p.407-426, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11157-015-9372-8>
- Souana, K.; Taïbi, K.; Ait Abderrahim, L.; Amirat, M.; Achir, M.; Boussaid, M.; Mulet, J. M. Salt-tolerance in *Vicia faba* L. is mitigated by the capacity of salicylic acid to improve photosynthesis and antioxidant response. *Scientia Horticulturae*, v.273, p.109641, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109641>
- Souza, E. A. C. C.; Alvarez-Pizarro, J. C.; Lopes, L. S.; Miranda, R. S.; Gomes-Filho, E. Nitrate and ammonium nutrition modulates the photosynthetic performance and antioxidant defense in salt-stressed grass species. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v.21, p.3016-3029, 2021.

- Sun, Y.; Wang, H.; Liu, S.; Peng, X. Exogenous application of hydrogen peroxide alleviates drought stress in cucumber seedlings. *South African Journal of Botany*, v.106, p.23–28, 2016.
- Suo, J.; Zhao, Q.; David, L.; Chen, S.; Dai, S. Salinity response in chloroplasts: insights from gene characterization. *International Journal of Molecular Sciences*, v.18, n.5, p.1011, 2017.
- Szabados, L.; Savouré, A. Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in plant science*, v.15, n.2, p. 89-97, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.11.009>
- Tester, M.; Davenport, R. Na⁺ Tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of Botany*, v.91, p.503-527, 2003. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg058>
- Uchida, A.; Jagendorf, A. T.; Hibino, T.; Takabe, T. Effects of hydrogen peroxide and nitric oxide on both salt and heat stress tolerance in rice. *Plant Science*, v.163, p.515-523, 2002.
- Umar, M.; Uddin, Z.; Siddiqui, Z. S. Responses of photosynthetic apparatus in sunflower cultivars to combined drought and salt stress. *Photosynthetica*, v.57, n.2, p. 627-639, 2019.
- Van Zelm, E.; Zhang, Y.; Testerink, C. Salt tolerance mechanisms of plants. *Annual Review of Plant Biology*, v.71, p.403-433, 2020. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100005>
- Wahid, A.; Perveen, M.; Gelani, S.; Basra, S. M. A. Pretreatment of seed with H₂O₂ improves salt tolerance of wheat seedlings by alleviation of oxidative damage and expression of stress proteins. *Journal of Plant Physiology*, v.164, p.283-294, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2006.01.005>
- Wakeel, A.; Hanstein, S.; Pitann, B.; Schubert, S. Hydrolytic and pumping activity of H⁺-ATPase from leaves of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) as affected by salt stress. *Journal of Plant Physiology*, v.167, p.725-731, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2009.12.018>
- Walter, P.; Ron, D. The unfolded protein response: from stress pathway to homeostatic regulation. *Science*, v.334, p.1081-1086, 2011. <https://doi.org/10.1126/science.1209038>
- Wang, F.; Chen, Z.; Xiaohui Liu, X.; Shabala, L.; Yu, M.; Zhou, M.; Salih, A.; Shabala, S. The loss of RBOHD function modulates root adaptive responses to combined hypoxia and salinity stress in Arabidopsis. *Environmental and Experimental Botany*, v.158, p.125-135, 2019.
- Wang, S.; Uddin, M. I.; Tanaka, K.; Yin, L.; Shi, Z.; Qi, Y.; Zhang, S. Maintenance of chloroplast structure and function by overexpression of the rice Monogalactosyldiacylglycerol

- Synthase gene leads to enhanced salt tolerance in tobacco. *Plant Physiology*, v.165, n.3, p.1144-1155, 2014.
- Xu, E.; Brosché, M. Salicylic acid signaling inhibits apoplastic reactive oxygen species signaling. *BMC Plant Biology*, v.14, p.155, 2014. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-14-155>
- Yilmaz, S.; Temizgül, R.; Yürürdurmaz, C.; Kaplan, M. Oxidant and antioxidant enzyme response of redbine sweet sorghum under NaCl salinity stress. *Bioagro*, v.32, p.31-38, 2020.
- You, J.; Chan, Z. ROS regulation during abiotic stress responses in crop plants. *Frontiers in Plant Science*, v.6, p.1-15, 2015. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01092>
- Yuan, Y.; Zhong, M.; Du, N.; Shu, S.; Sun, J.; Guo, S. Putrescine enhances salt tolerance of cucumber seedlings by regulating ion homeostasis. *Environmental and Experimental Botany*, v.165, p.70-82, 2019.
- Yue, Y.; Zhang, M.; Zhang, J.; Duan, L.; Li, Z. SOS1 gene overexpression increased salt tolerance in transgenic tobacco by maintaining a higher K⁺/Na⁺ ratio. *Journal of Plant Physiology*, v.169, p.255-261, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2011.10.007>
- Zhang, J.; Liu, D.; Zhu, D.; Liu, N.; Yan, Y. Endoplasmic reticulum subproteome analysis reveals underlying defense mechanisms of wheat seedling leaves under salt stress. *International Journal of Molecular Sciences*, v.22, n.9, p.4840, 2021. <https://doi.org/10.3390/ijms22094840>
- Zhang, L.; Zhang, X.; Ji, H.; Wang, W.; Liu, J.; Wang, F.; Xie, F.; Yu, Y.; Qin, Y.; Wang, X. Metabolic profiling of tobacco leaves at different growth stages or different stalk positions by gas chromatography–mass spectrometry. *Industrial Crops and Products*, v.116, p.46-55, 2018b.
- Zhang, Y.; Lv, Y.; Jahan, N.; Chen, G.; Ren, D.; Guo, L. Sensing of abiotic stress and ionic stress responses in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, v.19, n.11, p.3298, 2018a.
- Zhao, C.; Zhang, H.; Song, C.; Zhu, J. K.; Shabala, S. Mechanisms of plant responses and adaptation to soil salinity. *The Innovation*, v.1, n.1, p.100017, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2020.100017>
- Zhu, J. K. Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Current Opinion in Plant Biology*, v.6, p.441-445, 2003. [https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(03\)00085-2](https://doi.org/10.1016/S1369-5266(03)00085-2)

MICROORGANISMOS E SALINIDADE

Giselle Gomes Monteiro Fracetto^{1*}, Felipe José Cury Fracetto¹,
Cintia Caroline Gouveia da Silva¹, William Ramos da Silva¹,
Nayara Rose da Conceição¹

RESUMO: A salinidade é um fator químico que afeta diretamente a diversidade e distribuição dos microrganismos do solo pelo desbalanço osmótico de suas células, além de diminuir a atividade enzimática responsável pela ciclagem de nutrientes. Alguns grupos de microrganismos do solo são resistentes à salinidade e podem ser utilizados como inoculantes para o crescimento das plantas sob estresse salino. Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) estabelecem uma série de mecanismos fisiológicos, induzindo tolerância à salinidade para a planta através da captação de nutrientes, da manutenção da homeostase iônica, da maior eficiência do uso da água e osmoproteção, da preservação da ultraestrutura celular e metabolismo antioxidante reforçado. Já as bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) promovem a resistência à salinidade pelo processo de tolerância sistêmica induzida, como a formação de biofilme, produção de exopolissacarídeos e ajuste osmótico. Destaca-se ainda a produção de ACC deaminase, que limita a biossíntese do etileno, o qual é produzido em grandes quantidades em condições de salinidade, favorecendo ainda, o desenvolvimento da micorriza arbuscular. A inoculação conjunta de FMA e BPCP melhora o desenvolvimento e a capacidade vegetal para sobreviver em solos salinos, sendo uma estratégia eficiente na recuperação florística de ambientes tropicais.

1 Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Recife, PE, Brasil.

*Autor correspondente: giselle.fracetto@ufrpe.br.

Palavras-chave: fungo micorrízico arbuscular; bactérias promotoras de crescimento; ACC deaminase; etileno; interação tripartite.

MICROORGANISMS AND SALINITY

ABSTRACT: Salinity is a chemical factor that directly affects the diversity and distribution of soil microorganisms through the osmotic imbalance of their cells, in addition to reducing the enzymatic activity responsible for nutrient cycling. Some groups of soil microorganisms are resistant to salinity and can be used as inoculants for plant growth under saline stress. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) establish a series of physiological mechanisms, inducing salinity tolerance for the plant through nutrient uptake, maintenance of ionic homeostasis, greater water use efficiency and osmoprotection, preservation of cellular ultrastructure and reinforced antioxidant metabolism. Plant growth-promoting bacteria (PGPB) induce resistance to salinity by process of induced systemic tolerance, such as biofilm formation, production of exopolysaccharides and osmotic adjustment. Also noteworthy is the production of ACC deaminase which limits the biosynthesis of ethylene, which is produced in large quantities under saline conditions, also favoring the development of arbuscular mycorrhiza. The joint inoculation of AMF and PGPB improves plant yield and capacity to survive in saline soils, being an efficient strategy in the floristic recovery of tropical environments.

Keywords: arbuscular mycorrhizal fungus; growth promoting bacteria; ACC deaminase; ethylene; tripartite interaction.

1 INTRODUÇÃO

A comunidade microbiana do solo realiza inúmeros serviços ecossistêmicos, sendo responsável pela decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e promoção de crescimento de plantas (Zheng et al., 2019). Os microrganismos respondem rapidamente às mudanças ambientais, devido a sua elevada relação superfície:volume celular, além de possuírem membranas celulares permeáveis e com rápidas taxas de renovação (Morrissey et al., 2014). Sendo assim, qualquer efeito adverso na célula microbiana, como excesso de sais, poderá ocasionar grandes impactos no teor de matéria orgânica do solo, uma vez que sua comunidade microbiana atua diretamente na ciclagem de nutrientes nesse ambiente.

De maneira geral, a salinidade exerce um efeito negativo na comunidade microbiana do solo, principalmente devido ao estresse osmótico, que pode causar ressecamento e lise das células (Leogrande & Vitti, 2018). A biomassa microbiana do solo, a respiração basal do solo e a atividade de enzimas microbianas diminuem de acordo com o aumento da salinidade (Min et al., 2016; Yan & Marschner, 2012). Entretanto, alguns estudos têm demonstrado diferentes respostas da microbiota à salinidade, pois apesar de altos níveis de salinidade em solos agrícolas diminuir a diversidade de procariotos, a abundância de alguns taxa, como por exemplo, Proteobacteria, Bacteroidetes e Firmicutes, aumenta, assim como as interações microbianas (Zheng et al., 2017). Isso demonstra que os microrganismos em habitats naturalmente salinos desenvolvem múltiplas adaptações para sobreviver sob altas concentrações de sal, incluindo mudanças nas interações ecológicas entre microrganismos (Zheng et al., 2017).

Este capítulo aborda os impactos da salinidade sobre a comunidade microbiana do solo, destacando bactérias, fungos e archaeas e suas características fisiológicas envolvidas na adaptação e resistência ao estresse salino. Além disso, o capítulo apresenta o potencial biotecnológico de bactérias promotoras de crescimento de plantas e fungos micorrízicos arbusculares no estabelecimento e desenvolvimento de plantas em solos salinos, demonstrando ser uma estratégia promissora na recuperação desses ambientes.

2 DIVERSIDADE MICROBIANA EM AMBIENTES SALINOS

Em ambientes afetados por sais também são relatados muitos táxons microbianos em diferentes ecossistemas e em níveis distintos de salinidade (Canfora et al., 2014; Ventosa et al., 2015; Zhang et al., 2023). De acordo com Hassani et al. (2021), atualmente, cerca de 900 milhões de hectares de solo do globo terrestre são afetados pela elevada concentração de íons. No entanto, apesar da ampla ocorrência destes solos, poucos estudos relatam a resposta e a diversidade das comunidades microbianas em diferentes gradientes de salinidades (Rath et al., 2019). O maior número de estudos relacionados ao papel da salinidade

como impulsionadora da comunidade microbiana é oriundo de sistemas aquáticos (Zhang et al., 2023).

Em ambientes naturalmente salinos, como áreas afetadas pela salinidade do mar e lagoas salinas, os microrganismos desenvolvem estratégias por meio de múltiplas adaptações para resistir às elevadas concentrações de sais e manter sua população ativa (Rath et al., 2019). Estas espécies têm a capacidade de lidar com o estresse osmótico por meio de uma sub ou superexpressão de genes e metabólitos (Kumawat et al., 2022). Por outro lado, ambientes em que ocorre um crescimento gradativo da tensão salina por processos naturais ou antrópicos, principalmente em regiões áridas, devido ao déficit hídrico, ocorre uma mudança ou sucessão de táxons microbianos que se adaptam a essa nova realidade mantendo sua integridade e estrutura celulares e funções metabólicas (Zhang et al., 2023). Nestes ambientes ocorrem também uma mudança e redução na diversidade das plantas, o que afeta diretamente a comunidade microbiana (Rath et al., 2015). Além da salinidade, outros fatores que estão geralmente relacionados ao acúmulo de sais também influenciam na diversidade e abundância da comunidade microbiana, tais como o pH e a temperatura (Canfora et al., 2014).

Os microrganismos resistentes a ambientes salinos são chamados de halófilos e são classificados de acordo com a concentração de sal do meio em: concentrações extremas (acima de 15% de NaCl), moderadas (3-15% de NaCl) e baixas (1-3% de NaCl). Existem também microrganismos chamados de alcalófilos ou haloalcalófilos que se desenvolvem em condições extremas de alcalinidade relacionada à salinidade (pH em torno de 10) (Bachran et al., 2019). A comunidade microbiana é altamente afetada pela salinidade e em escala global, este é o fator químico que mais limita a distribuição microbiana nos solos (Minegishi et al., 2016). A alta salinidade afeta o equilíbrio osmótico das células dos microrganismos, pode reduzir a fixação biológica de nitrogênio por bactérias, a germinação de esporos e crescimento de hifas, altera a morfologia de fungos e diminui o funcionamento de enzimas microbianas, funções estas que são extremamente importantes para a ciclagem de nutrientes e o desenvolvimento de plantas (Evelin et al., 2012).

Para evitar os danos causados pelo elevado teor de sal no meio, as células microbianas utilizam duas principais estratégias: a primeira consiste no acúmulo excessivo de íons K^+ intracelular de forma a equilibrar a concentração de sais no interior da célula em relação ao meio externo, com um sal que não seja tóxico; e a segunda se baseia no acúmulo de solutos orgânicos dentro do citoplasma, em que a célula mantém a concentração de sal abaixo do limite no interior de seu citoplasma e, assim, combate a pressão osmótica utilizando solutos orgânicos compatíveis (Kumawat et al., 2022).

Espécies dos três domínios podem ser encontradas em ambientes salinos, porém há uma maior abundância de bactérias e archaeas (Ventosa et al., 2015). Além disso, de acordo com Canfora et al. (2014), os vírus podem também representar uma parte significativa desses ambientes. Conforme a salinidade aumenta, ocorre um declínio filogenético e uma mudança na composição da comunidade bacteriana (Gibtan et al., 2017). Para os fungos há

um aumento no estresse osmótico afetando a germinação de seus esporos e o crescimento das hifas (Zhang et al., 2023), já as archaeas toleram essa salinidade e pressão osmótica de forma mais eficiente, tornando-se dominantes nesses ambientes (Jiang et al., 2007).

Existem diferenças na resposta microbiana do solo ao estresse salino, sendo os procariotos primariamente afetados pelo incremento de sais em ambientes agrícolas (Zheng et al., 2017). Hollister et al. (2010) relataram que a maioria das comunidades de bactérias e archaeas não apresentaram restrições à salinidade de solo em diferentes gradientes e que as archaeas se correlacionam positivamente com a concentração de sódio e com a condutividade elétrica. Em ambientes desérticos também foi relatado que a salinidade impôs uma forte pressão sobre a comunidade de procariotos (Zhang et al., 2019) e seus mecanismos de tolerância se assemelham ao de solos degradados de ambientes tropicais.

Alguns estudos que avaliaram gradientes de salinidade demonstram que Alphaproteobacteria e fungos apresentaram maior diversidade em níveis de salinidade intermediário (Zhang et al., 2021). Muitos táxons microbianos resistentes à salinidade são reconhecidos em diferentes ecossistemas e com características fisiológicas distintas. Os Firmicutes são bem adaptados a ambientes inóspitos incluindo os salinos, por terem paredes celulares Gram-positivas e formarem endosporos, o que lhes confere maior resistência (Horn et al., 2014). Lyszha et al. (2012) comprovaram que bactérias do gênero *Bacillus* produzem enzimas halofílicas em solos salinos como forma de adaptação a esse meio. Alguns grupos de bactérias são classificados como halotolerantes e apresentam táxons que resistem a altos níveis de salinidade como as Gammaproteobacteria, Alphaproteobacteria, Bacteroidetes, Actinobacteria e Halobacteria (Canfora et al., 2014; Zhang et al., 2019; Wu et al., 2021).

Segundo Zhang et al. (2023) a diversidade microbiana do solo em gradientes crescentes de salinidade apresenta padrões de resposta específicos do habitat e do contexto com que ocorre esta salinização. O avanço de múltiplas tecnologias no campo da ecologia molecular tem contribuído para a compreensão sobre as mudanças ou a sucessão de táxons microbianos com o aumento do gradiente de salinidade. Estudos baseados em técnicas moleculares, como a metagenômica, têm permitido um conhecimento mais detalhado da diversidade microbiana e de atividade metabólicas realizadas por esses organismos em ambientes salinos (Ventosa et al., 2015).

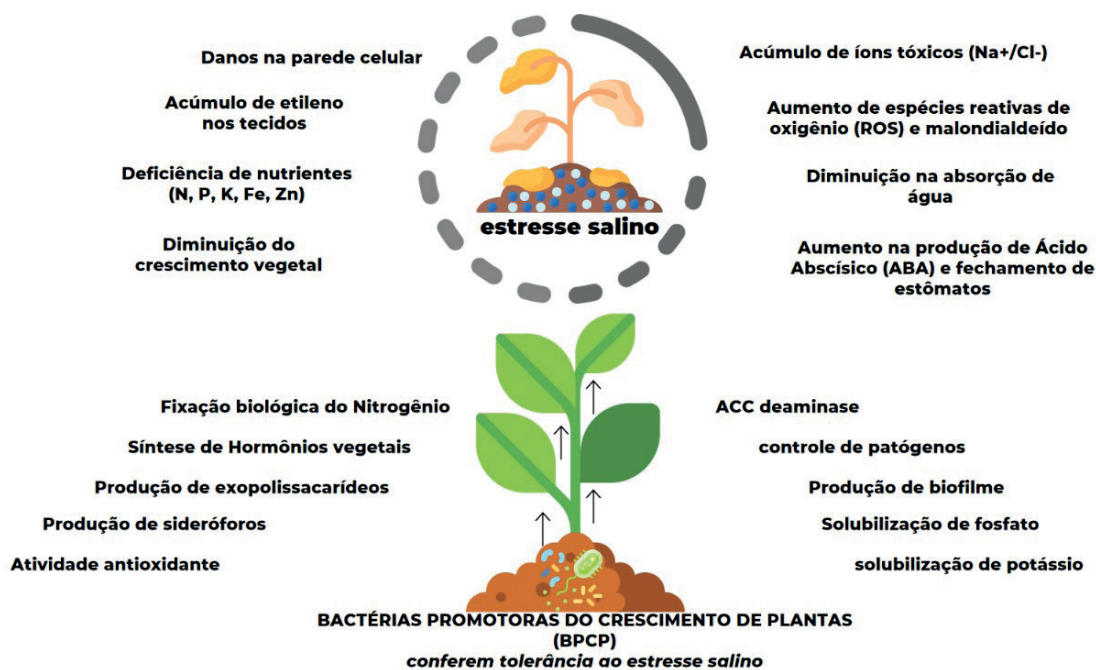
Estima-se que 70 % dos solos agrícolas irrigados no mundo apresentem algum problema de salinidade (Bencherif et al., 2015). Dessa forma, o avanço das técnicas moleculares e a investigação de microrganismos halofílicos, particularmente aos envolvidos na ciclagem biogeoquímica de nutrientes, é imprescindível para o desenvolvimento da agricultura sustentável. Um exemplo são os fungos micorrízicos arbusculares que em simbiose com as plantas previnem o deslocamento de Na^+ e Cl^- para a parte aérea e folhas e aumenta a absorção de nutrientes como o fósforo (Evelin et al., 2012). Bactérias promotoras de crescimento de plantas, como as Actinobacteria, também podem contribuir para a melhoria nas condições do sistema radicular da planta, favorecendo a absorção de água e nutrientes em áreas salinas (Zhang et al., 2021).

3 BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO DE PLANTAS NO ALÍVIO DO ESTRESSE SALINO

Os níveis elevados de sais solúveis no solo afetam importantes processos para o desenvolvimento da planta, como o alongamento, divisão celular e abertura e fechamento dos estômatos (Orhan, 2016). A competitividade iônica, o pH elevado e a qualidade da água presente na solução do solo influenciam de forma negativa na disponibilidade de nutrientes e, conseqüentemente no crescimento das plantas em solos afetados por sais (Mokrani et al., 2020). Neste sentido, as bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) são amplamente estudadas e utilizadas no alívio do estresse salino, com objetivo de aumentar o rendimento das culturas por meio de diferentes mecanismos de tolerância (Jaemsaeng et al., 2018; Hussein & Joo, 2018).

As BPCP pertencem a um amplo grupo de microrganismos e podem ser isoladas da rizosfera, endosfera e filosfera das plantas, sendo a rizosfera, a zona de maior atividade microbiana, onde ocorrem inúmeras interações entre as plantas e as rizobactérias (Orozco-Mesquita et al., 2020). A Figura 1 mostra os mecanismos de promoção de crescimento, onde as bactérias desenvolveram mecanismos para tolerar estresses bióticos e abióticos, e, por isso, têm sido inoculadas em plantas cultivadas sob solos salinos como uma alternativa para conferir resistência e melhorar a produtividade agrícola (Mokrani et al., 2022).

Figura 1. Efeitos dos mecanismos de promoção de crescimento na mitigação do estresse salino em plantas.



Dentre as estratégias desenvolvidas estão a produção de fitormônios, disponibilidade de nutrientes por meio da solubilização de fósforo, zinco e potássio e fixação biológica de nitrogênio. De forma indireta, as BPCP atuam conferindo resistência sistêmica contra o ataque

de patógenos (Etesami & Maheshwari, 2018). A eficiência dos mecanismos de promoção de crescimento e a capacidade de interação das bactérias com as plantas são influenciados principalmente pelas características do solo, condições ambientais, composição dos exsudados radiculares e da comunidade microbiana (Etesami & Glick, 2020).

Evidências apontam que os isolados bacterianos obtidos de solos afetados por sais são mais eficientes aos de outros ambientes na mitigação do estresse salino (Etesami & Beattie, 2018; Noori et al., 2018). Por esse motivo, a utilização de cepas resistentes para aliviar o estresse salino natural ou induzido requer uma seleção criteriosa de BPCP, halofílicas e halotolerantes, com base na eficiência de determinados grupos em expressar suas características de promoção de crescimento, resistência e tolerância a elevados níveis de sais (Karimzadeh et al., 2021). Nas regiões áridas e semiáridas, onde há um déficit hídrico e elevadas quantidades de sais solúveis no solo, a inoculação de BPCP tem sido eficientemente utilizada como alternativa para conferir tolerância às plantas e assegurar a produtividade (Araújo et al., 2020; Hernández-Canseco et al., 2022; Araújo et al., 2023).

Com a finalidade de suportar os impactos da salinidade, as BPCP halofílicas e halotolerantes adaptaram seus mecanismos de defesa para tolerar elevadas concentrações de sais por meio de alterações na composição da parede celular, ácidos graxos, polissacarídeos e proteínas; ajustes no potencial osmótico, permitindo assim a regulação iônica no interior da célula; regulação da síntese de aminoácidos essenciais e acúmulo de solutos por síntese intracelular; produção de biofilme e exopolissacarídeos (que servem como barreira para evitar a entrada de elevadas quantidades de sais na célula); modificações extracelulares; aumento do potencial energético da célula e adaptações de enzimas e proteínas para regular a produção de solutos (Ferreira et al., 2021; Li et al., 2023). Sendo assim, as BPCP contribuem para aumentar o acúmulo de osmólitos nos vegetais; promovem homeostase iônica; aumentam a capacidade de retenção de água no solo e a absorção de água; induzem a ativação de genes de tolerância ao estresse salino; ativam a síntese de enzimas antioxidantes e regulam a produção de fitormônios (Egamberdieva et al., 2017).

Shahzad et al. (2017) inocularam a BPCP *Bacillus amyloliquefaciens* RWL-1 em arroz (*Oryza sativa*) cultivado em solos salinos e observaram melhorias no desenvolvimento da cultura; aumento na produção de ácido abscísico (ABA) e no fitormônio regulador do fechamento dos estômatos, evitando a perda de água em condições de estresse; aumento na biossíntese de aminoácidos; e aumento dos teores de ácido salicílico, responsável por induzir resistência sistêmica nas plantas. A actinobactéria *Nocardioides* sp. se mostrou-se eficiente na mitigação dos impactos da salinidade quando inoculada em mudas de trigo por meio da produção de ABA e ácido indolacético (AIA), um regulador do alongamento e divisão celular das raízes; além de aumentar a atividade das enzimas antioxidantes (Meena et al., 2020).

BPCP produtoras da enzima 1-aminociclopropano-1-carboxilato deaminase (ACC deaminase), isoladas da rizosfera de alho (*Allium sativum*), e inoculadas em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) irrigadas com solução salina (NaCl 25 mM) aumentaram a produção de AIA, contribuindo assim para o alongamento das raízes, o desenvolvimento do sistema radicular e melhorias na absorção de água e nutrientes (Gupta & Pandey, 2019). Em condições

ambientais adversas, as plantas aumentam a produção de etileno, no entanto, *Bacillus subtilis* e *Pseudomonas fluorescens* (bactérias produtoras de ACC deaminase) têm sido utilizadas para mitigar os efeitos do estresse salino por meio da ativação do sistema de defesa das plantas que, por sua vez, reduz os danos oxidativos, os níveis de etileno e seus efeitos nocivos nos tecidos vegetais (Sofy et al., 2021).

O trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivado sob estresse salino apresentou alto desempenho nos tratamentos inoculados com *Bacillus cereus*, *Serratia marcescens* e *Pseudomonas aeruginosa*. Essas BPCP foram responsáveis pela biossíntese de fitormônios, disponibilidade de N e P, além de induzir elevados teores de carotenoides e clorofila e reduzir o estresse oxidativo por meio da redução dos níveis de sódio e consequente aumento na entrada de cálcio e potássio, garantindo, assim, um maior equilíbrio iônico na célula vegetal. Dentre os isolados selecionados, *P. aeruginosa* foi considerada a mais eficiente no alívio do estresse por apresentar maior número de mecanismos de promoção de crescimento (Desoky et al., 2020). A inoculação de *Enterobacter* sp. S16-3 e *Pseudomonas* sp. C16-20 em canola (*Brassica napus* L.) contribuiu para a nutrição das plantas, inibiu a entrada de sais nas raízes e se mostrou eficiente no alívio do estresse salino por meio de parâmetros bioquímicos e fisiológicos, em que foi possível observar elevados valores de pigmentos fotossintetizantes e ativação das enzimas catalase, superóxido dismutase e ascorbato peroxidase, os quais compõem o sistema antioxidante das plantas e são responsáveis por eliminar as espécies reativas de oxigênio (Neshat et al., 2022).

A aplicação de BPCP sob estresse salino tem garantido a produtividade de culturas de grande interesse agrícola como trigo, milho, alfafa, amendoim, beterraba, arroz entre outras (Sharma et al., 2016; Sorty et al., 2016; Zhou et al., 2017; Kearl et al., 2019; Mukhtar et al., 2020; Kumar et al., 2021). Os consórcios microbianos reúnem múltiplas características de promoção de crescimento e podem ser considerados como uma alternativa promissora no alívio do estresse salino em condições ambientais adversas (Khan et al., 2022). Para isso, mais estudos são necessários para compreender os mecanismos de transferência de genes de resistência para a obtenção de plantas mais tolerantes, tendo em vista os objetivos sustentáveis na agricultura de ambientes adversos (Kumar et al., 2020; Li et al., 2021).

4 FUNGO MICORRÍZICO ARBUSCULAR NO ALÍVIO DO ESTRESSE SALINO

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são microrganismos presentes no solo, que formam uma das associações simbióticas mutualísticas mais comuns na natureza, a micorriza arbuscular (MA), formada entre esses fungos e as raízes de aproximadamente 80 % das plantas terrestres, com origem há mais de 400 milhões de anos (Evelin et al., 2019; Pons et al., 2020). A capacidade de formar MA é restrita aos fungos pertencentes ao filo Mucoromycota, subfilo Glomeromycotina, que está dividido nas ordens Glomerales, Paraglomerales, Diversisporales e Archaeosporales (Bonfante & Venice, 2020). Eles são

biotróficos obrigatórios e absorvem produtos fotossintéticos vegetais e lipídios para cumprir seu ciclo de vida (Jiang et al., 2017; Luginbuehl et al., 2017).

Segundo Parniske (2004), por meio de “genes de simbiose” na planta e emissão de sinais simbióticos pelo fungo, um sistema de troca de sinais e respostas bioquímicas ocorre no estabelecimento da simbiose. Quando a planta percebe a condição de estresse, na sua rizosfera é liberado estrigolactona, um fitormônio sinalizador, para reconhecimento do fungo, que estimula a ramificação das hifas e, em contrapartida, o fungo libera sinais que induzem a ativação de genes específicos da simbiose na planta (Pons et al., 2020). Esses sinais possibilitam a expressão de genes de defesa da planta e a sincronização das mudanças morfológicas e fisiológicas no hospedeiro vegetal (Choi et al., 2018), fazendo com que o hospedeiro “permita” o estabelecimento dessa simbiose, assim a partir do contato das hifas com as raízes acontece o processo de colonização.

Durante a simbiose, ocorre estreita integração morfológica e fisiológica entre o fungo e a planta resultando em alta compatibilidade funcional. O fungo é beneficiado pelos fotoassimilados das plantas, permitindo seu completo ciclo de vida, que só ocorre em associação com o hospedeiro. As hifas fúngicas funcionam como extensão do sistema radicular da planta, aumentando, por exemplo, a absorção de nutrientes como o fósforo (Smith & Read, 2008). Além disso, os FMA alteram as características físico-químicas do solo, agregando as partículas por meio de hifas extrarradiculares e de seus exsudatos, produzem e secretam glomalina, uma glicoproteína que desempenha papel fundamental na estabilidade do solo (Bedini et al., 2009) e, também contribuem no estabelecimento e adaptação das plantas em locais severamente perturbados (Vimal et al., 2017).

As associações micorrízicas resultam no aumento da tolerância das plantas aos estresses ambientais (Begum et al., 2009). Os fungos são mais sensíveis a maiores concentrações de sais do que as bactérias, no entanto, os FMA têm diferentes mecanismos para superar as severas condições de estresses ambientais, além de auxiliar as plantas no ambiente mitigando o impacto negativo do estresse no seu crescimento e desenvolvimento (Kumar & Verma, 2018). Dessa forma, em solos salinos, a MA pode aumentar a tolerância das plantas ao sal minimizando os efeitos maléficos e, assim, reduzindo as perdas na produção. Essa tolerância se deve a produção de fitormônios, como, por exemplo, a auxina, mobilização de nutrientes e produção de sideróforos (Sagar et al., 2021). Esses mecanismos aumentam o comprimento da raiz, beneficiando a absorção de água e nutrientes e, conseqüentemente, aumento da parte área das plantas, o que também é favorecido pelas hifas extracelulares que funcionam como extensão da raiz, aumentando assim a superfície de contato com o solo (Kumar & Verma, 2018).

Outros mecanismos de tolerância também são usados como a geração de osmoprotetores (prolina, glicina betaína, poliois) no citoplasma, fornecimento de energia por ATPases para a extrusão de sódio (Na^+) e cloro (Cl^-), proteínas específicas de transporte para a transferência desses íons para o vacúolo ou para os espaços apoplásticos, abastecimento adicional de água, mediado por aquaporinas para manter o balanceamento osmótico, melhoria na taxa fotossintética, equilíbrio iônico e produção de antioxidantes (Evelin et al., 2019; Sagar et al., 2021).

Alguns estudos foram realizados a fim de suprir as lacunas sobre o que acontece na planta em associação ao FMA que confere essa tolerância aos sais. Em plantas de alho, os FMA aumentaram o crescimento da planta, além da área foliar, biomassa seca e fresca em condições salinas (Borde et al., 2010). Navarro et al. (2014) relataram que, em plantas cítricas sob condições de estresse salino, a inoculação com FMA melhorou o crescimento das plantas, por inibir a absorção de Na^+ ou Cl^- . Após três meses sob estresse, foi observado que as plantas micorrizadas aumentaram significativamente o crescimento nos porta-enxertos de tangerina Cleopatra Mandarin (*Citrus reshni* Hort. ex Tan.) quando comparadas com as não micorrizadas, demonstrando que a MA compensa as limitações de crescimento impostas pela salinidade.

Estudo conduzido por Elhindi et al. (2017) demonstrou que a inoculação com FMA melhorou a taxa fotossintética e outras características de trocas gasosas, como também a concentração de clorofila e eficiência de uso de água em plantas de manjerição (*Ocimum basilicum* L.) sob estresse salino. Em plantas de milho submetidas ao estresse salino, a inoculação com FMA proporcionou maior biomassa e elevadas taxas de produtividade em comparação às plantas não inoculadas (Shinde & Singhe, 2017). Hashem et al. (2018) também constataram que nas plantas de pepino (*Cucumis sativus*) tratadas com FMA em comparação com as plantas não inoculadas as concentrações de P total, cálcio (Ca^{2+}), nitrogênio (N), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^+) foram maiores mesmo em condições de estresse salino. Além disso, Wang et al. (2018) também relataram consideráveis aumentos na concentração de N da parte aérea e raiz, e nos pesos fresco e seco de plantas devido à inoculação micorrízica sob condições moderadas de salinidade.

Santander et al. (2019) estudaram a associação micorrízica em plantas de alface e observaram que as plantas micorrizadas tiveram maior produção de biomassa, aumento da síntese de prolina, aumento da absorção de N e mudanças perceptíveis nas relações iônicas, particularmente reduzido acúmulo de Na^+ sob condições de estresse. Os autores sugeriram que essa melhora do equilíbrio iônico é devido a um efeito de filtragem das estruturas dos fungos tanto no solo como na raiz que impedem a entrada dos ions de Na^+ .

Ye et al. (2019) avaliaram o desenvolvimento da melancia inoculada com o FMA *Funneliformis mosseae* sob estresse salino e, constataram que, nas mudas inoculadas houve aumento na expressões de genes envolvidos na fotossíntese e diminuição na expressão de genes relacionados a degradação de cloroplasto. Isso aumentou significativamente a taxa líquida de fotossíntese pela manutenção da estrutura normal do cloroplasto, além de obterem uma melhora significativa no transporte de elétrons do fotossistema II, o que promoveu o crescimento das mudas.

A zona do solo ao redor das raízes e hifas fúngicas, onde ocorre as interações planta-fungo, é denominada micorrizosfera e, nesta zona, o fungo também interage com outros microrganismos, como bactérias. A interação entre eles favorece o aumento das populações e promove o crescimento da planta (Nadeem et al., 2014). Assim, estudos vêm sendo desenvolvidos para conhecer os benefícios da co-inoculação de FMA com BPCP tolerantes aos sais, nas respostas das plantas à salinidade.

A co-inoculação de *Pseudomonas mendocina* e *Glomus mosseae* aumentou a estabilidade de agregados do solo, sendo assim uma abordagem ecobiotecnológica adequada em condição estressante de salinidade (Kohler et al., 2010). Nadeem et al. (2014) mostraram que FMA co-inoculados com BPCP em ambientes salinos foram úteis no fornecimento de nutrientes às plantas submetidas a condições de estresse, corroborando o estudo de Barnawal et al. (2014) o qual mostrou que a co-inoculação de *Arthrobacter protophormiae* e *Rhizobium leguminosarum* com *Glomus mosseae* em ervilha (*Pisum sativum*) favoreceu a atividade da enzima ACC desaminase, promovendo a saúde das plantas, redução do teor de prolina e peroxidação lipídica e, aumento da atividade pigmentar.

A co-inoculação de *Rhizophagus intraradices* e *Massilia* sp. RK4 também influenciou positivamente na maior colonização radicular pelo FMA e no acúmulo de nutrientes sob estresse salino em plantas de milho. Os resultados demonstram que, essas associações de fungos e bactérias, apresentam impacto significativo na tolerância à salinidade em plantas de milho (Krishnamoorthy et al., 2016). Estes efeitos positivos podem ser devido à combinação de certos mecanismos e também ao efeito sinérgico dessas populações. As interações sinérgicas entre os dois tipos de microrganismos melhoram o crescimento e a tolerância das plantas em ambientes estressantes, bem como diminui o efeito negativo do estresse nas funções microbianas. Além disso, solos sob estresse salino geram excesso de radicais livres, que podem danificar os lipídios celulares, proteínas e DNA, e assim alterar a fisiologia normal das plantas, levando conseqüentemente a diversas doenças metabólicas (Ahmed et al., 2015). Dessa forma, a presença dessas associações entre microrganismos e a planta tem como efeito secundário a prevenção de doenças e resistência ao ataque de pragas (Kumar & Verma, 2018).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS

A salinidade nos solos é um dos principais estresses abióticos que limita o crescimento e saúde das plantas, afetando a produtividade agrícola em larga escala e a agricultura de subsistência em regiões áridas e semiáridas. Nas últimas décadas, houve um grande progresso na compreensão de como o estresse salino afeta o crescimento e a produtividade vegetal e como diferentes espécies de plantas respondem e se adaptam a este estresse. Atualmente, já é bem aceito na comunidade científica que grande parte destas respostas e adaptações se deve aos microrganismos associados a plantas.

Os microrganismos podem aumentar a tolerância das plantas ao estresse salino e, ao mesmo tempo, promover o seu crescimento por diferentes mecanismos, como produção de fitormônios (AIA, citocinina, ABA), solubilização e absorção de nutrientes (N, P, K e Fe), tolerância sistêmica induzida, produção de exopolissacarídeos e biofilme, produção de ACC deaminase, manutenção da homeostase iônica, eficiência superior de uso de água e osmoproteção, eficiência fotossintética aprimorada, preservação da ultraestrutura celular e metabolismo antioxidante reforçado. Inúmeros trabalhos têm sido desenvolvidos visando a

prospecção e caracterização dos mecanismos em experimentos sob condições controladas. No entanto, mais pesquisas são necessárias para avaliar a eficiência desses microrganismos em condições reais de campo para reduzir o estresse de salinidade e promover ao mesmo tempo crescimento de culturas economicamente importantes.

Além disso, estudos de interações tripartites envolvendo FMA, BPCP e planta são escassos e precisam ser mais explorados, com o objetivo de amenizar os efeitos adversos causados pelo estresse salino, que acometem solos de regiões áridas e semiáridas. As interações sinérgicas entre diferentes tipos de microrganismos podem melhorar o crescimento e a tolerância das plantas em ambientes salinos. Novas hipóteses sugerem que o sinergismo entre FMA e BPCP pode ser uma excelente estratégia para produção de um inoculante no manejo da salinidade. A inoculação de BPCP produtoras de ACC deaminase pode aliviar o estresse salino na planta, pela inibição da produção de etileno, que por sua vez, favorecerá o desenvolvimento da MA (Fracetto et al., 2017; Fracetto et al., 2017). Com o estímulo da formação e funcionamento da MA, as plantas irão absorver mais água e nutrientes, principalmente fósforo, favorecendo o desenvolvimento da planta, além da diminuição do uso de fertilizantes fosfatados.

LITERATURA CITADA

Ahmed, I. M.; Nadira, U. A.; Bibi, N.; Cao, F.; He, X.; Zhang, G.; Wu, F. Secondary metabolism and antioxidants are involved in the tolerance to drought and salinity, separately and combined, in Tibetan wild barley. *Environmental and Experimental Botany*, v. 111, p. 1-12, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.10.003>

Araújo, V. L. V. P.; Fracetto, G. G. M.; Silva, A. M. M.; Pereira, A. P. A.; Freitas, C. C. G.; Barros, F. M. R.; Santana, M. C.; Feiler, H. P.; Matteoli, F. P.; Fracetto, F. J. C.; Cardoso, E. J. B. N. Potential of growth-promoting bacteria in maize (*Zea mays* L.) varies according to soil moisture. *Microbiological Research*, v. 271, p. 127352, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2023.127352>

Araújo, V. L. V. P.; Lira Junior, M. A.; de Souza Júnior, V. S.; de Araújo Filho, J. C.; Fracetto, F. J. C.; Andreote, F. D.; Pereira, A. P. A.; Mendes Júnior, J. P.; Barros, F. M. R.; Fracetto, G. G. M. Bacteria from tropical semiarid temporary ponds promote maize growth under hydric stress. *Microbiological Research*, v. 240, p. 126564, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126564>

Bachran, M.; Kluge, S.; Lopez-Fernandez, M.; Cherkouk, A. (2019). Microbial diversity in an arid, naturally saline environment. *Microbial Ecology*, v. 78, p. 494-505. <https://doi.org/10.1007/s00248-018-1301-2>

- Barnawal, D.; Bharti, N.; Maji, D.; Chanotiya, C. S.; Kalra, A. ACC deaminase-containing *Arthrobacter protophormiae* induces NaCl stress tolerance through reduced ACC oxidase activity and ethylene production resulting in improved nodulation and mycorrhization in *Pisum sativum*. *Journal of Plant Physiology*, v. 171, n. 11, p. 884-894, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.03.007>
- Bedini, S.; Pellegrino, E.; Avio, L.; Pellegrini, S.; Bazzoffi, P.; Argese, E.; Giovannetti, M. Changes in soil aggregation and glomalin-related soil protein content as affected by the arbuscular mycorrhizal fungal species *Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 41, n. 7, p. 1491-1496, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.04.005>
- Begum, N.; Qin, C.; Ahanger, M. A.; Raza, S.; Khan, M. I.; Ashraf, M.; Ahmed, N.; Zhang, L. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in plant science*, v. 10, p. 1068, 2019. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068>
- Bencherif, K.; Boutekrabt, A.; Fontaine, J.; Laruelle, F.; Dalpè, Y.; Sahraoui, A. Science of the total environment impact of soil salinity on arbuscular mycorrhizal fungi biodiversity and microflora biomass associated with *Tamarix articulata* Vahl rhizosphere in arid and semi-arid Algerian areas. *Science of The Total Environment*, v. 533, p. 488-494, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.007>
- Bonfante, P.; Venice, F. Mucoromycota: going to the roots of plant-interacting fungi. *Fungal Biology Reviews*, v. 34, p. 100-113, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2019.12.003>
- Borde, M.; Dudhane, M.; Jite, P. K. AM fungi influences the photosynthetic activity, growth and antioxidant enzymes in *Allium sativum* L. under salinity condition. *Notulae Scientia Biologicae*, v. 2, n. 4, p. 64-71, 2010. <https://doi.org/10.15835/nsb245434>
- Canfora¹, L.; Bacci, G.; Pinzari, F.; Papa, G. L.; Dazzi, C.; Benedetti, A. Salinity and bacterial diversity: to what extent does the concentration of salt affect the bacterial community in a
- Choi, J.; Summers, W.; Paszkowski, R. Mechanisms underlying establishment of arbuscular mycorrhizal symbioses. *Annual Review of Phytopathology*, v. 56, p. 135-160, 2018. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080516-035521>
- Desoky, E. M.; Saad, A. M.; El-Saadony, M. T.; Merwad, A. M.; Rady, M. M. Plant growth-promoting rhizobacteria: Potential improvement in antioxidant defense system and suppression of oxidative stress for alleviating salinity stress in *Triticum aestivum* (L.) plants. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 30, p. 101878, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101878>

- Egamberdieva, D.; Wirth, S. J.; Shurigin, V. V.; Hashem, A.; Abd_Allah, E. F. Phytohormones and beneficial microbes: essential components for plants to balance stress and fitness. *Frontiers in Microbiology*, v. 8, p. 2104, 2017. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02104>
- Elhindi, K. M.; El-Din, A. S.; Elgorban, A. M. The impact of arbuscular mycorrhizal fungi in mitigating salt-induced adverse effects in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Saudi Journal of Biological Sciences*, v. 24, n. 1, p. 170-179, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.02.010>
- Etesami, H.; Beattie, G. A. Mining halophytes for plant growth-promoting halotolerant bacteria to enhance the salinity tolerance of non-halophytic crops. *Frontiers in Microbiology*, v. 9, p. 148, 2018. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00148>
- Etesami, H.; Glick, B. R. Halotolerant plant growth-promoting bacteria: Prospects for alleviating salinity stress in plants. *Environmental and Experimental Botany*, v. 178, p. 104124, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104124>
- Etesami, H.; Maheshwari, D. K. Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: Action mechanisms and future prospects. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 156, p. 225-246, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.03.013>
- Evelin, H.; Devi, T. S.; Gupta, S.; Kapoor, R. Mitigation of salinity stress in plants by arbuscular mycorrhizal symbiosis: Current understanding and new challenges. *Frontiers in Plant Science*, v. 10, n. 470, 2019. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00470>
- Evelin, H.; Giri, B.; Kapoor, R. Contribution of *Glomus intraradices* inoculation to nutrient acquisition and mitigation of ionic imbalance in NaCl-stressed *Trigonella foenum-graecum*. *Mycorrhiza* v. 22, p. 203-217, 2012. <https://doi.org/10.1007/s00572-011-0392-0>
- Ferreira, M. J.; Cunha, A.; Figueiredo, S.; Faustino, P.; Patinha C.; Silva, H.; Sierra-Garcia, I. N. The root microbiome of *Salicornia ramosissima* as a seedbank for plant-growth promoting halotolerant bacteria. *Applied Sciences*, v. 11, n. 5, p. 2233, 2021. <https://doi.org/10.3390/app11052233>
- Fracetto, G. G. M.; Peres, L. E. P.; Lambais, M. R. Gene expression analyses in tomato near isogenic lines provide evidence for ethylene and abscisic acid biosynthesis fine-tuning during arbuscular mycorrhiza development. *Archives of microbiology*, v. 199, p. 787-798, 2017. <https://doi.org/10.1007/s00203-017-1354-5>

- Fracetto, G. G. M.; Peres, L. E.; Mehdy, M. C.; Lambais, M. R. Tomato ethylene mutants exhibit differences in arbuscular mycorrhiza development and levels of plant defense-related transcripts. *Symbiosis*, v. 60, p. 155-167, 2013. <https://doi.org/10.1007/s13199-013-0251-1>
- Gibtan, A.; Park, K.; Woo, M.; Shin, J. K.; Lee, D. W.; Sohn, J. H.; Song, M.; Roh, S. W.; Lee, S. J.; Lee, H. S. Diversity of extremely halophilic archaeal and bacterial communities from commercial salts. *Frontiers in Microbiology*, v. 8, p. 799, 2017. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00799>
- Gupta, S.; Pandey, S. ACC deaminase producing bacteria with multifarious plant growth promoting traits alleviates salinity stress in French bean (*Phaseolus vulgaris*) plants. *Frontiers in Microbiology*, v. 10, p. 1506, 2019. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01506>
- Hassani, A.; Azapagic, A.; Shokri, N. Global predictions of primary soil salinization under changing climate in the 21st century. *Nature Communications*, v. 12, p. 6663, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26907-3>
- Hashem, A.; Alqarawi, A. A.; Radhakrishnan, R.; Al-Arjani, A. B. F.; Aldehaish, H. A.; Egamberdieva, D.; Abd_Allah, E. F. Arbuscular mycorrhizal fungi regulate the oxidative system, hormones and ionic equilibrium to trigger salt stress tolerance in *Cucumis sativus* L. *Saudi Journal of Biological Sciences*, v. 25, n. 6, p. 1102-1114, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.03.009>
- Hernández-Canseco, J.; Bautista-Cruz, A.; Sánchez-Mendoza, S.; Aquino-Bolaños, T.; Sánchez-Medina, P. S. Plant growth-promoting halobacteria and their ability to protect crops from abiotic stress: An eco-friendly alternative for saline soils. *Agronomy*, v. 12, n. 4, p. 804, 2022. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040804>
- Hollister, E. B.; Engledow, A. S.; Hammett, A.; Provin, J.M.; Wilkinson, T.L. Shifts in microbial community structure along an ecological gradient of hypersaline soils and sediments. *The ISME Journal*, v. 4, p. 829–838, 2010. <https://doi.org/10.1038/ismej.2010.3>
- Horn, D. J. V.; Okie, J. G.; Buelow, H. N.; Gooseff, M. N.; Barrett, J. E.; Takacs-Vesbach, C. D. Soil microbial responses to increased moisture and organic resources along a salinity gradient in a polar desert. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 80, p. 3034-43, 2014. <https://doi.org/10.1128/AEM.03414-13>
- Hussein, K. A.; Joo, J. H. Plant growth-promoting rhizobacteria improved salinity tolerance of *Lactuca sativa* and *Raphanus sativus*. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, v. 28, p. 938-945, 2018. <https://doi.org/10.4014/jmb.1712.12027>

- Jaemsaeng, R.; Jantasuriyarat, C.; Thamchaipenet, A. Molecular interaction of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase (ACCD)-producing endophytic *Streptomyces* sp. GMKU 336 towards salt-stress resistance of *Oryza sativa* L. cv. KDML105. *Scientific Reports*, v. 8, n. 1, p. 1950, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19799-9>
- Jiang, H.; Dong, H.; Yu, B.; Liu, X.; Li, Y.; Ji, S.; Zhang, C.L. Microbial response to salinity change in Lake Chaka, a hypersaline lake on Tibetan plateau. *Environmental Microbiology*, v. 9, p. 2603–2621, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2007.01377.x>
- Jiang, Y.; Wang, W.; Xie, Q.; Liu, N.; Liu, L.; Wang, D.; Zhang, X.; Yang, C.; Chen, X.; Tang, D.; Wang, E. Plants transfer lipids to sustain colonization by mutualistic mycorrhizal and parasitic fungi. *Science*, v. 356, p. 1172–1175, 2017. <https://doi.org/10.1126/science.aam9970>
- Karimzadeh, J.; Alikhani, H. A.; Etesami, H.; Pourbabaei, A. A. Improved phosphorus uptake by wheat plant (*Triticum aestivum* L.) with rhizosphere fluorescent Pseudomonads strains under water-deficit stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 40, p. 162-178, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10087-3>
- Kearl, J.; McNary, C.; Lowman, J. S.; Mei, C.; Aanderud, Z. T.; Smith, S. T.; West, J.; Colton, E.; Hamson, M.; Nielsen, B. L. Salt-tolerant halophyte rhizosphere bacteria stimulate growth of alfalfa in salty soil. *Frontiers in Microbiology*, v. 10, p. 1849, 2019. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01849>
- Khan, M. Y.; Nadeen, S. M.; Sohaib, M.; Waqas, M. R.; Alotaib, F.; Ali, L.; Zahir, Z. A.; Al-Barakah, F. N. I. Potential of plant growth promoting bacterial consortium for improving the growth and yield of wheat under saline conditions. *Frontiers in Microbiology*, v. 13, p. 958522, 2022. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.958522>
- Kohler, J.; Caravaca, F.; Roldán, A. An AM fungus and a PGPR intensify the adverse effects of salinity on the stability of rhizosphere soil aggregates of *Lactuca sativa*. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 42, n. 3, p. 429-434, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.11.021>
- Krishnamoorthy, R.; Kim, K.; Subramanian, P.; Senthilkumar, M.; Anandham, R.; Sa, T. Arbuscular mycorrhizal fungi and associated bacteria isolated from salt-affected soil enhances the tolerance of maize to salinity in coastal reclamation soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 231, p. 233-239, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.05.037>
- Kumar, A.; Singh, S.; Gaurav, A. K.; Srivastava, S.; Verma, J. P. Plant growth-promoting bacteria: biological tools for the mitigation of salinity stress in plants. *Frontiers in Microbiology*, v. 11, p. 1216, 2020. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01216>

- Kumar, A.; Singh, S.; Mukherjee, A.; Rastogi, R. P.; Verma, J. P. Salt-tolerant plant growth-promoting *Bacillus pumilus* strain JPVS11 to enhance plant growth attributes of rice and improve soil health under salinity stress. *Microbiological Research*, v. 242, p. 126616, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126616>
- Kumar, A.; Verma, J. P. Does plant–microbe interaction confer stress tolerance in plants: a review? *Microbiological research*, v. 207, p. 41-52, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.11.004>
- Kumawat, C.; Kumar, A.; Parshad, J.; Sharma, S. S.; Patra, A.; Dogra, P.; Yadav, G. K.; Dadhich, S. K.; Verma, R.; Kumawat, G. L. Microbial diversity and adaptation under salt-affected soils: a review. *Sustainability*, v. 14, p. 9280, 2022. <https://doi.org/10.3390/su14159280>
- Leogrande, R.; Vitti, C. Use of organic amendments to reclaim saline and sodic soils: a review. *Arid Land Research and Management*, v. 33, p. 1-21, 2019. <https://doi.org/10.1080/15324982.2018.1498038>
- Li, H.; La, S.; Zhang, X.; Gao, L.; Tian, Y. Salt-induced recruitment of specific root-associated bacterial consortium capable of enhancing plant adaptability to salt stress. *The ISME Journal*, v. 15, n. 10, p. 2865-2882, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41396-021-00974-2>
- Li, J.; Xiao, X.; Zhou, M.; Zhang, Y. Strategy for the adaptation to stressful conditions of the novel isolated conditional piezophilic strain *Halomonas titanicae* ANRCS81. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 89, n. 3, p. e01304-22, 2023. <https://doi.org/10.1128/aem.01304-22>
- Liszka, M.; Clark, M.; Schneider, E.; Clark, D. S. Nature versus nurture: developing enzymes that function under extreme conditions. *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, v. 3, p. 77–102, 2012. <https://doi.org/10.1146/annurev-chembioeng-061010-114239>
- Luginbuehl, L. H.; Menard, G. N.; Kurup, S.; Van Erp, H.; Radhakrishnan, G. V.; Breakspear, A.; Oldroyd, G. E. D.; Eastmond, P. J. Fatty acids in arbuscular mycorrhizal fungi are synthesized by the host plant. *Science*, v. 356, p. 1175-1178, 2017. <https://doi.org/10.1126/science.aan0081>
- Meena, K. K.; Bitla, U. M.; Sorty, A. M.; Singh, D. P.; Gupta, V. K.; Wakchaure, G. C.; Kumar, S. Mitigation of salinity stress in wheat seedlings due to the application of phytohormone-rich culture filtrate extract of methylotrophic actinobacterium *Nocardioides* sp. NIMMe6. *Frontiers in Microbiology*, v. 11, p. 2091, 2020. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.02091>

- Min, W.; Guo, H.; Zhang, W.; Zhou, G.; Ma, L.; Ye, J.; Liang, Y.; Hou, Z. Response of soil microbial community and diversity to increasing water salinity and nitrogen fertilization rate in an arid soil. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, v. 66, p. 117-126, 2016. <https://doi.org/10.1080/09064710.2015.1078838>
- Minegishi, H.; Shimogaki, R.; Enomoto, S.; Echigo, A.; Kondo, Y.; Nagaoka, S.; Shimane, Y.; Kamekura, M.; Itoh, T.; Ohkuma, M.; Nunoura, T.; Takai, K.; Usami, R. *Halopiger thermotolerans sp. nov.*, a thermo-tolerant haloarchaeon isolated from commercial salt. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, v. 66, p. 4975–4980, 2016. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.001455>
- Mokrani, S.; Nabti, E.; Cruz, C. Current advances in plant growth promoting bacteria alleviating salt stress for sustainable agriculture. *Applied Sciences*, v. 10, n. 20, p. 7025, 2020. <https://doi.org/10.3390/app10207025>
- Mokrani, S.; Nabti, E.; Cruz, C. Recent trends in microbial approaches for soil desalination. *Applied Sciences*, v. 12, n. 7, p. 3586, 2022. <https://doi.org/10.3390/app12073586>
- Morrissey, E. M.; Gillespie, J. L.; Morina, J. C.; Franklin, R. B. Salinity affects microbial activity and soil organic matter content in tidal wetlands. **Global Change Biology**, v. 20, n. 4, p. 1351-1362, 2014. <https://doi.org/10.1111/gcb.12431>
- Mukhtar, S.; Zareen, M.; Khaliq, Z.; Mehnaz, S.; Malik, K. A. Phylogenetic analysis of halophyte-associated rhizobacteria and effect of halotolerant and halophilic phosphate-solubilizing biofertilizers on maize growth under salinity stress conditions. *Journal of Applied Microbiology*, v. 128, n. 2, p. 556-573, 2020. <https://doi.org/10.1111/jam.14497>
- Nadeem, S. M.; Ahmad, M.; Zahir, Z. A.; Javaid, A.; Ashraf, M. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnology advances*, v. 32, n. 2, p. 429-448, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.12.005>
- Navarro, J. M.; Pérez-Tornero, O.; Morte, A. Alleviation of salt stress in citrus seedlings inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi depends on the rootstock salt tolerance. *Journal of Plant Physiology*, v. 171, n. 1, p. 76-85, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.06.006>
- Neshat, M.; Abbasi, A.; Hosseinzadeh, A.; Sarikhani, M. R.; Chavan, D. D.; Rasoulnia, A. Plant growth promoting bacteria (PGPR) induce antioxidant tolerance against salinity stress through biochemical and physiological mechanisms. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, v. 28, n. 2, p. 347-361, 2022. <https://doi.org/10.1007/s12298-022-01128-0>

- Noori, F.; Etesami, H.; Zarini, H. N.; Khoshkholgh-Sima, N. A.; Salekdeh, G. H.; Alishahi, F. Mining alfalfa (*Medicago sativa* L.) nodules for salinity tolerant non-rhizobial bacteria to improve growth of alfalfa under salinity stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 162, p. 129-138, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.06.092>
- Orhan, F. Alleviation of salt stress by halotolerant and halophilic plant growth-promoting bacteria in wheat (*Triticum aestivum*). *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 47, p. 621-627, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2016.04.001>
- Orozco-Mosqueda, M. D. C.; Glick, B. R.; Santoyo, G. ACC deaminase in plant growth-promoting bacteria (PGPB): An efficient mechanism to counter salt stress in crops. *Microbiological Research*, v. 235, p. 126439, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126439>
- Parniske, M. Molecular genetics of the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Current Opinion in Plant Biology*, v. 7, p. 414-421, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2004.05.011>
- Pons, S.; Fournier, S.; Chervin, C.; Bécard, G.; Rochange, S.; Frey, N. D. F.; Pages, V. Phytohormone production by the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis*. *PLoS ONE*, v. 15, n. 10, 18p. 2020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240886>
- Rath, K. M.; Fierer, N.; Murphy, D. V. Rousk, J. Linking bacterial community composition to soil salinity along environmental gradients. *The ISME Journal*, v. 13, p. 836-846, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41396-018-0313-8>
- Rath, K. M.; Fierer, N.; Murphy, D. V.; Rousk, J. Salt effects on the soil microbial decomposer community and their role in organic carbon cycling: A review. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 81, p. 108-123, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.11.001>
- Sagar, A.; Rathore, P.; Ramteke, P. W.; Ramakrishna, W.; Reddy, M. S.; Pecoraro, L. Plant growth promoting rhizobacteria, arbuscular mycorrhizal fungi and their synergistic interactions to counteract the negative effects of saline soil on agriculture: Key macromolecules and mechanisms. *Microorganisms*, v. 9, n. 7, p. 1491, 2021. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9071491>
- Santander, C.; Sanhueza, M.; Olave, J.; Borie, F.; Valentine, A.; Cornejo, P. Arbuscular mycorrhizal colonization promotes the tolerance to salt stress in lettuce plants through an efficient modification of ionic balance. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 19, p. 321-331, 2019. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00032-z>
- Shahzad, R.; Khan, A. L.; Bilal, S.; Wagas, M.; Kang, S.; Lee, I. Inoculation of abscisic acid-producing endophytic bacteria enhances salinity stress tolerance in *Oryza sativa*.

- Environmental and Experimental Botany, v. 136, p. 68-77, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.01.010>
- Sharma, S.; Kulkarni, J. Jha, B. Halotolerant rhizobacteria promote growth and enhance salinity tolerance in peanut. *Frontiers in Microbiology*, v. 7, p. 1600, 2016. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01600>
- Shinde, B. P.; Singh, N. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth parameters of sweet corn under NaCl salinity. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, v. 6, n. 2, p. 1317-1325. 2017. <http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2017.602.149>
- Smith, S.; Read, D. J. *Mycorrhizal symbiosis*. Amsterdam: Academic Press, 2008.
- Sofy, M. R.; Aboseidah, A. A.; Heneidak, S. A.; Ahmed, H. R. ACC deaminase containing endophytic bacteria ameliorate salt stress in *Pisum sativum* through reduced oxidative damage and induction of antioxidative defense systems. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, p. 40971-40991, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13585-3>
- Sorty, A. M.; Meena K. K.; Choudhary, K.; Bitla, U. M.; Minhas, P. S.; Krishnani, K. K. Effect of plant growth promoting bacteria associated with halophytic weed (*Psoralea corylifolia* L) on germination and seedling growth of wheat under saline conditions. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 180, p. 872-882, 2016. <https://doi.org/10.1007/s12010-016-2139-z>
- Ventosa, A.; dela Haba, R. R.; Sánchez-Porro, C.; Papke, R. T. Microbial diversity of hypersaline environments: a metagenomic approach. *Current Opinion in Microbiology*, v. 15, p. 80-87, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2015.05.002>
- Vimal, S. R.; Singh, J. S.; Arora, N. K.; Singh, S. Soil-plant-microbe interactions in stressed agriculture management: a review. *Pedosphere*, v. 27, n. 2, p. 177-192, 2017. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60309-6](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60309-6)
- Wang, Y.; Wang, M.; Li, Y.; Wu, A.; Huang, J. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nitrogen uptake of *Chrysanthemum morifolium* under salt stress. *PLoS One*, v. 13, n. 4, p. e0196408, 2018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196408>
- Wu, X.; Yang, J.; Ruan, H.; Wang, S.; Yang, Y.; Naeem, I. The diversity and co-occurrence network of soil bacterial and fungal communities and their implications for a new indicator of grass land degradation. *Ecological Indicators*, v. 129, p. 107989, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107989>

- Yan, N.; Marschner, P. Response of microbial activity and biomass to increasing salinity depends on the final salinity, not the original salinity. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 53, p. 50-55, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.04.028>
- Ye, L.; Zhao, X.; Bao, E.; Cao, K.; Zou, Z. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on watermelon growth, elemental uptake, antioxidant, and photosystem II activities and stress-response gene expressions under salinity-alkalinity stresses. *Frontiers in Plant Science*, v. 10, p. 863, 2019. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00863>
- Zhang, G.; Bai, J.; Tebbe, C. C.; Zhao, Q.; Jia, J.; Wang, W. Salinity controls soil microbial community structure and function in coastal estuarine wetlands. *Environmental Microbiology*, v. 23, p. 1020-1037, 2021. <https://doi.org/10.1111/1462-2>
- Zhang, G.; Baia, J.; Zhaia, Y.; Jiac, J.; Zhaod, Q.; Wanga, W.; Hu, X. Microbial diversity and functions in saline soils: A review from a biogeochemical perspective. *Journal of Advanced Research*, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2023.06.015>
- Zhang, K.; Shi, Y.; Cui, X.; Yue, P.; Li, K.; Liu, X. Salinity is a key determinant for soil microbial communities in a desert ecosystem. *mSystems*, v. 4, p. e00225-e3182019, 2019. <https://doi.org/10.1128/msystems.00225-18>
- Zheng, W.; Xue, D.; Li, X.; Deng, Y.; Rui, J.; Feng, K. The responses and adaptations of microbial communities to salinity in farmland soils: a molecular ecological network analysis. *Applied Soil Ecology*, v. 120, p. 239–246, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.08.019>
- Zheng, Q.; Hu, Y.; Zhang, S.; Noll, L.; Böckle, T.; Dietrich, M.; Herbold, C. W.; Eichorst, S. A.; Woebken, D.; Richter, A.; Wanek, W. Soil multifunctionality is affected by the soil environment and by microbial community composition and diversity. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 136, p. 107521, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107521>
- Zhou, N.; Zhao, S.; Tian, C. Effect of halotolerant rhizobacteria isolated from halophytes on the growth of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under salt stress. *FEMS Microbiology Letters*, v. 364, n. 11, p. fnx091, 2017. <https://doi.org/10.1093/femsle/fnx091>



SEÇÃO B
**BIOSSALINIDADE
E AGRICULTURA**

OLEAGINOSAS: ALGODÃO, AMENDOIM E GERGELIM

*Geocleber Gomes de Sousa¹, Geovana Ferreira Goes²,
Márcio Henrique da Costa Freire², Henderson Castelo Sousa²,
Carla Ingryd Nojosa Lessa², Jonnathan Richeds da Silva Sales²,
Maria Vanessa Pires de Souza², José Thomas Machado de Sousa²,
Claudivan Feitosa de Lacerda²*

RESUMO: As espécies oleaginosas como algodão, amendoim e gergelim surgem como alternativas para a produção sustentável na região semiárida, por serem excelentes opções agrícolas, uma vez que são exploradas em pequenas, médias e grandes propriedades da região Nordeste do Brasil, em função da sua tolerância aos estresses abióticos. Neste capítulo buscamos informar aspectos de tolerância à salinidade e estratégias de uso destas oleaginosas para a produção biossalina na região semiárida. Os estudos mostram a necessidade de medidas de convivência com os problemas de salinidade do solo e da água de irrigação, de modo a reduzir os impactos negativos sobre produtividade das culturas. Além disso, a utilização de estratégias individualizadas ou combinadas, incluindo uso de adubo orgânico ou químico, misturas de águas e técnicas de manejo do solo, pode mitigar os efeitos do estresse salino e aumentar a produção biossalina de algodão, amendoim e girassol. A cultura do algodão apresenta o maior potencial em função da maior tolerância à salinidade.

¹ Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, CE, Brasil

² Universidade Federal do Ceará - UFC, Fortaleza, CE, Brasil

* Autor correspondente: sousagg@unilab.edu.br

Palavras-chave: manejo da irrigação, tolerância à salinidade, agricultura biossalina, biodiesel

OILSEEDS: COTTON, PEANUTS, AND SESAME

ABSTRACT: Oilseed species such as cotton, peanuts and sesame appear as alternatives for sustainable production in the semi-arid region, as they are excellent agricultural options, since they are explored at small, medium, and large farms in the Northeast region of Brazil, due to their tolerance to abiotic stresses. In this chapter we seek to inform aspects of salt tolerance and strategies for using these oilseeds for biosaline production in the semi-arid region. Studies show the need for measures to deal with soil and irrigation water salinity problems, in order to reduce negative impacts on crop yield. Furthermore, the use of individualized or combined strategies, including use of organic or chemical fertilizers, water mixtures, and soil management techniques, can mitigate the effects of salt stress and increase the biosaline production of cotton, peanuts, and sesame. Cotton presents the highest potential due to its higher salt tolerance.

Key words: irrigation management, salt tolerance, biosaline agriculture, biodiesel

1 INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada tem contribuído significativamente para o aumento da produção agrícola e segurança alimentar em todo o mundo. Porém, para a região semiárida tropical, caracterizada por apresentar chuvas irregulares e elevadas taxas de evapotranspiração (Khademian et al., 2019; Suassuna et al., 2019), o uso de água salobra é uma alternativa para ser considerada. Essas fontes hídricas constituem um recurso hídrico não convencional predominante em várias áreas irrigadas do mundo (Yan et al., 2021). No entanto, a irrigação inadequada com água de alta salinidade pode resultar na degradação do solo.

A salinidade do solo e da água constituem um dos principais estresses abióticos que mais exercem influências negativas na produção global de alimentos e demais produtos advindos da agricultura nas regiões áridas e semiáridas (Minhas et al., 2020). A redução da produtividade das culturas está diretamente relacionada aos efeitos osmótico, iônico e nutricional, causando o desbalanceamento nas relações hídricas das plantas (Sousa et al., 2018; Sousa et al., 2022). Os efeitos da salinidade variam amplamente, dependendo do genótipo. No entanto, nem todas as culturas são igualmente afetadas pelo mesmo nível de salinidade (Ayers & Westcot, 1985; Fernandes et al., 2016; Goes et al., 2021a).

As culturas oleaginosas, incluindo algodão, amendoim e gergelim, apresentam grande importância socioeconômica para o Nordeste brasileiro, sendo inseridas para a produção de energia renovável na forma de biodiesel e na indústria como matéria prima de alimentos comestíveis. No contexto da agricultura bioessalina, a cultura do algodão (*Gossypium hirsutum* L.) é considerada uma ótima opção, face sua elevada capacidade de tolerar a salinidade e também por ser importante para a produção de pluma, óleo, farelo e torta. Outra alternativa seria a cultura do amendoim (*Arachis hypogaeae* L.), que se apresenta como moderadamente tolerante à salinidade e é uma das principais culturas utilizadas na alimentação humana e no setor industrial do Brasil. Já a cultura do gergelim (*Sesamum indicum* L.), apesar de ser sensível ao estresse salino, surge como uma opção em decorrência de adaptação à região semiárida e por suas sementes constituírem importante fonte de óleo comestível.

Neste capítulo buscamos informar aspectos de tolerância à salinidade e estratégias de uso de oleaginosas para a produção bioessalina na região semiárida, com ênfase nas culturas do algodão, amendoim e gergelim. A interação entre uso de água salobra e estratégias associadas a oleaginosas tolerantes será útil para a compreensão da produção bioessalina.

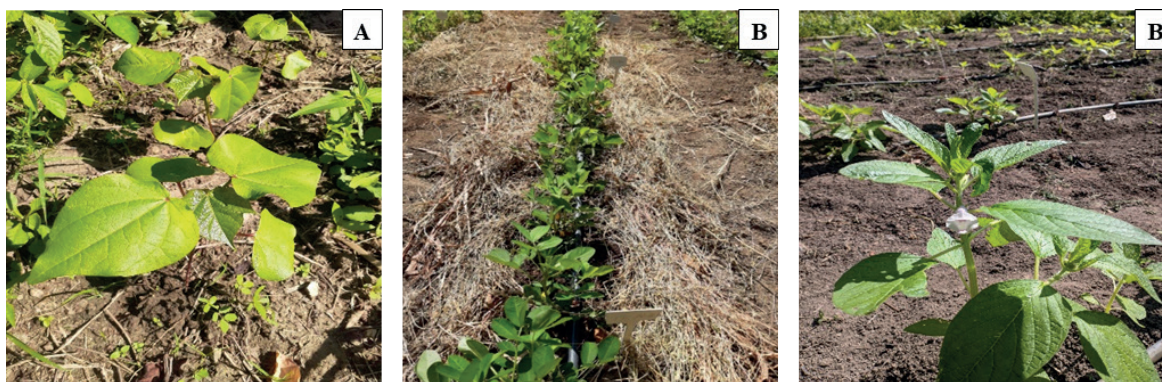
2 CULTIVO DE ALGODÃO, AMENDOIM E GERGELIM, COM ÊNFASE NO SEMIÁRIDO

As regiões áridas e semiáridas estendem-se por todos os continentes do globo, sendo o clima caracterizado por precipitações pluviiais escassas, irregulares e concentradas em um curto período, e cujas médias são abaixo da evapotranspiração potencial. Segundo dados

da SUDENE (2017), as áreas semiáridas no Brasil correspondem à cerca de 12% do território nacional, compostas por dez estados, 1.262 municípios e área de, aproximadamente, 1,13 milhão de km², onde residem cerca de 27 milhões de habitantes.

As espécies oleaginosas como algodão, amendoim e gergelim (Figura 1A, 1B e 1C) surgem como alternativas para a produção sustentável na região semiárida, por serem excelentes opções agrícolas, uma vez que são exploradas por pequenos, médios e grandes produtores da região Nordeste do Brasil. Além disso, as oleaginosas podem ser utilizadas para a consolidação de programas de energia renovável e para a produção de biodiesel, proporcionando apoio à agricultura familiar, criando melhores condições de vida em regiões carentes e valorizando potencialidades regionais (Villela et al., 2014).

Figura 1. Cultura do algodão (A), amendoim (B) e gergelim (C) cultivadas em sistema Agroecológico da fazenda experimental de Piroás, Redenção, Ceará. (Fonte: SOUSA, H. C; MORAIS, J. G. L. arquivo pessoal).



A cultura do algodão, mundialmente conhecida como “ouro branco”, desempenha um papel de grande relevância na economia global, dada a sua ampla utilização na indústria. A produtividade do algodão no Brasil tem sido um tema importante para a agricultura moderna e sustentável. De acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2023a) no Brasil, a área total cultivada com a cultura do algodão é de 1,71 milhão de hectares. Em termos de produtividade total (caroço + pluma), a CONAB estima para a safra 2023/24 um rendimento de 4.256 kg ha⁻¹, valor este inferior em 7,94% em comparação à safra anterior. Na região Nordeste, destacam-se como maiores produtores de algodão (caroço + pluma) os estados do Maranhão (4.805 kg ha⁻¹), Bahia (4.500 kg ha⁻¹), Piauí (3.853 kg ha⁻¹), Rio Grande do Norte (3.711 kg ha⁻¹) e o Ceará (1.097 kg ha⁻¹) (CONAB, 2023a).

Já o amendoim é considerado uma das oleaginosas mais importantes, além de ser uma proteaginososa de elevada concentração de proteína vegana, na ordem de 25 a 30% nos grãos, evidenciando sua relevância na alimentação humana (Jani & Devani, 2020; Sadaka et al., 2023). A nível mundial, é considerada a quarta oleaginosa e a terceira fonte de proteína vegetal, sendo que esses valores enfatizam a alta relevância para o setor agrícola (Taru et al., 2008). O cultivo do amendoim no território brasileiro é uma atividade em franca expansão e, segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2023b), o país

apresentou um salto na produção de 346,8 mil toneladas na safra 2014/15 para uma estimativa de 746,7 mil toneladas no ciclo 2021/22. Enquanto a conjectura para a safra 2023/24 é de aproximadamente 876,7 mil toneladas, demonstrando ascensão do cultivo a nível nacional.

No Nordeste brasileiro, os estados da Bahia, Ceará e Paraíba são os maiores produtores de amendoim com produção de 5.455 toneladas em área de 4.290 hectares na Bahia, seguido por 477 toneladas no estado do Ceará com área equivalente a 360 hectares, enquanto na Paraíba essa produção é de 215 toneladas em uma área de 264 hectares de acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023). Nessas regiões as variações climáticas associadas às condições de solo e água fazem com que muitas vezes o cultivo seja limitado, pela escassez hídrica ou pela elevada concentração de sais das fontes de água, notadamente das fontes subterrâneas.

Já o gergelim é uma cultura anual, e está inclusa no grupo de oleaginosas mais valorizadas, ou seja, foi a primeira utilizada pelo homem e apresenta grande importância. Serve como matéria prima para óleo e biodiesel, atuando, ainda, nas atividades anti-hipertensiva, antioxidante, antienvelhecimento, arteriosclerose e inflamações (Shahidi et al., 2006; Namiki, 2007). O gergelim é uma cultura tradicional, cultivada em cerca de 75 países da África, Ásia, América Central e América Latina. Por ter sido cultivado há muito tempo em regiões tropicais e subtropicais, é altamente tolerante a ambientes de elevada temperatura e seca (Zhang et al., 2019a).

Alguns países produtores de gergelim se destacam com base na área colhida, classificando-se em 1º - Sudão (2.134.860 ha), 2º - Índia (1.900.000 ha), 3º - Mianmar (1.495.250 ha), 4º - Tanzânia (900.000 ha) e 5º - Sudão do Sul (611.644 ha) (Zhang et al., 2019b). No entanto, a Tanzânia foi o principal produtor, com uma produção total de gergelim de 800 mil toneladas, seguida por Mianmar (760 mil toneladas) e Índia (750 mil toneladas) (FAO, 2021). A China foi o país com o maior rendimento unitário por área de gergelim de 1056,9 kg ha⁻¹. No entanto, a produtividade média do gergelim mundial é de 577,9 kg ha⁻¹ (Zhang et al., 2019a). Em 2020, a área total colhida de gergelim no mundo foi de 13,9 milhões de hectares, com uma produção anual de 6,8 milhões de toneladas e produtividade de 470 kg ha⁻¹. África e Ásia respondem por 95,9% dessa produção total (FAO, 2023). No Brasil, o gergelim conta com números modestos de produção em relação a outras culturas, como a soja e algodão, que são as principais oleaginosas produzidas nacionalmente.

A safra nacional de 2022/2023 de gergelim atingiu o maior patamar dos últimos cinco anos, com área total de produção estimada em 361,2 mil ha⁻¹, produção de 174,2 mil toneladas e produtividade média nacional em cerca de 482 kg ha⁻¹. Neste ano, os principais produtores nacionais foram os estados de Mato Grosso (maior produtor), Pará e Tocantins. A produção no Nordeste é consideravelmente menor, com números menos expressivos, tendo áreas cultivadas nos estados do Ceará, Piauí, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Bahia. A exploração nessa região ainda permanece, em grande parte, em âmbito de subsistência com poucos excedentes comercializáveis (EMBRAPA, 2013; CONAB, 2023b).

3 TOLERÂNCIA E PRODUÇÃO BIOSALINA DE OLEAGINOSAS

3.1 Algodão

A tolerância e/ou sensibilidade das espécies agrícolas ao estresse salino tem variação conforme diversos fatores, sendo os principais: espécie, cultivar, natureza catiônica e/ou aniônica da água, intensidade e duração do estresse, manejo da irrigação, bem como, condições edafoclimáticas da região (Bezerra et al., 2018; Pinheiro et al., 2022). Cada material vegetal possui seu limite de tolerância, denominado salinidade limiar, acima do qual o seu rendimento é reduzido com o incremento da salinidade do solo ou da água de irrigação.

Conforme a literatura internacional, tradicionalmente, a cultura do algodão de fibra branca (*Gossypium hirsutum* L.) é classificada como tolerante à salinidade, com valores de salinidade limiar de 5,1 e 7,7 dS m⁻¹ para a condutividade elétrica da água e do extrato de saturação do solo, respectivamente (Maas & Hoffman, 1977; Ayers & Westcot, 1985), com decréscimos no rendimento de 10, 25, 50 e 100% quando a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo é de 9,6, 13,0, 17,0 e 27,0 dS m⁻¹, respectivamente (Doorenbos & Kassam, 1994).

Nesse contexto, a cultura do algodão se sobressai como uma das espécies capazes de produzir em concentrações de sais solúveis bem acima da suportada pela maioria das espécies cultivadas (Pereira et al., 2012), sendo, portanto, de grande importância para a agricultura no semiárido brasileiro. Estudos realizado por Jacomé et al. (2003), com diferentes genótipos de algodão (CNPA Precoce 1, CNPA Precoce 2, CNPA 7H, CNPA Acala 93/15 e Embrapa 113-Algodão. 7MH) irrigados com águas de irrigação de cinco valores de condutividade elétrica (2,0; 4,0; 6,0; 8,0 e 10,0 dS m⁻¹), detectaram que o genótipo CNPA 7H foi o mais tolerante, seguido pelo Embrapa 113-Algodão 7MH, CNPA Acala 93/15 e CNPA Precoce 1 (Tabela 1).

Tabela 1. Média do peso de plumas/planta (g) no final do experimento de genótipos de algodoeiro, em função de diferentes níveis de salinidade (N1=2,0; N2=4,0; N3=6,0; N4=8,0 e N5=10,0 dS m⁻¹) da água de irrigação.

Genótipo	Peso de pluma				
	Nível de sais/condutividade elétrica (dS m ⁻¹)				
	N1/2	N2/4	N3/6	N4/8	N5/10
CNPA Precoce 1	34,30a	32,57a	25,90a	19,83a	12,40a
CNPA Precoce 2	33,30a	26,90a	22,10a	19,50a	13,20a
CNPA 7H	33,20a	28,43a	24,00a	18,37a	14,03a
CNPA Ac 93/15	28,43a	27,40a	24,00a	19,37a	15,03a
Embrapa 113-AL.7MH	32,57a	29,87a	23,00a	21,07a	16,50a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem, estatisticamente, entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0.05$).

Fonte: Jacomé et al. (2003) (Adaptado)

Apesar de apresentar elevada tolerância ao estresse salino, aspectos como a variabilidade genética existente na espécie, o tempo de exposição ao estresse e a estratégia de manejo, podem influenciar a tolerância à salinidade do algodoeiro, havendo dessa forma, distinção na

tolerância entre genótipos desta espécie (Abdelraheem et al., 2019). Soares et al. (2021) investigaram os componentes de produção de três genótipos de algodão colorido ('BRS Rubi', 'BRS Topázio' e 'BRS Safira'), submetidos a diversas estratégias de manejo de irrigação, variando os estágios de desenvolvimento o uso de água salina na cultura do algodão em condições de vasos. Os autores verificaram que a cultivar de algodão 'BRS Rubi' apresentou maior tolerância à salinidade durante as fases de floração e formação de rendimento, obtendo aumento no peso e na qualidade da fibra. Estudo realizado por Marcelino et al. (2021) com dois métodos multivariados adotados para classificar genótipos de algodoeiro tolerantes ao sal com base no crescimento e nas características fisiológicas, observaram que as cultivares BRS Seridó, BRS 286, FMT 705 e BRS Rubi se mostraram tolerantes ao estresse salino imposto às plantas.

O primeiro órgão vegetal a perceber os efeitos do estresse salino é a raiz, sendo que níveis moderados de salinidade aumentam o crescimento das raízes e a espessura das folhas em plantas de algodão (Ashraf & Ahmad, 2000), possivelmente, é uma estratégia específica de adaptação às condições estressantes proporcionadas pelos efeitos deletérios dos sais. É nas raízes que se inicia o controle do fluxo iônico, o qual pode reduzir o transporte e acúmulo de íons na planta. Esse controle é considerado um mecanismo de tolerância adotado por muitas glicófitas (Wang et al., 2017).

Em ambientes salinos prevalece o influxo de Na^+ em vias que normalmente funcionam para influxo de K^+ , desta forma, ocorre um desbalanceamento na relação Na^+/K^+ e aumento na concentração de Na^+ nas raízes, resultando em desequilíbrio iônico e toxicidade (Munns & Tester, 2008). Assim, as plantas tolerantes ao estresse salino desenvolvem estratégias para manter o equilíbrio entre Na^+ e K^+ , reduzindo a entrada de Na^+ pelas raízes, transportando o Na^+ do citosol para os vacúolos e aumentando o efluxo de Na^+ das células radiculares (Keisham et al., 2018). Um dos critérios para planta ou uma cultivar/variedade de algodão ser considerada tolerante ao estresse salino é manter altas proporções $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ e K^+/Na^+ nas raízes (Maryum et al., 2022).

Outro mecanismo de tolerância ao estresse salino envolve a síntese e acúmulo de solutos orgânicos, conhecidos como osmoprotetores ou solutos compatíveis. A produção desses solutos compatíveis por cultivares de algodão pode contribuir para aumentar a tolerância e possibilitar o cultivo em ambientes salinos. Guo et al. (2020) estudaram o crescimento, homeostase iônica e respostas fisiológicas do algodão sob diferentes estresses salinos e alcalinos e verificaram que o conteúdo de prolina foi maior sob estresse alcalino do que sob estresse salino, o que sugeriu que a prolina desempenhou um papel mais importante na tolerância ao estresse alcalino.

Além das estratégias morfológicas, controle do fluxo iônico e acúmulo de solutos orgânicos, há outros mecanismos pelos quais as plantas podem desenvolver tolerância ao estresse salino. Vários estudos indicaram que cultivares ou variedades de algodão tolerantes ao estresse salino desenvolvem sistemas antioxidantes, enzimáticas ou não enzimáticas (Meloni et al., 2003). O complexo de enzimas antioxidantes trabalha em conjunto para proteger as células das plantas contra potenciais efeitos citotóxicos, contribuindo para a eliminação do excesso de espécies reativas de oxigênio (Garratt et al., 2002; Sofó et al., 2015).

A maioria das variedades de algodão foi criada sob condições de crescimento ideais, resultando na redução involuntária da diversidade genética disponível para seleção de tolerância (Zhang et al., 2014; Abdelraheem et al., 2019). No entanto, Abdelraheem et al. (2016) examinaram 367 acessos de algodão herbáceo quanto à tolerância ao estresse salino em ambiente protegido e identificaram 45 acessos tolerantes à salinidade. É importante frisar que os mecanismos que a cultura do algodão utiliza para exibir tolerância ao estresse salino parecem estar interligados e podem ter elementos genéticos sobrepostos. No entanto, as bases genéticas para essa tolerância não são totalmente compreendidas devido à complexidade das condições do estresse e às dificuldades na fenotipagem, que são influenciadas por múltiplos genes e por fatores ambientais (Abdelraheem et al., 2019).

Na região Nordeste do Brasil, o algodão é uma oleaginosa promissora para a produção da agricultura biosalina, pela sua tolerância aos sais e por ter grande representatividade, tanto do ponto de vista social quanto econômico (Queiroz & Büll, 2001). De acordo com Ashraf & Ahmad (2000), o desempenho da produção do algodoeiro sob condições salinas é geneticamente controlado e as variedades podem ser selecionadas para essas condições. Dessa forma, variedades que demonstrarem um número adequado de cápsulas, tamanho de cápsulas, rendimento e qualidade da fibra em ambientes salinos podem ser consideradas viáveis para o cultivo em tais condições. Essas características são valorizadas pela indústria (Soares et al., 2018; Ahmed et al., 2020).

Conforme Rhoades et al. (2000), a produção de algodão não é afetada quando se irriga com água salina (6.000 mg L^{-1} de sais dissolvidos) nas fases do ciclo da planta que sejam tolerantes à salinidade e, com água de melhor qualidade (300 mg L^{-1} de sais dissolvidos), nas fases susceptíveis, principalmente as fases de germinação e estabelecimento da cultura.

Em condições de campo, Wang et al. (2018) analisaram variáveis de sodicidade do solo cultivado com algodão e detectaram que todos os componentes de rendimento aumentaram à medida que a RAS diminuiu, exceto a taxa de germinação e o rendimento de fibra. Com finalidade de analisar a qualidade da fibra do algodoeiro BRS verde irrigado com águas de diferentes níveis salinos, Paiva et al. (2016) observaram que houve efeito da salinidade da água de irrigação sobre a qualidade de fibra do algodão BRS verde, com exceção da variável alongamento à ruptura e destacaram a viabilidade do uso de água salina ao longo de todo o ciclo.

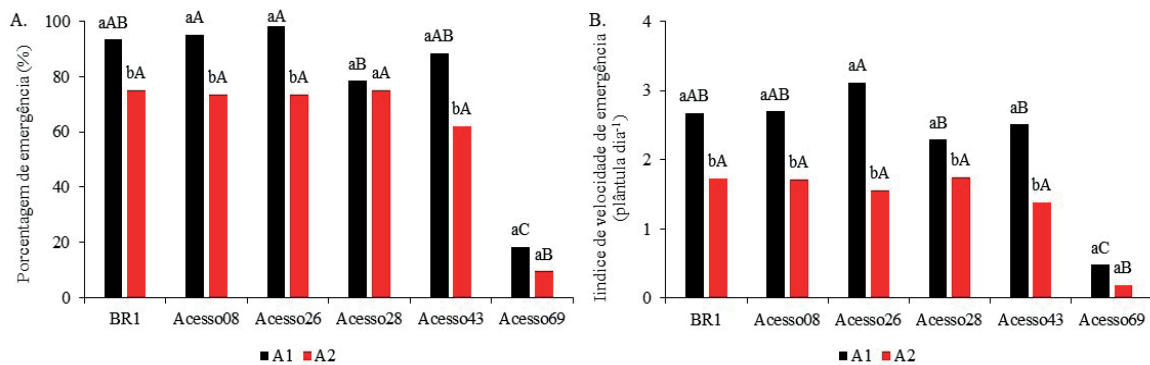
Chen et al. (2020) investigaram o efeito da irrigação com água salobra no rendimento de pluma e produtividade do algodão híbrido Xinluzhong 35, em três ciclos de cultivo (2013, 2014 e 2015). Ao final do estudo, os autores constataram que a água salobra reduziu o rendimento da pluma em 23,0, 12,3 e 15,7% para cada ano consecutivo.

3.2 Amendoim

O amendoim é uma das espécies oleaginosas mais cultivadas no mundo todo, tendo como origem a América do Sul, e apresenta bom desenvolvimento nos mais diversos ambientes. Esta cultura é classificada como moderadamente tolerante aos sais, apresentando salinidade

limiar de $3,2 \text{ dS m}^{-1}$, considerando-se a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes), porém com uma queda brusca no rendimento em valores superiores ao valor de salinidade limiar (Maas, 1986). Considerando-se a relação $\text{CEes} = 1,5 \times \text{CEa}$, temos que a salinidade limiar da água de irrigação para o amendoim seria de $2,1 \text{ dS m}^{-1}$. Os dados da Figura 2A mostram redução na porcentagem da emergência e índice de velocidade de emergência (2B) da cultura no tratamento salino, embora essa resposta tenha sido variável conforme o genótipo testado (Saraiva, 2020).

Figura 2. Porcentagem de emergência (A) e índice de velocidade de emergência (B) de acessos de amendoim submetidos à irrigação com água salobra ($A1 = 0,5$ e $A2 = 5,0 \text{ dS m}^{-1}$). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre água para o mesmo acesso e minúscula entre acessos na mesma água, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey no nível de probabilidade de 0,05. Fonte: Saraiva, S. E. L. (arquivo pessoal)



Do ponto de vista fisiológico, sabe-se que diversos mecanismos e técnicas são estudados a fim de que sejam identificados os principais fatores que levam a cultura a desenvolver e/ou melhorar a tolerância à salinidade, independente da fase fenológica que se encontra. Dentre as principais metodologias que vem sendo estudadas e que auxiliam a cultura do amendoim na promoção da tolerância ao estresse salino, destacam-se: a indução de genes que expressem tolerância (Sun et al., 2013; Zhu et al., 2021), a inoculação de microrganismos associativos como fungos micorrízicos arbusculares (Liu et al., 2023), a aplicação externa de fontes de nutrientes essenciais e de insumos orgânicos a fim de se verificar o comportamento entre genótipos diferentes de amendoim (Alves et al., 2022; Sousa et al., 2023a; Sousa et al., 2023b).

Notoriamente, a descoberta de genes que induzem tolerância na cultura do amendoim em variedades transgênicas serve como arcabouço para que demais pesquisas sejam realizadas no intuito de melhor descrever o comportamento genético da cultura. Diversos estudos vêm sendo empregados nesse aspecto, detectando que determinados genes contribuem positivamente com o amendoim para que consiga tolerar o efeito deletério dos sais, especialmente os relacionados a fatores de transcrição (Zhu et al., 2021) e codificação de antiportador sódio/próton (Sun et al., 2013). Esses genes atuam na produção de aminoácidos responsáveis pelo aumento da tolerância aos sais e pela redução da concentração de Na^+ do meio citoplasmático e seu sequestro no meio vacuolar.

Outra estratégia que vem sendo amplamente empregada e discutida no meio científico diz respeito ao uso de microrganismos como promotores de tolerância do amendoim ao estresse salino, destacando-se dentre eles os microrganismos do gênero *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*, as rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (PGPR) e os fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Esses microrganismos contribuem de maneira significativa para a tolerância ao estresse provocado pelos sais por meio de associações benéficas com as plantas de amendoim, destacando-se que os FMA (especialmente de forma co-inoculada com outros microrganismos associativos) atuam diretamente na regulação e proteção do fotossistema e do sistema redox, na regulação do ajuste osmótico nas raízes, no crescimento, na produção de biomassa e na produtividade (Liu et al., 2023; Si et al., 2023).

A tolerância à salinidade do amendoimzeiro também sofre influência positiva de alguns insumos orgânicos que são aplicados, dentre eles, destacam-se os biofertilizantes e “coquetéis” de microrganismos associativos. Quando do uso dos biofertilizantes, a maior oferta nutricional proporciona um aporte e regulação osmótica favoráveis para a cultura, o que estimula positivamente os sítios de absorção e acúmulo de elementos essenciais, melhorando seu desempenho agrônômico (Sousa et al., 2023b). Vale salientar que os biofertilizantes possuem certo caráter salino, o que demonstra que a cultura do amendoim consegue se adequar às condições impostas na zona radicular.

Além do uso de insumos orgânicos ou microrganismos como estimulante da tolerância das plantas de amendoim à salinidade, outras substâncias podem ser empregadas com esse intuito, como o ácido ascórbico via foliar, que tem demonstrado eficiência no aumento da tolerância do amendoimzeiro ao sal, especialmente pela expressão de enzimas antioxidantes como SOD, CAT, APX, GSH-Px e GR e pela redução no conteúdo celular de Na^+ no tecido vegetal (Alves et al., 2022). Juntamente a este estresse oxidativo, a deficiência nutricional pode desempenhar grande importância no desenvolvimento do amendoimzeiro, relacionando-se especialmente pela baixa absorção e acúmulo de elementos essenciais, como cálcio, potássio e fósforo. Por isso, suprir a demanda da cultura com estes elementos torna-se vital para a tolerância à salinidade. Shi et al. (2018) afirmam que uma adequada oferta de cálcio para plantas de amendoim pode favorecer uma significativa absorção e acumulação de N, P e K mesmo sob estresse salino.

A cultura do amendoim aparece como promissora para a agricultura bioessalina, conforme demonstrado em experimento de campo nas condições edafoclimáticas da região semiárida brasileira, mas precisamente no estado do Ceará. Estudo realizado por Goes et al. (2021b) obteve produtividade média de, aproximadamente, 2.500 kg ha^{-1} quando irrigado com água de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ no turno de rega de dois dias, no período de julho a outubro de 2019. Entretanto, mesmo com redução de 16,7% na produtividade, os valores obtidos sob condições salinas foram satisfatórios e superiores à produtividade estadual, que alcançou valor médio de 1.275 kg ha^{-1} no ano de 2020 no Ceará.

Sousa et al. (2023a), também sob condições edafoclimáticas da região semiárida, obtiveram produtividade de $1.431,87 \text{ kg ha}^{-1}$, com a utilização de água salobra de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ via irrigação por gotejamento no período de agosto a novembro de 2021. A pesquisa gerou incremento de

23,5% em comparação com a produtividade média estadual de 1.158 kg ha⁻¹ para o ano de 2022, como demonstra a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2022).

Cruz et al. (2021), avaliando o efeito do uso de águas salobras e da irrigação por gotejamento pulsado e contínuo sobre a produção de grãos e características produtivas do amendoim, nas condições edafoclimáticas de Recife, Pernambuco, constataram que houve produtividade significativa com o uso de água com 5,2 dS m⁻¹.

Embora os valores de tolerância segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) seja de 2,1 dS m⁻¹ da água de irrigação, os estudos supracitados enfatizam que a cultura do amendoim consegue se desenvolver e produzir de forma satisfatória com valores mais altos que os indicados. Os fatores genéticos, nesse caso, são os maiores responsáveis, pois a capacidade osmótica de uma planta pode ser superior em comparação com outras, o que irá favorecer o processo de absorção da água mesmo em condições limitantes, sendo um exemplo de atributo repassado entre gerações (Ayers & Westcot, 1985; Alian et al., 2000).

3.3 Gergelim

O gergelim tem boa adaptação a climas tropicais e à baixa demanda hídrica, tornando-se uma alternativa de cultivo para regiões áridas e semiáridas (Antoniassi et al., 2013), onde sua produção vem crescendo, e se expondo à salinidade e à escassez hídrica (Hamedani et al., 2022). O cultivo do gergelim é realizado, principalmente, em áreas tropicais e subtropicais (Wei et al., 2019).

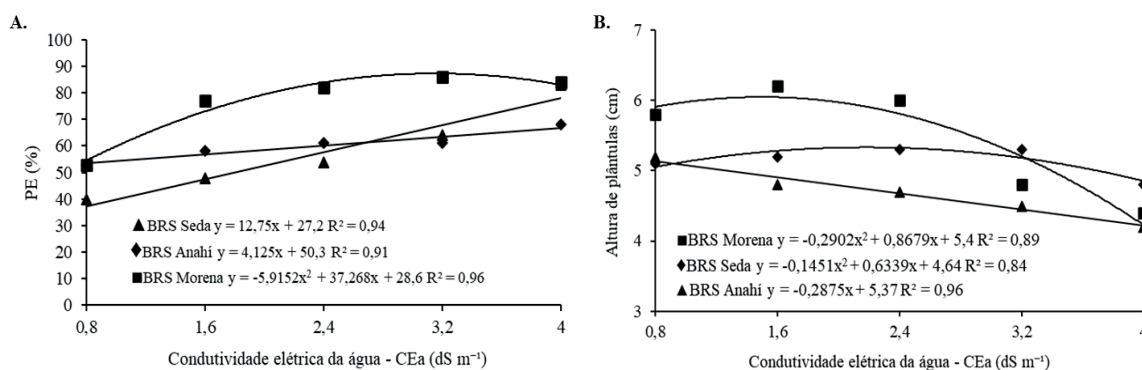
Conforme definido por Rhoades et al. (2000), o gergelim é classificado como cultura sensível ao estresse salino, e sua produção e qualidade sofrem interferência negativa do estresse salino, como também da seca e de outros fatores ambientais (Dossa et al., 2017; Li et al., 2018). No entanto, os efeitos da salinidade são potencializados a depender das condições edafoclimáticas, intensidade da luz e genótipo (Tang et al., 2015).

Priyadharshini et al. (2018) avaliaram dez genótipos de gergelim sob estresse salino sendo eles: CO1, SVR1, SVPR1, VRI-1, VRI-2, TMV-3, TMV-4, TMV-5, TMV-6 e TMV-7, utilizando cinco níveis de salinidade, expressos pela condutividade elétrica da água (EC1=1,0; EC2=2,0; EC3=3,0; EC4=4,0 e EC5=5,0 dS m⁻¹), e registraram que todas as variáveis avaliadas foram reduzidas com os níveis crescentes de salinidade. As variedades CO1 e TMV-4 tiveram melhores desempenhos em comparação com as demais, sob circunstâncias de salinidade. Esse resultado nos mostra a existência de genótipos que podem ser consideradas com melhor adaptação às condições de salinidade do ambiente.

Na Figura 3, é possível observar a resposta de três cultivares de gergelim (BRS Seda, BRS Anahí e BRS Morena), desenvolvidas pela Embrapa Algodão (Campina Grande, PB) sob níveis crescentes de condutividade elétrica da água de irrigação (0,8, 1,6, 2,4, 3,2 e 4,0 dS m⁻¹), no município de Redenção-CE, na região do Maciço de Baturité, cujo clima da área é classificado como semiárido tropical. Nota-se que as cultivares responderam de maneira distinta ao aumento salinidade, com destaque para a cultura BRS Morena que, de acordo

com o desdobramento da equação, apresentou maior porcentagem de emergência (87, 30%) com água de 3,15 dS m⁻¹ e altura superior (6,04 cm) de 1,49 dS m⁻¹.

Figura 3. Porcentagem de emergência (A) e altura de plântulas (B) de cultivares de gergelim sob estresse salino aos 15 DAS no município de Redenção-CE. Fonte: Sousa G. G (Informações pessoais não publicadas)



Dias et al. (2019), cultivando gergelim sob cinco níveis de condutividade elétrica da água (0,6, 1,2, 1,8, 2,4 e 3,0 dS m⁻¹), observaram que o aumento da salinidade afetou as trocas gasosas e, conseqüentemente, o desenvolvimento da cultivar BRS G4, aos 50 dias após a semeadura. Devido a sua sensibilidade, ao ser irrigado com água a partir de 1,2 dS m⁻¹, o gergelim inicia os sintomas deletérios (redução da área foliar, número de folhas, altura de plantas, diâmetro do caule) devido a presença de sais na água de irrigação. Segundo Ebrahimian et al. (2023), os estágios que apresentam maior sensibilidade ao estresse salino, são os estágios pré-reprodutivos e de floração, onde a produção e a qualidade das sementes são afetadas devido a presença da salinidade.

Zhang et al. (2019c) utilizaram dois genótipos contrastantes, WZM3063 que é tolerante à salinidade e ZZM4028 que é sensível à salinidade, para decodificar e compreender as respostas adaptativas do gergelim ao estresse salino com base em caracterizações morfológicas, do transcriptoma e do metaboloma. Para isso, realizaram uma caracterização fenotípica, fizeram o isolamento total de RNA, a análise de transcriptoma e a quantificação de metabólitos. Nos resultados morfológicos, o genótipo tolerante ao sal apresentou maiores taxas de germinação, maior percentual de sobrevivência e maior crescimento. Genes responsivos à salinidade foram manifestados na análise do transcriptoma e maior acúmulo de metabólitos relacionados à salinidade foram observados no perfil do metaboloma.

Vários acessos de gergelim (EW-01, Acc-205-191, Acc-ew-018 (1), Acc-ew-018 (1) e Acc-205-184) passaram por uma triagem (durante as fases de germinação, plântula e reprodutiva) como forma de verificar a tolerância ao estresse salino em diferentes estágios de desenvolvimento. Os resultados indicaram diferenças na tolerância à salinidade entre os acessos, sendo que EW-01, Acc-205-191, Acc-ew-018 (1), Acc-ew-018 (1) e Acc-205-184 apresentaram maiores rendimentos em comparação à média de todos os acessos (Mamo et al., 2021).

O modo mais eficiente para a prevenção na redução de rendimento de produção é desenvolver variedades mais tolerantes ao sal e com alto rendimento (Zhang, 2019d). Visto que a

variação de respostas do gergelim à salinidade depende de fatores genéticos, a compreensão e identificação desses componentes genéticos contribuiria na evolução do melhoramento relacionado à salinidade desta cultura (Dossa et al., 2017).

A classificação morfológica mais comum para o gergelim é a cor da semente, uma vez que apresenta ampla variedade de cores, que vão do branco ao preto, incluindo muitos tons intermediários, como vermelho e marrom (Cui et al., 2021). A cor da semente tem sido reconhecida como a característica morfológica mais importante no gergelim, uma vez que está associada a vários fatores nutricionais, como atividade antioxidante, bem como resistência a doenças (Zhang et al., 2013). Pesquisas anteriores estudaram o efeito da salinidade no gergelim com diferentes cores de semente (amarelo, marrom, branco e preto) (Harfi et al., 2016), mas elas não foram conclusivas em níveis satisfatórios, deixando incerto o efeito do estresse salino entre cultivares com relação a variáveis de produção.

Estudo desenvolvido por Suassuna et al. (2019), em Campina Grande (PB, Brasil), buscou avaliar os efeitos da salinidade em plantas de gergelim em diferentes estágios de desenvolvimento, a fim de identificar os genótipos que melhor se adaptam a esse fator de estresse abiótico. Foram utilizados dois genótipos de gergelim de semente branca, a variedade BRS Seda e a cepa LAG-927561 (Branquinha) - e uma cepa de semente preta LAG-26514 (Pretinha). Três experimentos foram realizados em casa de vegetação. Constatou-se que a salinidade da água de irrigação não interfere na germinação e na velocidade de emergência dos três genótipos de gergelim, mas afeta o crescimento das plântulas independente do genótipo. Os autores concluíram que o crescimento dos genótipos BRS Seda, LAG-927561 (Branquinha) e LAG-26514 (Pretinha) foi mais afetado quando o estresse salino foi aplicado na fase vegetativa, em comparação com a fase de floração/frutificação. Os autores ainda relataram que a produção de grãos de gergelim é o componente de produção mais inibido quando o estresse salino é aplicado tanto na fase vegetativa quanto na produção, e que as cepas LAG-927561 e LAG-26514 são promissoras para estudos de adaptação ao estresse salino.

O gergelim tem seu cultivo em áreas de clima semiárido, sendo considerado tolerante às condições de baixa oferta hídrica, característica intrínseca dessas regiões (Myint et al., 2020). Contudo, é notável a discrepância entre sistemas de produção sob restrição hídrica para aqueles sob irrigação plena. Assim, nas últimas décadas, estudos têm sido realizados no intuito de avaliar o potencial de produção da cultura do gergelim quando submetida a oferta hídrica de águas salobras, com o objetivo de superar as limitações relacionadas ao déficit hídrico (Islam et al., 2016; Chugh et al., 2022) e proporcionar sua inserção de forma positiva para a produção bioassalina.

Alguns resultados já obtidos têm demonstrado que o uso estratégico e sazonal de águas salobras pode garantir o sucesso do cultivo do gergelim. Avaliando a produção de gergelim na região do sul do continente Asiático, Myint et al. (2020) descreveram que o cultivo do gergelim no território de Myanmar, é extremamente afetado em áreas com problemas relacionados a alta concentração de sais (CaCl_2 e NaCl). Esses autores ainda ressaltam que a produtividade de grãos, bem como o rendimento e a qualidade do óleo diminuem, dependendo dos genótipos e da intensidade do estresse salino que a cultura é submetida.

Estudo realizado por Bunphan et al. (2023), sobre as características produtivas de seis cultivares de gergelim preto (KU18, CM07, K KU2, UB3, Kanchanaburi e Buriram) em solo salino de baixa fertilidade na Tailândia, demonstrou que embora os solos salinos tenham afetado significativamente o rendimento, a resposta das cultivares variou, sugerindo assim que existe variação do nível de tolerância entre cultivares. Além disso, os autores ainda reportaram que o índice de colheita não foi significativamente diferente entre o tratamento controle e o solo salino.

Buscando ampliar e diversificar a produção bioassalina, Li et al. (2018) utilizaram um painel de diversidade composto por 490 acessos de gergelim (*Sesamum indicum* L.) para realizar uma análise em larga escala do genoma, relacionada aos índices de tolerância ao estresse induzido por cloreto de sódio, com o objetivo de compreender as variantes genéticas resultantes em relação à tolerância à salinidade no estágio de germinação. Os autores também identificaram um total de 13 e 27 genes candidatos potenciais para os índices de tolerância à seca e salinidade, respectivamente. Esses genes codificam fatores de transcrição, osmoprotetores e enzimas antioxidantes, e estão associados à transdução de sinal, biossíntese de hormônios ou sequestro de íons, que também foram relatados para o índice de tolerância à salinidade.

A produção bioassalina de gergelim representa um avanço significativo na agricultura, principalmente em regiões áridas e semiáridas e na busca por soluções que atendam às demandas crescentes de regiões nesse contexto. No entanto, é fundamental enfatizar a importância da pesquisa contínua e da disseminação do conhecimento para otimizar tal prática.

4 ESTRATÉGIAS DE USO DE ÁGUAS SALOBRAS EM OLEAGINOSAS

A redução de recursos hídricos de água de boa qualidade e condições climáticas adversas em regiões semiáridas como o Nordeste brasileiro, provoca a utilização de águas com elevada condutividade elétrica, que vêm se tornando, em muitos casos, essencial para a garantia da produção agrícola. No entanto, pode favorecer o acúmulo de íons tóxicos (Na^+ e Cl^-) na solução do solo que acarretam efeitos adversos significativos no desempenho produtivo (Minhas et al., 2020; Goes et al., 2021b). Entretanto, a compreensão sobre a sensibilidade das espécies à salinidade é uma ferramenta muito importante para o uso de fontes de água conforme a sua qualidade, possibilitando o manejo das águas salinas na agricultura, tendo em vista que as plantas apresentam mais tolerância em determinados períodos de desenvolvimento (Dias et al., 2016).

Em áreas irrigadas, a salinidade se torna um problema comum e ocorre quando há um aumento excessivo de sais na camada superior do solo, o que pode dificultar a absorção de água e nutrientes pelas raízes das plantas. Por isso, o uso destas águas na irrigação para a produção vegetal, representa um desafio que tem sido superado em várias regiões do mundo, mediante a utilização de espécies tolerantes e à aplicação adequada de técnicas e estratégias de manejo nos cultivos (Wang et al., 2017; Sousa et al., 2023a).

Diante de todos esses desafios enfrentados e das limitações que o uso de água salobra apresenta para a agricultura em diversos aspectos, será que é possível produzir oleaginosas de forma satisfatória nessas regiões? A resposta é sim, porém, com ressalvas. Para garantir um abastecimento contínuo de oleaginosas, é essencial explorar estratégias adequadas às culturas e sustentáveis. O uso de estratégias para o cultivo vai além de garantir a sobrevivência da planta, elas oferecem a oportunidade de melhorar a produção. Para se utilizar água salobra no cultivo de oleaginosas e ter sucesso, o primeiro passo é identificar espécies ou variedades que possuam certa tolerância à salinidade (Singh et al., 2008). Porém, a associação de mais de uma estratégia também contribui para aumentar a eficiência do uso de águas salobras.

Sousa et al. (2021), investigando o uso de adubação organomineral na cultura do amendoim, concluíram que adubação orgânica com biofertilizante bovino atenua o estresse salino e aumenta a eficiência no uso da água aos 40 dias após a semeadura, além de mitigar a temperatura foliar e favorecer o maior teor relativo de clorofila. Já Guilherme et al. (2021), utilizando a adubação fosfatada de forma isolada, constataram que o uso de água de maior salinidade na fase de frutificação e formação de vagem associada a adubação de 100% da dose recomendada de fósforo ($6,2 \text{ g vaso}^{-1}$) proporcionaram maior produtividade.

Em relação ao cultivo de algodão, existe a utilização de plantas transgênicas que superexpressam muitos dos genes relacionados à tolerância ao estresse salino, constituindo uma estratégia relevante para enfrentamento do problema (Ullah et al., 2017; Wang et al., 2017). Por exemplo, o algodão transgênico com expressão de uma H^+ -PPase melhorou a tolerância à salinidade e promoveu maior crescimento da cultura cultivada sob condições de estresse salino.

Outra estratégia possível para a cultura do algodão seria a utilização da irrigação com água salobra nas fases em que a cultura seja mais tolerante. Por exemplo, a fase de floração e desenvolvimento de capsulas é a mais sensível, pois nesta fase as necessidades hídricas e nutricionais aumentam a uma taxa exponencial (Maryum et al., 2022). Desta forma, nesta fase, a planta está mais suscetível aos estresses ambientais. Já na fase de maturação, a salinidade não causa danos a produção.

Considerada uma oleaginosa de interesse para regiões áridas e semiáridas, o gergelim, é uma cultura que apresenta boa adaptação às condições climáticas, porém apresenta rendimento limitado pela salinidade do solo e da água por ser considerada uma cultura sensível ao estresse (Nóbrega et al., 2018; Zhang et al., 2019a). Para essa cultura, Cordão et al. (2020) descreveram que é possível produzir desde que respeite o limiar da cultura. Os autores, trabalharam com plântulas de gergelim cultivar BRS Seda, submetidas a diferentes níveis salinos. Constataram que, na fase de germinação, ela possui capacidade de suportar estresse salino de até $1,8 \text{ dS m}^{-1}$, porém, na fase seguinte de crescimento, concentrações superiores a $1,2 \text{ dS m}^{-1}$ já reduzem de forma significativa o estabelecimento da cultivar. Já Silva et al. (2021), pesquisando as respostas fisiológicas e acúmulo de fitomassa em genótipos de gergelim (BRS Seda e BRS Anahí), concluíram que o estresse salino durante a fase vegetativa/floração são as que mais afetam o desempenho da cultura em acúmulo de fitomassa.

A mistura de águas é mais uma estratégia de uso acessível, e consiste no manejo de águas de concentração salina elevada com uma fonte de baixa salinidade. Pode ser uma alternativa de melhorar a qualidade e aumentar a disponibilidade de água nessas regiões de escassez. Alternativamente, também é possível fazer uso cíclico de fontes de água com as concentrações diferentes. É uma alternativa que tende a reduzir os efeitos deletérios, principalmente na superfície do solo e sobre a planta. A limitação deste tipo de manejo é que só é viável se o produtor tiver mais de uma fonte disponível de água (Lacerda et al., 2016).

Outra estratégia que pode ter um custo relativamente baixo é o uso de insumos orgânicos como esterco e biofertilizantes. Pesquisas mostram que é possível reduzir o estresse salino e minimizar os efeitos nocivos que a salinidade causa sobre as plantas. Sousa et al. (2017), estudando o efeito do uso de águas de irrigação de diferentes níveis de salinidade na cultura do gergelim, em solo adubado com biofertilizante bovino, constataram que a presença do insumo atenuou o efeito deletério dos sais sobre o crescimento e biomassa da cultura.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em decorrência dos impactos ocasionados pela salinidade na produção das culturas, torna-se necessário estudos de medidas de convivência com esse fator limitante, para que o potencial de produção não seja afetado de forma significativa. Além disso, a tolerância à salinidade é uma característica fisiologicamente complexa, assim, uma abordagem integrada que incorpore a modificação genética e biotecnológica das cultivares existentes é essencial para desenvolver genótipos para a produção biossalina.

Dentre as oleaginosas apresentadas nesse capítulo, destaca-se a cultura do algodão, devido a elevada tolerância e variabilidade genética demonstradas em vários estudos. As culturas do amendoim e do gergelim possuem menor capacidade de tolerar o estresse salino, mas podem ser cultivadas sob condições de moderada salinidade, quando associadas ao uso de estratégia de manejo da água e do solo. A utilização de estratégias individualizadas ou combinadas, incluindo genótipos tolerantes, uso de adubo orgânico ou químico, misturas de águas e técnicas de manejo do solo, pode mitigar os efeitos da salinidade e aumentar a produção biossalina das oleaginosas estudadas nesse capítulo.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP).

LITERATURA CITADA

- Abdelraheem, A.; Kuraparthi, V.; Zhang, J. Identification of drought and salt tolerant cotton germplasm and associated markers in the US upland germplasm pool. ASA-CSSA-SSSA Ann Meeting, Agronomy November, 2016, 9p.
- Abdelraheem, A.; Esmaceli, N.; O'Connell, M.; Zhang, J. Progress and perspective on drought and salt stress tolerance in cotton. *Industrial Crops and Products*, v. 130, 118-129, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.070>
- Ahmed, N.; Chaudhry, U. K.; Ali, M. A.; Ahmad, F.; Sarfraz, M.; Hussain, S. Salinity Tolerance in Cotton. In: Ahmad, S.; Hasanuzzaman, M. *Cotton Production and Uses*. Springer Singapore. 2020. Cap. 19, p.367-391.
- Alian, A.; Altman, A.; Heuer, B. Genotypic difference in salinity and water stress tolerance of fresh market tomato cultivars. *Plant Science*, v.152, p.59-65, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00220-4](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00220-4)
- Alves, R. C.; Oliveira, K. R.; Lúcio, J. C. B.; Silva, J. S.; Carrega, W. C.; Queiroz, S. F.; Gratão, P. L. Exogenous foliar ascorbic acid applications enhance salt-stress tolerance in peanut plants through increase in the activity of major antioxidant enzymes. *South African Journal of Botany*, v.150, p.759-767, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.08.007>
- Antoniassi, R.; Arriel, N. H. C.; Gonçalves, E. B.; Freitas, S. C. de; Zanotto, D. L.; Bizzo, H. R. Influência das condições de cultivo na composição da semente e do óleo de gergelim. *Revista Ceres*, v.60, p.301-310, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2013000300001>
- Ashraf, M.; Ahmad, S. Influence of sodium chloride on ion accumulation, yield components and fiber characteristics in salt-tolerant and salt-sensitive lines of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Field Crops Research*, v.66, p.115-127, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(00\)00064-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(00)00064-2)
- Ayres, R. S.; Westcot, D. W. *Water quality for agriculture*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1985. 108p. (FAO irrigation and drainage, paper 29).
- Bezerra, I. L.; Nobre, R. G.; Gheyi, H. R.; Souza, L. de P.; Pinheiro, F. W. A.; Lima, G. S. de. Morphophysiology of guava under saline water irrigation and nitrogen fertilization. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.22, p.32-37, 2018. <https://doi:10.1590/1807-1929/agriambi.v22n1p32-37>

- Bunphan, D.; Wanna, R.; Malambane, G. Performances of black seed sesame (*Sesamum indicum* L.) under low fertility saline soils. *Australian Journal Crop Science*, v.17, p.353-360, 2023. <https://doi.org/10.21475/ajcs.23.17.04.p3693>
- Chen, W.; Jin, M.; Ferré, T. P.; Liu, Y.; Huang, J.; Xian, Y. Soil conditions affect cotton root distribution and cotton yield under mulched drip irrigation. *Field Crops Research*, v.249 p.107743, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107743>
- Chugh, V.; Kaur, D.; Purwar, S.; Kaushik, P.; Sharma, V.; Kumar, H.; Rai, A.; Singh, C. M.; Kamaluddin.; Dubey, R. B. Applications of Molecular Markers for Developing Abiotic-Stress-Resilient Oilseed Crops. *Life*, v.13, p.1-24, 2022. <https://doi.org/10.3390/life13010088>
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: Décimo segundo levantamento, setembro 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=10>. Acesso em: Out. 2023.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Tabela de dados - Produção e balanço de oferta e demanda de grãos. 2023a Acesso em 24/10/2023. Disponível em < https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/49592_85274db284ccc0712c3a77e35f112b0d>
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Safra Brasileira de Grãos: Boletim de grãos 2022/2023. 2023b. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/40_828_0bad57072b38a160412f36392313de55. Acesso em: Out. 2023b.
- Cordão, M. A.; Sobrinho, T. G.; Brito, K. Q. D.; Tavares, A. J. F.; Nascimento, R. Plântulas de gergelim cv. BRS seda sob aplicação de água salinizada. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.15, p.319-324, 2020. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v9nsupp108-111>
- Cui, C.; Liu, Y.; Liu, Y.; Cui, X.; Sun, Z.; Du, Z.; Wu, K.; Jiang, X.; Mei, H.; Zheng, Y. Genome-wide association study of seed coat color in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Plos One*, v.16, p.1-14, 2021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251526>
- Cruz, R. I. F.; Silva, G. F. da; Silva, M. M.; Silva, A. H. S.; Santos Júnior, J. A.; Silva, E. F. de F. Productivity of irrigated peanut plants under pulse and continuous dripping irrigation with brackish water. *Revista Caatinga*, v.34, p.208-218, 2021. <https://doi.org/10.1590/1983-21252021v34n121rc>
- Dias, A. S.; Lima, G. S.; Pinheiro, F. W. A.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. A.; Nobre, R. G.; Souza, L. P.; Silva, S. S.; Oliveira, S. G. Gas exchanges and growth of sesame (*Sesamum indicum*

- L.) cultivated under saline waters and nitrogen-potassium fertilizers. *Australian Journal of Crop Science*. v.13, p.1526-1532, 2019. <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.09.p1794>
- Dias, N. S.; Blanco, F. F.; Souza, E. R.; Ferreira, J. F. S.; Sousa Neto, O. N.; Queiroz, I. S. R. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2016. p.149-162.
- Doorenbos, J.; Kassam, A. H. Yield response to water. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1979. (FAO irrigation and drainage, paper 33).
- Dossa, K.; Diouf, D.; Wang, L.; Wei, X.; Zhang, Y.; Niang, M.; Fonceka, D.; Yu, J.; Mmadi, M. A.; Yehouessi, L. W.; Liao, B.; Zhang, X.; Cisse, N. The emerging oilseed crop *Sesamum indicum* enters the “Omics” era. *Frontiers in Plant Science*. v.8, p.1-16, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01154>
- Ebrahimian, H.; Fujimaki, H.; Toderich, C. Parameterization of the response function of sesame to drought and salinity stresses. *Agriculture*. v.13, p.1-16, 2023. <https://doi.org/10.3390/agriculture13081516>
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Cultivo do gergelim. 2013 Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1155372/1/Cultivo-do-Gergelim.pdf>. Acesso em: Out. 2023
- FAO - Food and Agriculture Organization. FAOSTAT Crops. 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>. Acesso: Out. 2023.
- FAO. Global Map of Salt-Affected Soils; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2021; 20p. Available online: <https://www.fao.org/3/cb7247en/cb7247en.pdf> Acesso em: Jul. 2023.
- Fernandes, P. D.; Brito, M. E. B.; Gheyi, H. R.; Andrade, A. P. de; Medeiros, S. de S. Halofitismo e agricultura bioassalina. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 337-349.
- Garratt, L. C.; Janagoudar, B. S.; Lowe, K. C.; Anthony, P.; Power, J. B.; Davey, M. R. Salinity tolerance and antioxidant status in cotton cultures. *Free Radical Biology and Medicine*, v.33, p.502-511, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(02\)00838-9](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(02)00838-9)

- Goes, G. F.; Sousa, G. G.; Freire, M. H. C; Canjá, J. F.; Marcolino, F. C. Salt water irrigation in different cultivars of lima bean. *Revista Ciência Agronômica*, v.52, e20196945, 2021a. <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20210016>
- Goes, G. F.; Sousa, G. G.; Santos, S. O.; Silva Junior, F. B.; Ceita, E. A. R.; Leite, K. N. Produtividade da cultura do amendoim sob diferentes supressões da irrigação com água salina. *Irriga*, v. 26, p. 210-220, 2021b. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2021v26n2p210-220>
- Guilherme, J. M. da S.; Sousa, G. G. de; Santos, S. e O.; Gomes, K. R.; Viana, T. V. de A. Água Salina e Adubação Fosfatada na Cultura do Amendoim. *IRRIGA*, v.1, p.704-713, 2021. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2021v1n4p704-713>
- Guo, H.; Huang, Z.; Li, M.; Hou, Z. Growth, ionic homeostasis, and physiological responses of cotton under different salt and alkali stresses. *Scientific Reports*, v.10, p.21844, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79045-z>
- Hamedani, N. G.; Gholamhoseini, M.; Bazrafshan, F.; Habibzadeh, F.; Amiri, B. Yield, irrigation water productivity and nutrient uptake of arbuscular mycorrhiza inoculated sesame under drought stress conditions. *Agricultural Water Management*, v.266, p.1-9, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107569>
- Harfi, M. E.; Hanine, H.; Latrache, H.; Nabloussi, A. Effect of drought and salt stresses on germination and early seedling growth of different color-seeds of sesame (*Sesamum indicum*). *International Journal of Agriculture & Biology* v.18, p.1088-1094, 2016. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0145>
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção Agropecuária – Censo Agropecuário. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/pesquisa/24/76693>. Acesso em 12 out. 2023.
- Islam, F.; Gill, R. A.; Ali, B.; Farooq, M. A.; Xu, L.; Najeeb, U.; Zhou, W. Chapter 6 – Sesame. In: Gupta, S. K. *Breeding Oilseed Crops for Sustainable Production*. Londres: Elsevier, 2016. Cap.6, p.135-147.
- Jacomé, A. G.; Oliveira, R. H.; Fernandes, P. D.; Gonçalves, A. C. A. Comportamento produtivo de genótipos de algodão sob condições salinas. *Acta Scientiarum: Agronomy*, v.25, p.187-194, 2003.
- Jani, B. L.; Devani, B. M. Peanut protein: rich source as vegan protein. *Journal of Food Science and Nutrition*, v.6, p.059, 2020. <http://dx.doi.org/10.24966/FSN-1076/100059>

- Keisham, M.; Mukherjee, S.; Bhatla, S. C. Mechanisms of sodium transport in plants—progresses and challenges. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 19, p. 647, 2018. <https://doi.org/10.3390/ijms19030647>
- Khademian, R.; Asghari, B.; Sedaghati, B.; Yaghoobian, Y. Plant beneficial rhizospheric microorganisms (PBRMs) mitigate deleterious effects of salinity in sesame (*Sesamum indicum* L.): Physio-biochemical properties, fatty acids composition and secondary metabolites content. *Industrial Crops and Products*, v.136, p.129-139, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.002>
- Lacerda, C. F.; Costa, R. N. T.; Bezerra, M. A.; Neves, A. L. R.; Sousa, G. G.; Gheyi, H. R. Estratégias de manejo para uso de água salina na agricultura. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 337-349.
- Li, D.; Dossa, K.; Zhang, Y.; Wei, X.; Wang, L.; Zhang, Y.; Liu, A.; Zhou, R.; Zhang, X. GWAS uncovers differential genetic bases for drought and salt tolerances in sesame at the germination stage. *Genes*. v.9, p.1-19, 2018. <https://doi.org/10.3390/genes9020087>
- Liu, Y.; Lu, J.; Cui, L.; Tang, Z.; Ci, D.; Zou, X.; Zhang, X.; Yu, X.; Wang, Y.; Si, T. The multifaceted roles of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in peanut responses to salt, drought, and cold stress. *BMC Plant Biology*, v.23, 2023. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04053-w>.
- Maas, E. V. Salt tolerance of plants. *Applied Agriculture Research*, v.1, p.12-26, 1986.
- Maas, E. V.; Hoffman, G. J. Crop salt tolerance-current assessment. *Journal of Irrigation and Drainage Division of ASCE*, v.103, p.15-134, 1977.
- Mamo, L.; Bekele, T.; Nekir, B.; Worku, A. Screening of different sesame (*Sesamum indicum* L.) accessions for salt tolerance at different growth stages. *International Journal of Novel Research in Life Sciences*, v.8, p.21-27, 2021.
- Marcelino, A. D. A. L.; Fernandes, P. D.; Ramos, J. P. C.; Dutra, W. F.; Cavalcanti, J. J. V.; Santos, R. C. Multivariate classification of cotton cultivars tolerant to salt stress. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.26, p.266-273, 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n4p266-273>
- Maryum, Z.; Luqman, T.; Nadeem, S.; Khan, S. M. U. D.; Wang, B.; Ditta, A.; Khan, M. K. R. An overview of salinity stress, mechanism of salinity tolerance and strategies for its management in cotton. *Frontiers in Plant Science*, v.13, p.907937, 2022. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.907937>

- Meloni, D. A.; Oliva, M. A.; Martinez, C. A.; Cambraia J. Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress, *Environment Experimental Botany*, v.49, p.69-76, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(02\)00058-8](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(02)00058-8)
- Minhas, P. S.; Ramos, T. B.; Ben-Gal, A.; Pereira, L. S. Coping with salinity irrigated agriculture: Crop evapotranspiration and water management issues. *Agricultural Water Management*. v.227, p.105832, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105832>
- Munns, R.; Tester, M. Mechanism of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, v.59, p.651-681, 2008. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Myint, D.; Gilani, S. A.; Kawase, M.; Watanabe, K. N. Sustainable Sesame (*Sesamum indicum* L.) Production through Improved Technology: An Overview of Production, Challenges, and Opportunities in Myanmar. *Sustainability*, v.12, p.1-21, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12093515>
- Namiki, M. Nutraceutical functions of sesame: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v.47, p.651-673, 2007. <https://doi.org/10.1080/10408390600919114>
- Nóbrega, J. S.; Lopes, K. P.; Santos, J. B dos.; Paiva, F. J. da S.; Silva, J. G da.; Lima, G. S de. Quality of sesame seeds produced under soil salinity levels. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.48, p.280-286, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632018v4852615>
- Paiva, F. I. G.; Gurgel, M. T.; Oliveira, F. D. A. de; Costa, L. R.; Mota, A. F.; Oliveira Júnior, H. S. de. Qualidade da fibra do algodoeiro BRS verde irrigado com águas de diferentes níveis salinos. *Irriga*, v.1, p.209-209, 2016. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n1p209-220>
- Pereira, E. R. L.; Cruz, C. S. A.; Vilar, A. T.; Rocha, M. S.; Medeiros, M. B. de. Crescimento inicial do algodoeiro cv. BRS aroeira em diferentes níveis de salinidade. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.7, p.41-45, 2012.
- Pinheiro, F. W. A.; Lima, G. S. de.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. dos A.; Oliveira, S. G. de.; Silva, F. A. da. Gas exchange and yellow passion fruit production under irrigation strategies using brackish water and potassium. *Revista Ciência Agronômica*, v.53, e20217816, 2022. <https://doi:10.5935/1806-6690.20220009>
- Priyadharshini, B.; Prakash, M.; Vignesh, M.; Murugan, S.; Anandan, R. Multivariate analysis of sesame genotypes under saline stress. *Indian Journal of Agricultural Research*, v.52, p.708-711, 2018. <https://doi.org/10.18805/IJARE.A-5080>

- Queiroz, S. O. P.; Büll, L. T. Comportamento de genótipos de algodão herbáceo em função da salinidade do solo. *Revista Irriga*, v.6, p.124-134, 2001.
- Rhoades, J. D.; Kandiah, A.; Mashali, A. M. Uso de águas salinas para produção agrícola. Campina Grande: UFPB. 2000, 117p. Estudos da FAO, Irrigação e Drenagem.
- Sadaka, M. S.; Bakryb, B. A.; Abdel-Razikc, T. M.; Hanafyd, R. S. Amino acids foliar application for maximizing growth, productivity and quality of peanut grown under sandy soil. *Brazilian Journal of Biology*, v.83, e256338, 2023. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.256338>.
- Saraiva, S. E. L. Emergência e acúmulo de biomassa em plântulas de genótipos de amendoim irrigados com águas salinas. Redenção: UNILAB, 2020. 19p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia)
- Shahidi, F.; Liyana-Pathirana, C. M.; Wall, D. S. Antioxidant activity of white and black sesame seeds and their hull fractions. *Food Chemistry*, v.99, p.478-483, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.08.009>
- Shi, X. L.; Zhang, Z. M.; Dai, L. X.; Zhang, G. C.; Ci, D. W.; Ding, H.; Tian, J. M. Effects of calcium fertilizer application on absorption and distribution of nutrients in peanut under salt stress. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*, v.29, p.3302-3310, 2018. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.201810.026>.
- Si, T.; Lu, J.; Cao, Y.; Tang, Z.; Ci, D.; Yu, X.; Zhang, X.; Wang, Y. F.; Zou, X. Physiological, transcriptional and metabolomic evidence for arbuscular mycorrhizal fungi and *Lactobacillus plantarum* in peanut resistance to salinity stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v.1 p.1-20, 2023. <https://doi.org/10.1111/jac.12672>
- Silva, A. A. R.; Lacerda, C. N.; Lima, G. S.; Soares, L. A. A.; Gheyi, H. R.; Fernandes, P. D. Morfofisiologia de genótipos de gergelim submetidos a diferentes estratégias de uso de água salina. *Irriga*, v. 1, n. 1, p. 42-55, 2021. <https://doi.org/10.15809/irriga.2021v1n1p42-55>
- Singh, A.L.; Hariprassana, K.; Solanki, R. M. Screening and selection of ground-nut genotypes for tolerance of soil salinity. *Australian Journal of Crop Science*, v.1, p.69-77, 2008. <https://www.researchgate.net/publication/26575936>.
- Soares, L. A. A.; Fernandes, P. D.; Lima, G. S.; Suassuna, J. F.; Pereira, R. F. Gas exchanges and production of colored cotton irrigated with saline water at different phenological stages. *Revista Ciência Agronômica*, v.49, p.239-248, 2018.

- Soares, L. A. A.; Fernandes, P. D.; Lima, G. S.; Silva, S. S.; Moreira, R. C. L.; Medeiros, T. L. Phytomass and production components of colored cotton under salt stress in different phenological stages. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.25, p.132–138, 2021. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n2p132-138>
- Sofo, A.; Scopa, A.; Nuzzaci, M.; Vitti, A. Ascorbate peroxidase and catalase activities and their genetic regulation in plants subjected to drought and salinity stresses. *International Journal of Molecular Sciences*, v.16, p.13561-13578, 2015.
- Sousa, G. G. de; Fiusa, J. N.; Leite, K. N.; Soares, S. C.; Silva G. L. da. Água salina e biofertilizante de esterco bovino na cultura do gergelim. *Revista Agropecuária Técnica*, v.38, p.116-125, 2017. <https://doi.org/10.25066/agrotec.v38i3.33694>
- Sousa G. G.; Rodrigues, V. dos S.; Soares, S. da C.; Damasceno, I. N.; Saraiva, S. E. L. Irrigation with saline water in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) in a soil with bovine biofertilizer. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.22, p.604-609, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n9p604-609>
- Sousa, G. G. de; Sousa, H. C.; Santos, M. F. dos; Lessa, C. I. N.; Gomes, S. P. Saline water and nitrogen fertilization on leaf composition and yield of corn. *Revista Caatinga*, v.35, p.191-198, 2022. <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n119rc>
- Sousa, H. C.; Viana, T. V. A.; Sousa, G. G.; Azevedo, B. M.; Lessa, C. I. N.; Freire, M. H. C.; Goes, G. F.; Baldé, B. Productivity in the peanut under salt stress in soil with a cover of plant mulch. *Revista Ciência Agronômica*, v.54, e20228513, 2023a.
- Sousa, J. T. M de.; Sousa, G. G. de; Silva, E. B. da.; Silva Júnior, F. B. da.; Viana, T. V. de A. Physiological responses of peanut crops to irrigation with brackish waters and application of organo-mineral fertilizers. *Revista Caatinga*, v.34, p.682-391, 2021.
- Sousa, J. T. M.; Sousa, G. G.; Silva, E. B.; Viana, T. V. A.; Freire, M. H. C.; Simplício, A. A. F. Desempenho agrônomo de genótipos de amendoim sob estresse salino e diferentes formas de adubação. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v.16, e9707, 2023b.
- Suassuna, J. F.; Fernandes, P. D.; Brito, M. E. B.; Arriel, N. H. C.; Melo, A. S.; Fernandes, J. D. Tolerance to salinity of sesame genotypes in different phenological stages. *American Journal of Plant Sciences*, v.8 p.1904-1920, 2017. <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.88129>
- SUDENE–Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Nova Delimitação do Semiárido. 2017. Disponível em: <http://antigo.sudene.gov.br/images/arquivos/semiarido/arquivos/Rela%C3%A7%C3%A3o>

- Sun, L.; Hu, R.; Shen, G.; Zhang, H. Genetic Engineering Peanut for Higher Drought and Salt-Tolerance. *Food and Nutrition Sciences*, v.4, p.01-07, 2013.
- Tang, X.; Mu, X.; Shao, H.; Wang, H.; Brestic, M. Global plant-responding mechanisms to salt stress: physiological and molecular levels and implications in biotechnology. *Critical Reviews in Biotechnology*, v.35, p.425–437, 2015.
- Taru, V. B.; Khagya, I. Z.; Mshelia, S. I.; Adebayo, E. F. Economic efficiency of resource use in groundnut production in Adamawa State of Nigeria. *World Journal of Agricultural Sciences*, v.4, p.896-900, 2008.
- Ullah, A.; Sun, H.; Yang, X.; Zhang, X. Drought coping strategies in cotton: increased crop per drop. *Plant Biotechnology Journal*, v.15, p.271-284, 2017. <https://doi.org/10.1111/pbi.12688>
- Villela, A. A.; Jaccoud, D. B.; Rosa, L. P.; Freitas, M. V. Status and prospects of oil palm in the Brazilian Amazon. *Biomass Bioenergy*, v.67, p.270-278, 2014.
- Wang, N.; Qiao, W.; Liu, X.; Shi, J.; Xu, Q.; Zhou, H.; Yan, G.; Huang, Q. Relative contribution of Na⁺/K⁺ homeostasis, photochemical efficiency and antioxidant defense system to differential salt tolerance in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivars. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.119, p.121-131, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.08.024>
- Wang, R.; Wan, S.; Sun, J.; Xiao, H. Soil salinity, sodicity and cotton yield parameters under different drip irrigation regimes during saline wasteland reclamation. *Agricultural water management*, v. 209, p. 20-31, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.004>
- Wei, M.; Liu, A.; Zhang, Y.; Zhou, Y.; Li, D.; Dossa, K.; Zhang, X.; You, J. Genome-wide characterization and expression analysis of the HD-Zip gene family in response to drought and salinity stresses in sesame. *BMC Genomics*, v.20, p.1-13, 2019.
- Yan, S.; Gao, Y.; Tian, M.; Tian, Y.; Li, J. Comprehensive evaluation of effects of various carbon-rich amendments on tomato production under continuous saline water irrigation: Overall soil quality, plant nutrient uptake, crop yields and fruit quality. *Agricultural Water Management*, v.255, p.106995, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106995>
- Zhang, H.; Miao, H.; JU, M. Potential for Adaptation to Climate Change Through Genomic Breeding in Sesame. In: Kole, C. *Genomic Designing of Climate Smart Oilseed Crops*. Suíça: Springer, Cham. Cap.7, p.371-440, 2019a.
- Zhang, H.; Miao, H.; Wei, L.; Li, C.; Zhao, R.; Wang, C. Genetic analysis and QTL mapping of seed coat color in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Plos One*, v.8, p.1-10, 2013.

- Zhang, L.; Ma, H.; Chen, T.; Pen, J.; Yu, S.; Zhao, X. Morphological and physiological responses of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) plants to salinity. PLoS One, v.9, e112807, 2014. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112807>
- Zhang, L.; Zhang, G.; Wang, Y.; Zhou, Z.; Meng, Y.; Chen, B. Effect of soil salinity on physiological characteristics of functional leaves of cotton plants. Journal of plant research, v. 126, p. 293-304, 2013. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112807>
- Zhang, T.; Zhang, Z.; Li, Y.; He, K. The Effects of Saline Stress on the Growth of Two Shrub Species in the Qaidam Basin of Northwestern China. Sustainability, v.11, p.1-13, 2019b.
- Zhang, Y.; Wei, M.; Liu, A.; Zhou, R.; Li, D.; Dossa, K.; You, J. Comparative proteomic analysis of two sesame genotypes with contrasting salinity tolerance in response to salt stress. Journal of Proteomics, Valencia, v. 201, n. 1, p. 73-83, 2019c.
- Zhang, Y.; Li, D.; Zhou, R.; Wang, X.; Dossa, K.; Wang, L.; Zhang, Y.; Yu, J.; Gong, H.; Zhang, X.; You, J. Transcriptome and metabolome analyses of two contrasting sesame genotypes reveal the crucial biological pathways involved in rapid adaptive response to salt stress. BMC Plant Biology. v.19, p.1-14, 2019d.
- Zhu, H.; Jiang, Y.; Guo, Y.; Huang, J.; Zhou, M.; Tang, Y. Y.; Sui, J. M.; Wang, J.; Qiao, L. A novel salt inducible WRKY transcription factor gene, AhWRKY75, confers salt tolerance in transgenic peanut. Plant Physiology and Biochemistry, v.160, p.175-183, 2021.

ABACAXI

Domingo Haroldo Reinhardt¹, Pedro Dantas Fernandes², Hans Raj Gheyi², Miguel Barreiro Neto³

RESUMO: O abacaxizeiro é uma bromeliácea com características morfológicas, anatômicas e fisiológicas bastante distintas das demais plantas cultivadas com fins comerciais. A sua baixa taxa de transpiração e alta eficiência no uso de água determinam a sua capacidade especial de tolerar períodos relativamente longos de deficiência hídrica, permitindo o seu cultivo de sequeiro em algumas regiões semiáridas do Nordeste brasileiro. No entanto, é pouco estudada a sua reação quando exposto ao suprimento de água salina, embora este seja um fator cada vez mais presente em áreas cultivadas. Neste capítulo, as necessidades hídricas do abacaxizeiro são descritas, sendo destacada a sua fisiologia, típica de uma planta com metabolismo ácido das crassuláceas. Baseado na literatura disponível, são abordados os efeitos específicos da salinidade sobre aspectos fisiológicos da planta, bem como, sobre o seu desenvolvimento vegetativo e reprodutivo ao longo do ciclo em condições de campo. Os resultados, até então, disponíveis tem embasada a sua classificação como planta de tolerância moderada à salinidade. Ao final, são enfatizadas algumas necessidades básicas de pesquisa com vistas ao melhor conhecimento dos efeitos da salinidade nesta fruteira.

Palavras-chave: *Ananas comosus*, CAM, estresse salino, crescimento, produção.

¹ *Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, Brasil*

² *Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola - UFCG, Campina Grande, PB, Brasil*

³ *Embrapa Algodão, Campina Grande-PB, Brasil*

* *Autor correspondente: domingo.reinhardt@embrapa.br*

PINEAPPLE

ABSTRACT: Pineapple is a bromeliad that has morphological, anatomical, and physiological characteristics quite different from other plants cultivated for commercial purposes. A low transpiration rate and high efficiency in water use determine its special ability to tolerate relatively long periods of water deficit, allowing its rainfed cultivation in some semi-arid regions of the Brazilian Northeast. However, its reaction when exposed to a saline water supply is little studied, although this is a factor increasingly present in cultivated areas. In this chapter, the water requirements of the pineapple plant are described, highlighting the typical physiology of a plant with crassulacean acid metabolism. Based on the available literature, the specific effects of salinity on the physiological aspects of the plant are discussed, as well as on its vegetative and reproductive development throughout the cycle, under field conditions. The results available so far support its classification as a plant with moderate tolerance to salinity. In the end, some basic research needs will be emphasized with a view to understand better the response of this fruit crop to saline stress.

Key words: *Ananas comosus*, CAM, saline stress, growth, production.

1 INTRODUÇÃO

O abacaxizeiro (*Ananas comosus* var. *comosus*) é uma planta tropical, nativa de vários ecossistemas brasileiros, com predominância da região amazônica. Muito antes da chegada dos navegadores portugueses, ao final do século XV, os indígenas já a cultivavam e consumiam seus frutos (Py et al., 1987; Bartholomew, 2018).

O fruto é saboroso, conhecido e apreciado em todo o mundo, com características e propriedades que tornam a planta especial entre as cultivadas. Pertencente à família das Bromeliáceas, o abacaxizeiro é de hábito terrestre, ao contrário do hábito epífita da maioria das outras espécies desta família, que crescem sobre outras plantas sem, no entanto, parasitá-las. Chama, também, atenção o tamanho bastante avantajado do seu fruto em relação ao porte da planta, assim como a sua coroa, isto é, o tufo de folhas no seu ápice, e o seu aspecto rústico, com folhas espessas, muitas vezes cobertas de espinhos, que sugerem capacidade de adaptação a condições ambientais adversas (Carlier et al., 2007).

O abacaxizeiro tem características peculiares, que contribuem para a sua capacidade de sobreviver longos períodos de baixa disponibilidade de água e de se recuperar, bastante rápido, ao final do estresse hídrico. Essa adaptação tem permitido o seu cultivo comercial, até mesmo, em algumas regiões semiáridas, sem uso de irrigação, a exemplo de municípios no Estado da Bahia, com pluviosidade anual inferior a 750 mm e distribuição mensal muito irregular, dentro do mesmo ano e entre anos seguidos.

Por outro lado, o suprimento hídrico adequado, seja natural (chuva) ou artificial (irrigação), é fator determinante para a obtenção de altas produtividades na cultura do abacaxi, resultando do seu desenvolvimento vegetativo e reprodutivo otimizado, além de ensejar uma redução significativa do seu ciclo. Portanto, é uma cultura viável numa ampla faixa de precipitação pluviométrica, desde condições semiáridas a ambientes com volumes anuais superiores a 3000 mm, como ocorre em zonas da Costa Rica, país maior produtor e exportador mundial de abacaxi.

Essa ampla capacidade de adaptação a aspectos quantitativos de suprimento hídrico do abacaxizeiro é bem conhecida, com disponibilidade de literatura técnico-científica bastante consistente. No entanto, o mesmo não ocorre em relação às suas exigências de qualidade da água, em especial quanto à sua tolerância à salinidade da água e do solo. A literatura é bastante escassa, com poucos estudos focados neste tema muito atual. Nos segmentos, a seguir, serão destacados os principais aspectos fisiológicos do abacaxizeiro, relacionados com o estresse salino, e seus efeitos sobre o desenvolvimento e a frutificação da planta. Ao final, serão enfatizadas algumas necessidades básicas de pesquisa com vistas ao melhor conhecimento da resposta desta fruteira ao estresse salino.

2 ASPECTOS FISIOLÓGICOS DA PLANTA SOB ESTRESSE SALINO

2.1 Necessidades hídricas

Antes de focar nos efeitos específicos da salinidade sobre o abacaxizeiro, é preciso destacar a demanda da planta por água e sua capacidade de adaptação à deficiência hídrica, pois a dificuldade de absorção de água, em geral, é a primeira consequência do estresse salino nas plantas.

O abacaxizeiro é tido como uma planta com necessidades hídricas relativamente reduzidas, se comparado com outras plantas cultivadas. A sua adaptação a condições de deficiência hídrica decorre de uma série de características morfológicas, anatômicas e fisiológicas, típicas de plantas xerófilas, com os seguintes destaques: a) capacidade de coletar água, eficientemente, inclusive o orvalho, por suas folhas em forma de canaleta; b) capacidade de armazenar água em tecido parenquimático na hipoderme das folhas; c) capacidade de reduzir, consideravelmente, as perdas de água (transpiração) por meio de mecanismos diversos.

As taxas de transpiração da planta variam de 0,05 a 0,23 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ (Ekern, 1965; Joshi et al., 1965; Neales et al., 1968; Nose et al., 1981), valores pelo menos dez vezes inferiores aos mensurados em plantas C₃, a exemplo do girassol e do fumo, cujos valores são, em média, de 3,1 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ (Neales et al., 1968). Segundo Côte et al. (1993), a transpiração do abacaxizeiro é apenas 6% da mensurada em trigo e sua eficiência no uso de água é 3,3 vezes mais elevada.

Vários são os mecanismos que tem a planta para diminuir a taxa transpiratória, com os seguintes destaques: a) tricomas com pelos de cor prateada nas folhas, o que reduz a carga térmica sobre as plantas; b) morfologia das folhas, porte ereto e sua distribuição em roseta foliar, o que favorece a ventilação adequada e a redução no ângulo de incidência dos raios solares, com reflexos na redução da transpiração da planta; c) epiderme foliar protegida por uma cutícula espessa; d) baixa densidade estomática e localização dos estômatos dentro de pequenos sulcos cobertos por tricomas, na face abaxial das folhas; e) fechamento dos estômatos durante grande parte do dia e abertura à noite (Almeida & Reinhardt, 1999; Bartholomew et al., 2018).

Como complemento aos índices de transpiração, as necessidades hídricas do abacaxizeiro estão ligadas às condições climáticas, à umidade do solo e ao estágio de desenvolvimento da planta, com dados que variam de 1,3 a 5,0 mm de água por dia (Py et al. 1984; Rotondano & Melo, 2005; Silva & Silva, 2006).

Em cultivos comerciais, as plantas requerem, em geral, pluviosidade mínima na faixa de 80 a 100 mm mês⁻¹ (Py et al., 1987). A recomendação de Pereira & Melo (2005) é mais alta, com variação entre 1000 e 1500 mm anuais, com boa distribuição ao longo do ciclo das plantas. Segundo Neild & Boshell (1976), em áreas com pluviosidade anual inferior a 500 mm, o abacaxi só deve ser cultivado com o uso intensivo da irrigação. Mesmo em áreas com pluviosidade total anual acima desse limite, a irrigação é necessária, se ocorrer um período de três meses consecutivos com chuvas inferiores a 15 mm mês⁻¹ ou de quatro

meses com menos de 25 mm mês⁻¹ ou, ainda, cinco meses com chuvas inferiores a 40 mm mês⁻¹, segundo Carvalho (1998).

2.2 Metabolismo Ácido das Crassuláceas

No ritmo de abertura estomática no período noturno, típico das plantas com metabolismo ácido das crassuláceas ('*Crassulacean Acid Metabolism*' - CAM), o abacaxizeiro realiza a maior parte da fixação de gás carbônico durante a noite. A reduzida taxa de transpiração, associada ao metabolismo ácido das crassuláceas, confere à planta uma alta eficiência no uso de água, consumindo menos de 100 g de água para cada grama de matéria seca acumulada (Ekern, 1965; Py et al., 1987). Nesse contexto, vale ressaltar, ainda, como já citado anteriormente, a grande eficiência de uso da água do abacaxizeiro, em relação ao trigo (Côte et al., 1993).

Apesar de altamente eficiente quanto ao consumo de água, este tipo de metabolismo, ao limitar a perda de vapor d'água através dos estômatos, também limita a entrada de CO₂ e, conseqüentemente, resulta numa taxa de assimilação fotossintética inferior àquela de plantas mesofíticas com metabolismo C₃ ou C₄. O metabolismo CAM é, portanto, uma adaptação que permite a continuação do crescimento, embora lento, e a sobrevivência do abacaxizeiro sob condições de estresse hídrico severo, mas resulta, ao mesmo tempo, numa baixa produtividade da planta (Bartholomew et al., 2018).

Alta eficiência no uso de água e tolerância à seca tornam o metabolismo CAM um caminho atrativo à pesquisa relacionada com o preparo de plantas cultivadas, para enfrentar a mudança climática em curso (Zhang et al., 2014; Ming et al., 2015). Segundo esses autores, as etapas enzimáticas centrais do metabolismo ácido das crassuláceas são bem caracterizadas, com algumas similaridades com o que ocorre nas plantas C₄, mas com muitos pontos a serem, ainda, esclarecidos, em termos de fisiologia, bioquímica e biologia molecular, pela investigação científica.

2.3 Efeitos específicos da salinidade

Em adendo às informações relevantes sobre as características morfológicas, anatômicas e fisiológicas do abacaxizeiro e sua relação com a disponibilidade de água, focaremos, a seguir, nos efeitos específicos do estresse salino, lembrando que eles decorrem da imposição de uma deficiência hídrica e/ou de toxicidade, causada por excesso de íons de determinados sais na solução do solo.

Melo et al. (2017) relataram alterações de indicadores osmóticos e iônicos em plântulas de abacaxizeiro 'MD2' (Gold), em cultivo hidropônico, submetidas a concentrações de NaCl de 0 a 150 mM. Os autores destacaram o predomínio do efeito osmótico do estresse salino sobre o efeito iônico, considerando, entre outros fatores, que a relação K/Na permaneceu com valores muito acima de 1, em folhas e raízes, salvo em raízes expostas à concentração de 150 mM NaCl. À medida que a concentração salina cresceu na solução nutritiva, o status hídrico das folhas foi afetado e aumentaram os danos na membrana das células de folhas

e do sistema radicular. Elevaram-se, também, os níveis de Na^+ , em detrimento aos de K^+ , e houve interferências crescentes no metabolismo, com redução dos níveis de açúcares totais solúveis e aumento dos teores de prolina e aminoácidos livres.

Outro resultado relevante, reportado no trabalho de Melo et al. (2017), refere-se à mitigação dos efeitos negativos do estresse salino em plantas de abacaxi, quando obtidas *in vitro* e na presença dos fitohormônios BAP (benzilaminopurina) e ANA (ácido naftalenoacético). A condição de cultivo inicial *in vitro* das mudas, sob condições salinas, parece ser favorável. Barroso et al. (2003), como exemplo, chegaram a essa conclusão, ao estudar plântulas de abacaxi das cvs. Pérola e Smooth Cayenne, submetidas ao estresse salino. Em tais condições, os efeitos atenuadores do estresse salino (aplicado *in vitro*) permaneceram durante a fase de aclimação das plantas. Segundo os autores, na mensuração da intensidade desses efeitos devem ser utilizados parâmetros em modelos de avaliação quadráticos, na variação fenotípica, não sendo adequada a avaliação com valores de médias.

Hamed & Ali (2007), com o objetivo de desenvolver um método de seleção de plantas mais tolerantes à salinidade, submeteram explantes e plântulas de abacaxi cv. Queen a concentrações de água do mar, variando de 0 a 3000 ppm (0,3%), ao longo de três subcultivos *in vitro*. A salinidade crescente resultou em reduções da taxa de multiplicação e das variáveis de crescimento vegetativo das plântulas. No nível mais alto de água salina foi observada diminuição dos teores de clorofila *a*, *b* e de carotenoides, bem como, aumento nos teores de açúcares solúveis e de prolina. Nas folhas foram constatadas reduções no acúmulo de N, P, K e Ca.

Com pesquisa desenvolvida em vasos sob condições semicontroladas, Samuel et al. (2018) estudaram o efeito da salinidade, representada por soluções com concentrações de 0 a 1,4% de NaCl, sobre o desenvolvimento de mudas de abacaxi cv. Smooth Cayenne, produzidas *in vitro* e aclimatadas durante quatro meses. Concluíram que as plantas toleram concentrações de 0,2 a 0,4% de NaCl, mas passam por severos distúrbios na formação de raízes e crescimento da parte aérea nas concentrações de 0,6 a 1,0% e não resistem quando expostas à concentração mais alta (1,4%). Marinho et al. (1998) também observaram reduções significativas no desenvolvimento de plantas do abacaxizeiro 'Smooth Cayenne', cultivadas em casa de vegetação, ao longo de 140 dias, com os efeitos mais drásticos em níveis de salinidade acima de 3 dS m^{-1} (aproximadamente, equivalente a 0,18%).

Em estudo similar, Elhag & Elzain (2012) submeteram explantes de abacaxi, propagados *in vitro*, a níveis de NaCl de 0 a 120 mM e observaram efeitos negativos da salinidade sobre o crescimento das plântulas cultivadas ao longo de seis semanas. Efeitos do estresse surgiram já nos níveis mais baixos de salinidade, mas não aumentaram, significativamente, nas concentrações de sal acima de 30 mM. O efeito foi maior sobre o sistema radicular. Os autores concluíram que o abacaxizeiro pode ser classificado como planta de tolerância moderada à salinidade com predomínio de NaCl. Ibrahim (2013) também reportou efeitos negativos de níveis altos de NaCl sobre a multiplicação e o crescimento de plântulas de abacaxi *in vitro*. Quando a concentração de NaCl estava em 2%, apenas 15% dos explantes sobreviveram, o que motivou o autor a concluir ser baixa a tolerância de plântulas de abacaxi à salinidade.

Por outro lado, Hasan & Abdullah (2007) reportaram que plântulas de abacaxi (cv. N36), cultivadas *in vitro*, a partir de explantes de meristemas apicais, com 10 a 12 mm de tamanho, não apresentaram diminuição no seu crescimento, como efeito de concentrações salinas de até 135 mM de NaCl. Concentrações acima de 200 mM de NaCl afetaram os parâmetros, mas não inibiram totalmente o crescimento das plantas. O teor de prolina cresceu com aumento da salinidade e atingiu o valor de 1609 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco na concentração de 200 mM de NaCl. O teor de malato reduziu a menos da metade do valor mensurado nas plantas do tratamento testemunha, quando expostas à salinidade de 135 mM NaCl, mas aumentou, significativamente, quando a concentração salina chegou a 250 mM NaCl. Embora os autores não tenham discutido sobre esse incremento de malato, no tratamento de maior concentração de sal, tal fato pode ser interpretado como consequência do seu represamento na interface entre as etapas de fosfoenolpiruvase carboxilase e o Ciclo de Calvin, quando o malato sai do vacúolo para a fase de ribulose bifosfato carboxilase, durante o dia (estômatos fechados). Isto é, o excesso de sal deve ter interferido na descarboxilação do malato para a sequência do Ciclo de Calvin, que ocorre com os estômatos fechados, durante o dia, com base em processos fisiológicos e bioquímicos, relatados por Taiz et al. (2017).

Hala et al. (2018) verificaram que o cobalto (Co) evita os danos causados pelo estresse salino (NaCl), em explantes *in vitro* da cv. Queen de abacaxi. Durante 8 semanas, os explantes foram tratados com 4 concentrações de NaCl (0, 65, 135 ou 200 mM), sendo que a metade deles foi tratada, previamente, durante 4 semanas, com sulfato de cobalto, na concentração de 5 mg L⁻¹. Cobalto tem sido utilizado para atenuar os efeitos da salinidade em várias espécies, como verificado em tomate (Atta-Aly et al., 1991; Stewart, 2001; Shanon, 2002; Gad, 2005), em arroz (Attia et al., 2014) e em algodão (Saleh, 2015). No trabalho com a cv. Rainha de abacaxi, Hala et al. (2018) observaram danos aos explantes na concentração de 200 mM de cloreto de sódio, com efeito 30% menor nas parcelas que receberam pré-tratamento de cobalto, inclusive com redução dos teores de Na e Cl nos tecidos. O cobalto teve efeito positivo no conteúdo de macro e micronutrientes, e aumentou os índices de prolina e de proteínas. Na literatura, Co está relacionado à ação de compostos antioxidantes, em seres vivos, segundo Hala et al. (2018).

Na literatura, é conhecida a prática de ativar mecanismos de adaptação da planta a um fator de estresse, ao submetê-la, gradativamente, a níveis crescentes do respectivo fator. Foi o que aconteceu em pesquisa desenvolvida por Santana et al. (2011), ao submeterem o abacaxi ornamental *Ananas porteanus* Hort. Veitch ex. C. Koch, ao estresse salino, em imposições a 45 mM NaCl por 45 dias, seguido de mais 45 dias a 80 mM NaCl. As plantas sob estresse foram capazes de manter a integridade da membrana em nível próximo da qualidade encontrada nas plantas controle. Os autores atribuíram a manutenção da integridade da membrana à maior atividade da peroxidase e ao incremento nos teores de prolina, proteínas e clorofila; concluíram que as alterações metabólicas ocorridas nas plantas submetidas ao tratamento com cloreto de sódio conduziram a uma nova homeostase que resultou na tolerância da planta à magnitude do estresse salino imposto.

Os estudos supramencionados, salvo esse último conduzido com mudas convencionais em vasos, foram todos realizados *in vitro* ou *in vivo*, com explantes e plântulas de abacaxi. Não há dúvida que plantas muito jovens têm maior sensibilidade a estresses abióticos, incluindo o estresse salino. São estudos de valor científico, mas pouco ajudam como orientação para aqueles que cultivam e produzem abacaxi. É preciso ter informações sobre a resposta de plantas adultas, em condições de campo, para determinar a real tolerância da cultura à salinidade. Nesse contexto, a disponibilidade de estudos e de resultados significativos é bastante restrita, mas alguns serão abordados a seguir.

3 EFEITOS DA SALINIDADE NO DESENVOLVIMENTO E NA FRUTIFICAÇÃO DA PLANTA

Em geral, o abacaxizeiro é classificado como planta com tolerância moderada à salinidade (McCall, 1980). No entanto, Jimenez et al. (2018) acrescentaram que o efeito dos sais depende do tipo de solo, isto é, a tolerância diminui com a redução da permeabilidade do solo. No Departamento de Agricultura do Estado de Queensland, Austrália, a cultura é considerada “razoavelmente sensível” à água salina de irrigação, com queda da produtividade quando a condutividade elétrica da água é maior que $1,28 \text{ dS m}^{-1}$. Em estudos de Wambiji & El-Swaify (1974), realizados em condições de casa de vegetação, o abacaxizeiro foi classificado como planta de alta tolerância à salinidade, com comportamento similar ao de culturas consideradas tolerantes ao estresse salino, como cevada, algodão e aspargo. Esses autores utilizaram plantas de abacaxi da cv. Smooth Cayenne, com 8 e 12 meses de idade, em solo franco-argiloso com níveis de salinidade variando entre 0 e 8 dS m^{-1} e na avaliação se basearam nos índices de redução de matéria fresca e seca de folhas e plantas.

Em estudos de Hanafi et al. (2010), ficou evidente a tolerância elevada do abacaxi à salinidade, ao avaliarem a viabilidade de uso da água do mar na irrigação das plantas. A frutificação não foi, significativamente, afetada por tratamentos com água marinha, quando houve substituição de K^+ por íons de Na^+ , em percentagens de até 60% da dose requerida de potássio pela planta. Os autores destacaram que a água marinha poderia ser usada para atender até 60% das exigências do abacaxizeiro em adubo potássico.

Liu & Chen (2014) estudaram a resposta do abacaxi cv. Shenwan (um tipo ‘Queen’), cultivado em vasos, em concentrações salinas de 0, 0,25, 0,50 e 0,75% de NaCl. Os autores constataram redução nas dimensões e no peso do fruto, incremento nos teores de Na em folhas, enquanto os de K e Ca foram reduzidos, o que resultou em decréscimo acentuado das relações K/Na e Ca/Na. A qualidade química do fruto foi pouco afetada, mas a sua firmeza diminuiu, enquanto o seu aroma foi afetado pela concentração mais alta do sal. Alvarez et al. (1995), ao estudarem a cv. Red Spanish, cultivada em vasos, verificaram que NaCl, em concentrações a partir de $1,4 \text{ dS m}^{-1}$, afeta negativamente o peso, as dimensões e a qualidade do fruto, com reduções da acidez e do teor de sólidos solúveis totais. Em compensação, água de irrigação com até $2,0 \text{ dS m}^{-1}$ de NaHCO_3 não afetou as variáveis citadas.

Em estudos mais antigos, Sideris (1955) relatou a ocorrência de necrose na ponta das folhas de abacaxizeiros, plantados num raio de até 2,5 km do mar, em ilhas do Havaí e, portanto, expostos à brisa marítima. Os sintomas de injúria caracterizaram-se por faixas alternadas de coloração marrom escuro e marrom claro, sendo mais intensas em folhas velhas, com período mais longo de absorção de cloreto, do que em folhas jovens. A deposição do sal e a severidade dos sintomas diminuíram com a distância do mar. A aplicação de soluções de cloreto em plantas localizadas em campos, fora do alcance dos ventos marítimos, produziu sintomas similares àqueles causados pela brisa marinha, além de reduzir os rendimentos e a qualidade dos frutos. As injúrias foram atribuídas ao cloro e não ao sódio, outro elemento predominante na água marinha. Interessante é que os efeitos inibidores e tóxicos do cloreto foram mais acentuados em plantas com deficiente nutrição nitrogenada e, sobretudo, potássica (Sideris & Young, 1954). A elevação da disponibilidade dos nutrientes que estavam deficientes para as plantas, possibilitou a atenuação dos efeitos da salinidade e amenizou, consideravelmente, a inibição do crescimento e a perda de peso dos frutos de abacaxi.

Estudo de campo, em condições semiáridas brasileiras, foi realizado por Brito et al. (2019) para avaliar os efeitos da salinidade na água de irrigação sobre o desempenho do abacaxizeiro 'Pérola', cultivar mais plantada no Brasil. Entre outros fatores, foi determinada a eficiência fotoquímica em estudos com lâminas de irrigação, por gotejamento, variando de 25 a 125% da evapotranspiração da cultura (ETc), com águas de condutividade elétrica de 0,75 (controle) e 3,6 dS m⁻¹. A eficiência quântica (Fv/Fm) variou ao longo do ciclo da cultura, com valores abaixo do ideal que, segundo Bolhàr-Nordenkamp et al. (1989), deve ser de 0,80 e, no trabalho de Brito et al. (2020), os índices variaram entre 0,45 e 0,61. Entretanto, as variáveis rendimento quântico do fotossistema II, dissipação fotoquímica, dissipação não-fotoquímica e taxa de redução de fluorescência não foram influenciadas pelas lâminas de irrigação estudadas. Os autores concluíram que a utilização da energia, em processos fotossintéticos do abacaxizeiro, não é influenciada pela irrigação com água salina, com condutividade elétrica de 3,6 dS m⁻¹. No entanto, a irrigação com água salina afeta as variáveis de crescimento vegetativo (número de folhas, altura da planta, diâmetro da copa, comprimento e largura da folha 'D', área foliar total), bem como, a produtividade da cultura, estimada a partir do peso médio do fruto, e a qualidade do fruto, sobretudo o teor de sólidos solúveis do suco. Os valores obtidos em todos os tratamentos foram baixos, inclusive no controle, para as principais variáveis estudadas, indicativo de efeitos negativos, não apenas do estresse salino, mas, também, de outros estresses abióticos vinculados às condições ambientais da região semiárida (temperatura máxima acima de 40 °C, insolação excessiva, ventos secos, umidade relativa do ar baixa).

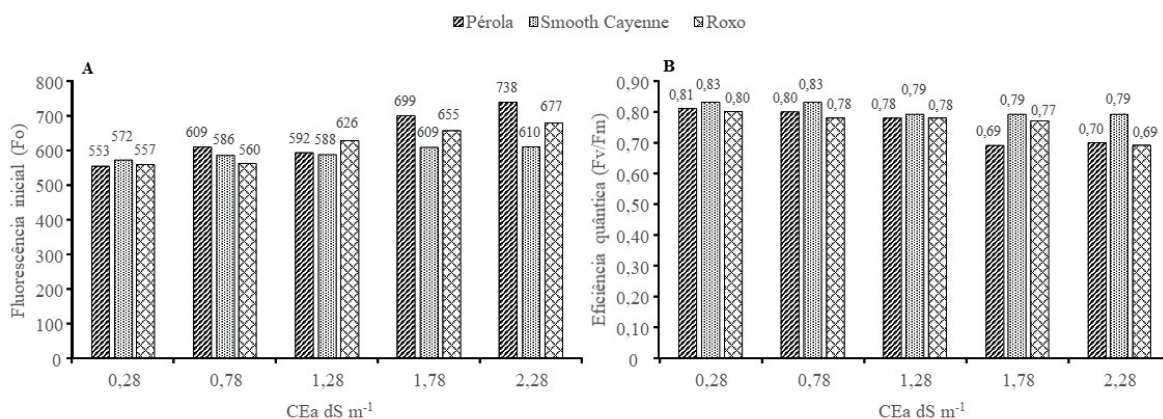
Outro estudo importante, realizado em condições de campo da cultura de abacaxi na Paraíba, um dos maiores Estados produtores desta fruta no Brasil, foi o da tese de Barreiro Neto (2006), parte publicada em 2017 (Barreiro Neto et al., 2017). Plantas de três variedades de abacaxi – Pérola, Smooth Cayenne e Roxo da Paraíba – foram submetidas à irrigação por gotejamento com água salinizada, pela adição de NaCl correspondente a níveis de condutividade elétrica (CEa) de 0,28, 0,78, 1,28, 1,78, e 2,28 dS m⁻¹. Os efeitos da salinidade sobre as

plantas foram avaliados por variáveis de crescimento vegetativo e aspectos quantitativos e qualitativos da produção.

As cultivares Pérola e Smooth Cayenne, irrigadas com água salina, foram similarmente afetadas na produção de fitomassa, taxa de crescimento absoluto, taxa de crescimento relativo, índice de área foliar e taxa de assimilação líquida. No entanto, para outras variáveis, os efeitos da salinidade foram diferenciados, entre os genótipos, em distintos estádios de desenvolvimento das plantas. A cv. Smooth Cayenne foi a menos afetada pela salinidade em peso de coroa, relação coroa/fruto e acidez da polpa do fruto, mas foi a que teve a maior redução no número de folhas, de 41,9% na concentração salina de 2,28 dS m⁻¹. Igualmente, na cv. Smooth Cayenne foi menor a redução na condutância estomática (24,6%), como efeito do aumento da salinidade de 1,28 a 2,28 dS m⁻¹. Na cv. Pérola, a diminuição desse parâmetro foi de 53,8%, com a elevação da salinidade de 0,78 a 2,28 dS m⁻¹.

Com relação aos efeitos da salinidade sobre o aparato fotossintético, as menores taxas de fluorescência inicial (Fo) e a menor redução na razão Fv/Fm, em resposta às altas concentrações salinas estudadas, ocorreram na ‘Smooth Cayenne’, seguida da cv. Roxo da Paraíba, sendo a cv. Pérola a mais afetada (Figuras 1 A e B). A fluorescência inicial (Fo) é um indicativo da dispersão de energia quando o aceptor primário de elétrons quinona (QA) do fotossistema II (PSII) está totalmente oxidado, isto é, o centro de reação (P680) está aberto e estão ativadas as reações fotoquímicas (Baker & Rosenqvist, 2004). Valores altos de Fo, como registrado com a variedade Pérola, nos níveis mais altos de salinidade, são decorrentes de problemas na integridade fisiológica do aparato fotossintético, com desperdício de energia devido a injúrias nos tilacóides (Konrad et al., 2005). Fato similar ao verificado com abacaxi Pérola, neste trabalho, foi registrado em sorgo, em estudos realizados por Nabati et al. (2013) e por Monteiro et al. (2018).

Figura 1. A - Fluorescência inicial (Fo) do fotossistema II; B - Eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm), em três variedades de abacaxizeiro, aos 15 meses de idade, em função dos níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEa). Fonte: Adaptado de Barreiro Neto (2006).



Já em relação à razão Fv/Fm, é um parâmetro de eficiência quântica do fotossistema II, obtido em estudos de fluorescência para se avaliar a eficiência energética da planta, em

condições de algum fator de estresse. A eficiência diminuiu com a elevação da salinidade nos três genótipos estudados, mas na cultivar Smooth Cayenne o decréscimo foi menor; em 'Pérola' a perda foi de 14% na eficiência quântica, entre os níveis extremos de CEa, mas na 'Smooth Cayenne' esse índice foi de apenas 5%. Segundo Tezara et al. (2005), plantas com valores de Fv/Fm abaixo de 0,8 estão sob condições de algum fator de estresse, fato registrado mais nas variedades Roxo e Pérola.

Importante no trabalho de Barreiro Neto (2006) foi, também, analisar o impacto da salinidade sobre a produção das plantas. O estresse salino afetou mais o peso do fruto sem coroa da cv. Smooth Cayenne, com reduções superiores a 60%, quando a condutividade elétrica da água de irrigação passou de 0,28 a 1,78 dS m⁻¹ e de 0,28 a 2,28 dS m⁻¹, respectivamente. Nos genótipos 'Pérola' e 'Roxo da Paraíba' as reduções foram de 38% e 47%, respectivamente, na comparação do peso dos frutos, entre o nível mais baixo de salinidade e a CEa de 1,78 dS m⁻¹, enquanto que na comparação com a CEa mais alta (2,28 dS m⁻¹), a redução foi similar, entre ambas as cultivares (entre 47% e 48%). Portanto, a perda de peso do fruto, inferior a 50%, que representa um dos critérios para classificação de tolerância à salinidade, destacado por Soil Salinity Laboratory (1954), ocorreu apenas nas cultivares Pérola e Roxo da Paraíba, nos níveis mais altos de CEa.

4 NECESSIDADES DE PESQUISA

As informações apresentadas nos itens anteriores, embora sejam relevantes para os interessados no assunto e sejam produto de estudos conduzidos com aplicação adequada da metodologia científica, deixam muitas lacunas tanto no conhecimento científico como nos aspectos que possam levar a orientações práticas do manejo da cultura do abacaxi, sob condições de estresse salino, no solo ou na água de irrigação.

Os resultados das pesquisas relatadas indicam grande variabilidade dos níveis de tolerância do abacaxizeiro ao estresse salino. Com base em dados da literatura, embora sejam em número insuficiente, é possível sugerir que as fases fenológicas mais críticas à salinidade, com maior impacto negativo sobre a produção, sejam as fases de diferenciação floral e de enchimento do fruto (MedCalf, 1982). Uma outra causa de variação nos resultados pode ser explicada, também, pela diversidade das condições onde foram realizadas as pesquisas, em termos de clima, solo, cultivares, composição de águas utilizadas na irrigação, dentre outros, fatores esses que afetam os efeitos da salinidade sobre as plantas.

Além do melhor conhecimento das fases mais críticas do ciclo da cultura ao estresse salino, é necessário conduzir estudos que possam embasar a definição do manejo de irrigação com água salina na cultura do abacaxi. Além disso, o manejo precisa ser adaptado às condições ambientais das principais regiões produtoras desta fruta, em condições do semiárido ou dos tabuleiros costeiros, ou, mais ainda, em condições do Cerrado brasileiro, com suas estações seca e úmida bem definidas.

Considere-se, igualmente, que o manejo deve envolver a definição do sistema de irrigação mais adequado. A maior parte das áreas irrigadas de abacaxi tem usado o sistema de aspersão ou microaspersão que simula uma chuva sobre a parte aérea das plantas. Nesse sistema, grande parte da água é captada pela copa do abacaxizeiro, conduzida à base das folhas e parte do caule, onde se acumula e é absorvida pelas folhas e pelas raízes adventícias presentes no caule. Essa boa capacidade de absorção do abacaxizeiro é explorada, no manejo mais tecnificado da cultura, mediante o fornecimento de adubos por essa via líquida. As recomendações técnicas indicam a possibilidade de aplicação de adubos líquidos em concentração total de sais de até 10% na cultura (Souza & Reinhardt, 2009), o que é mais um indicador da tolerância expressiva do abacaxizeiro à salinidade.

Os resultados reportados indicam variações entre genótipos de abacaxi com relação à resposta ao estresse salino, como mostrado no trabalho de Barreiro Neto (2006), bem como destacado por vários outros autores (Maas & Hoffman, 1977; MedCalf, 1982; Taiz et al. 2017). Portanto, nem sempre os resultados obtidos com uma determinada variedade podem ser extrapolados para outras variedades, nas mesmas condições ambientais. Este fato sugere a necessidade de pesquisa focada nas variedades efetivamente em uso pelos produtores locais, regionais e nacionais.

A avaliação da sensibilidade ou tolerância à salinidade necessita ser inserida em programas de melhoramento genético de plantas cultivadas, algo ainda pouco observado. No caso do abacaxizeiro, isto não tem sido feito. Os resultados diferenciados entre variedades, relatados nos estudos neste capítulo, sugerem a existência de variabilidade genética na espécie *Ananas comosus*, que pode ser explorada pela pesquisa. Há carência no estabelecimento de métodos de seleção de genótipos de abacaxi mais tolerantes à salinidade, em apoio aos programas de melhoramento genético. O foco deve ser a fase de ‘seedling’, o que permitirá o descarte daqueles sem as características desejáveis, tornando o trabalho de melhoramento genético mais objetivo. Atualmente, o programa de melhoramento genético do abacaxi em execução na Embrapa Mandioca e Fruticultura tem seu foco primordial na resistência à doença da fusariose, maior causa de perdas de mudas, plantas e frutos na cultura do abacaxi no Brasil. Os ‘seedlings’, comprovadamente resistentes à fusariose, poderiam passar por uma etapa adicional de avaliação com relação à tolerância à salinidade. A informação decorrente desta avaliação deve fazer parte da descrição das propriedades de uma nova variedade por ocasião do seu lançamento ao público de interesse.

As características fisiológicas do abacaxizeiro quando exposto à salinidade, também merecem maiores estudos básicos. Poucos têm sido os trabalhos focados, por exemplo, nos efeitos da salinidade sobre a fotossíntese do abacaxizeiro. Talvez tenha contribuído para o interesse relativamente restrito da comunidade científica em relação a este tema, o fato do abacaxizeiro possuir uma assimilação de gás carbônico via mecanismo CAM, sem paralelo entre as plantas cultivadas em larga escala. Desta forma, os resultados obtidos têm pouco valor de extrapolação para outras espécies cultivadas, ao contrário que ocorre no caso de culturas com fotossíntese C_3 ou C_4 . Segundo Bartholomew et al. (2018), a fisiologia e morfologia únicas de plantas CAM, em geral, e do abacaxizeiro em específico, tem contribuído

para um processo bastante lento de acumulação de conhecimento sobre o funcionamento do CAM e a sua fixação de CO₂, bem como a sua alocação nos ambientes diversos onde o abacaxi é cultivado.

LITERATURA CITADA

- Almeida, O. A.; Reinhardt, D. H. R. C. Irrigação. In: Cunha, G. A. P.; Cabral, J. R. S.; Souza, L. F. S. (org.). O abacaxizeiro. Cultivo, agroindústria e economia. Brasília: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 1999, p.203-227.
- Alvarez, C. E.; Carracedo, A. E.; Iglesias, E.; Bravo, J. J. Pineapple yield and quality on a banana soil of the Canary Islands irrigated with saline water. *Tropical Agriculture*, v.72, p. 220-224, 1995.
- Atta-Aly, M A; Shehata, N. G.; El-Kobbia, T. M. Effect of cobalt on tomato plant growth and mineral content. *Annals of Agricultural Sciences*, v.36, p.617-624, 1991.
- Attia, S. A. A.; Gad, N.; Abdel-Rahman H. M.; Shenoda, J. E.; Rizkalla, A. A. In-vitro enhancement of salinity tolerance in rice using cobalt sulfate. *World Applied Sciences Journal*, v.31, p.1311-1320, 2014. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2014.31.07.14419
- Baker, N. R.; Rosenqvist, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: An examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, v.55, p.1607-1621, 2004.
- Barreiro Neto, M. Viabilidade do uso de água salina no cultivo de genótipos de abacaxizeiro. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2006. 140f. Tese de Doutorado em Recursos Naturais. <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/3396>.
- Barreiro Neto, M.; Fernandes, P. D.; Gheyi, H. R.; Franco, C. F. O. Salinidade da água de irrigação: influência no crescimento e desenvolvimento de genótipos de abacaxizeiro. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, v. 11, p. 57-70, 2017.
- Barroso, P.A.V.; Moura, G. E. D. D.; Brito, L. K. F.; Martins, C. P.; Macedo, C. E. C.; Lopes, D. B.; Alloufa, M. A. I. Efeito do cultivo in vitro na presença de NaCl em plantas de abacaxizeiro na fase de aclimatação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.3, p.473-477, 2003.

- Bartholomew, D. P. Crop environment, plant growth and physiology. In: Sanewski, G. M.; Bartholomew, D. P.; Paull, R. E. (eds.). The pineapple: Botany, production and uses. Wallingford: CABI, 2018. p. 105-142.
- Bolhàr-Nordenkamp, R.; Long, P.; Baker, N. R.; Oquist, G.; Schreiber, U.; Lechner, E. G. Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. *Functional Ecology*, v.3, n.1, p.497-514, 1989.
- Brito, C. F. B.; Fonseca, V. A.; Santos, M. R. dos; Arantes, A. de M.; Donato, S. L. R. Irrigation with saline water on pineapple grown in the semiarid of Bahia State. *Bioscience Journal*, v. 35, n. 6, p. 1810-1820, 2019. <http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v35n6a2019-41898>
- Brito, C. F. B.; Fonseca, V. A.; Santos, M. R. dos S.; Donato, S. L. R.; Arantes, A. de M.; Santos, A. J. dos. Photochemical efficiency in pineapple plants under saline water irrigation. *Revista Ambiente e Água*, v. 15, n. 5, e2564, 2020. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2564>
- Carlier, J. D.; d'Eeckenbrugge, G. C.; Leitão, J. M. Pineapple. *Fruits and nuts*, v.18, p.331-342, 2007.
- Carvalho, A. M. Irrigação no abacaxizeiro. *Informe Agropecuário*, v.19, n.195, p.58-61, 1998.
- Côte, F. X.; Folliot, M.; Andre, M. Photosynthetic crassulacean acid metabolism in pineapple: Diel rhythm of CO₂ fixation, water use, and effect of water stress. *Acta Horticulturae*, v.334, p.113-129, 1993.
- Ekern, P. C. Evapotranspiration of pineapple in Hawaii. *Plant Physiology*, v.40, p.736-739, 1965.
- Elhag, A. Z.; Elzain, H. Sodium chloride tolerance of pineapple (*Ananas comosus* Merrill) in vitro. *Journal of Applied Agricultural Research*, v. 4, n. 2, p. 105-110, 2012.
- Gad, N. Interactive effect of cobalt and salinity on tomato plants. 1-some physiological parameters as affected by cobalt and salinity. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, v.1, p.270-276, 2005.
- Hala, E.; Enas, A. M. A.; Al-Ansary, A. M. F.; Gad, N.; Abdel-Hameed, M.; Rizkalla, A. A. Improving salt stress tolerance of pineapple cv. Queen using cobalt *in vitro*. *Annual Research & Review in Biology*, v.22, p.1-12, 2018.
- Hamed, A. M.; Ali, E. A. M. Effect of different sea water concentrations on growth parameters of pineapple (*Ananas comosus*) in vitro and in vivo. *Journal of Applied Sciences Research*, v.3, n.8, p. 713-722, 2007.

- Hanafi, M. M.; Shadullahi, S. M.; Niazuddin, M.; Abd Aziz, Z.; Mohammud, C. H. Potential use of sea water for pineapple production in BRIS soil. *International Journal of Agricultural & Biology*, v. 12, n. 3, p. 396-400, 2010.
- Hasan, S. M. Z.; Abdullah, N. S. Effect of salinity on growth, proline accumulation and malate content of pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merrill) under tissue culture condition. *Malaysian Applied Biology*, v. 36, n. 2, p. 57-63, 2007.
- Ibrahim, M. A. Effect of NaCl stress on pineapple plant (*Ananas comosus* Merr. (L.) cv. MD2) in vitro. *International Journal of Farming and Allied Sciences*, v.2, n.9, p.206-210, 2013.
- Jimenez, J. V.; Sanewski, G. M.; Reinhardt, D. H.; Bartholomew, D. P. Cultural system. In: Sanewski, G. M.; Bartholomew, D. P.; Paull, R. E. (eds.). *The pineapple; Botany, production and uses*. 2.ed. Wallington: CAB International, 2018. p. 143-174.
- Joshi, M. C.; Boyer, J. S.; Kramer, P. J. Growth, carbon dioxide exchange, transpiration, and transpiration ratio of pineapple. *Botanical Gazette*, v. 126, p. 174-179, 1965.
- Konrad, M.L.F.; Silva, J.A.B.; Furlani, P.R.; Machado, E.C. Gas exchange and chlorophyll fluorescence in six coffee cultivars under aluminum stress. *Bragantia*, v.64, n.3, p.339-347, 2005.
- Liu, C.; Chen, J. Effects of salt stress on growth, ion concentration and quality of pineapple fruits. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.45, n.14, p.1949-1960, 2014. <http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2014.909837>
- Maas, E. V.; Hoffman, G. J. Crop salt tolerance - Current assessment. *Journal of the Irrigation and Drainage Division of ASCE*, v.103, p.115-134, 1977.
- Marinho, F. J. L.; Fernandes, P. D.; Gheyi, H. R. Desenvolvimento inicial do abacaxizeiro, cv. Smooth Cayenne, sob diferentes condições de salinidade da água. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.2, p.1-5, 1998.
- McCall, W. W. The salt tolerance of plants. Honolulu: Hawaii Cooperative Extension Service. University of Hawaii, 1980. 2p. General Home Garden Series. No. 21
- Medcalf, J. C. Respostas do abacaxizeiro quando irrigado. In: *Simpósio Brasileiro sobre Abacaxicultura*, 1, 1982, Jaboticabal, SP. Anais. Jaboticabal, SP: FCAV, p.91-98, 1982.

- Melo, Y. L.; Dantas, C. V. S.; Lima-Melo, Y.; Maia, J. M.; Macêdo, C. E. C. de. Changes in osmotic and ionic indicators in *Ananas comosus* (L.) cv. MD Gold pre-treated with phytohormones and submitted to saline medium. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 39, n. 2, p. 01-14, 2017.
- Ming, R.; van Buren, R.; Wai, C.; Tang, H.; Schatz, M. C.; Bowers, J. E.; Lyons, E.; Wang, M. L.; Chen, J.; Biggers, E.; Zhang, J.; Huang, L.; Zhang, L.; Miao, W.; Zhang, J.; Ye, Z.; Miao, C.; Lin, Z.; Wang, H.; Zhou, H.; Yim, W. C.; Priest, H. D.; Zheng, C.; Woodhouse, M.; Yu, Q. The pineapple genome and the evolution of CAM photosynthesis. *Nature Genetics*, v. 47, p.1435–1442, 2015. doi:10.1038/ng.3435
- Monteiro, D. R.; Melo, H. F.; Lins, C. M. T.; Dourado, P. R. M.; Santos, H. R. B.; Souza, E. R. Chlorophyll a fluorescence in saccharine sorghum irrigated with saline water. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.22, n.10, p.673-678, 2018.
- Nabati, J.; Kafi, M.; Mehrjerdi, M. Z. Effect of salinity and silicon application on photosynthetic characteristics of sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *International Journal of Agricultural Sciences*, v.3, p.483-492, 2013.
- Neales, T. F.; Patterson, A. A.; Hartney, V. J. Physiological adaptation to drought in the carbon assimilation and water loss of xerophytes. *Nature*, v. 219, p. 469–472, 1968.
- Neild, R. E.; Boshell, F. An agroclimatic procedure and survey of the pineapple production potential of Colombia. *Agricultural Meteorology*, v.17, p.81- 82, 1976.
- Nose, A.; Miyazato, K.; Murayama, S. Studies on matter production in pineapple plant. II. Effects of soil moisture on the gas exchange of pineapple plants. *Japan Journal of Crop Science*, v.50, p. 525–535, 1981.
- Pereira, P.C.; Melo, B. Cultura do abacaxizeiro. Disponível em <http://www.fruticultura.iciag.ufu.br/abacaxi-2.html>, 2005 Acesso em 27/03/2022.
- Py, C.; Lacoeyllhe, J. J.; Teisson, C. L. Ananás: sa culture, ses produits. Paris: Maisonneuve et Larose, 1984. 537p.
- Py, C.; Lacoeyllhe, J. J.; Teisson, C. L. The pineapple. Cultivation and uses. Paris: Editions G.P. Maisonneuve, 1987, 455p.
- Rotondano, A. K. F.; Melo, B. Irrigação na cultura do abacaxizeiro. 2005. Disponível em <http://www.fruticultura.iciag.ufu.br/irriga7.html>. Acesso em 27/03/2022.

- Saleh, B. Salt tolerance evaluation in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) using RAPD marker. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, v.11.p.11-20, 2015.
- Samuel, K.; Salomé, Y.; Souleymane, C.; Hilaire, K. Effect of salinity on some morphophysiological characters of somatic embryogenesis-regenerated plants of pineapple [*Ananas comosus* (L.) Merr. cv. Smooth Cayenne]. *Journal of Recent Advances in Applied Sciences*, v.31, n.1, p.1-9, 2018.
- Santana, B.S.; Willadino, L.; Cunha, P.C.; Alves, R.O.F.; Rangel, T.C. Mecanismos fisiológicos e bioquímicos do abacaxi ornamental sob estresse salino. *Revista Caatinga*, v.24, n.3, p.71-77, 2011.
- Shanon, M. C. Effect of cobalt on tomato plants grown under salinity conditions. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v.12, p.644-650, 2002.
- Sideris, C.P. Effects of seawater spray on pineapple plants. *Phytopathology*, v.45, p.590-594, 1955.
- Sideris, C.P.; Young, H. Y. Effects of chlorides on the metabolism of pineapple plants. *American Journal of Botany*, v. 41, p. 847-854, 1954.
- Silva, C.A.; Silva, C.J. Irrigação na cultura do abacaxizeiro. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, v.5, n.9, p.1-15, 2006.
- Soil Salinity Laboratory. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, 1954. USDA Handbook, 60
- Souza, L.F.S.; Reinhardt, D.H. Abacaxizeiro. In: Crisóstomo, L.A.; Naumov, A. (org.). *Adubando para a alta produtividade e qualidade: fruteiras tropicais do Brasil*. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2009. p.182-205. IIP. Boletim 18
- Stewart, S. E. Effect of cobalt on tomato plants under saline irrigation. *Horticultural Science*, v.6, p.82-85, 2001.
- Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I.M.; Murphy, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 761p.
- Tezara, W.; Marín, O.; Rengifo, E.; Martínez, D.; Herrera, A. Photosynthesis and photoinhibition in two xerophytic shrubs during drought. *Photosynthetica*, v.43, p.37-45, 2005.
- Wambiji, H.; El-Swaify, S. A. Effects of soil salinity status on pineapple. I. Growth parameters. Honolulu: University of Hawaii, 1974. 14p. Hawaii Agricultural Experiment Station Paper, 22

Zhang, J.; Liu, J.; Ming, R. Genomic analyses of the CAM plant pineapple. *Journal of Experimental Botany*, v.65, n.13, p.3395-3404, 2014. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru101>

ANONÁCEAS - PINHA E GRAVIOLA

Francisco Vanies da Silva Sá^{1}, Tayd Dayvison Custódio Peixoto²,
Geovani Soares de Lima³, André Alisson Rodrigues da Silva³,
Luderlândio de Andrade Silva³, Hans Raj Ghey³*

RESUMO: A família *Annonaceae* abrange, aproximadamente, 120 gêneros e mais de 2.000 espécies. No Brasil, estão registradas cerca de 260 espécies, sendo a pinha (*Annona squamosa* L.) e a graviola (*Annona muricata* L.) as de maior importância econômica. Estão presentes em todo o Brasil, porém 97% da área cultivada com pinheira e 86% da área com gravioleira estão na região Nordeste, na qual está a maior parte do semiárido brasileiro. Portanto, os cultivos bioassalinos de anonáceas são importantes para a região. A pinheira é mais tolerante ao estresse salino na fase reprodutiva do que nas fases de mudas e vegetativa, indicando aclimação da cultura ao estresse salino. É possível afirmar que a gravioleira, sob estresse salino, tem baixa eficiência fotoquímica, que persiste na fase vegetativa, onde aumenta o ‘quenching’ fotoquímico. A fotossíntese da gravioleira é mais sensível ao estresse salino que a da pinheira. Estudos apontam que a adubação adequada com nitrogênio, fósforo e potássio, nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura da pinheira mitiga o estresse salino. O

¹ Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, Catolé do Rocha, PB, Brasil

² Universidade Federal Rural do Semiárido - UFERSA, Mossoró, RN, Brasil

³ Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande, PB, Brasil

* Autor correspondente: vanies_agronomia@hotmail.com

tratamento das sementes e a pulverização foliar com peróxido de hidrogênio e ácido salicílico mitigam o estresse salino na gravioleira.

Palavras-chave: *Annona squamosa*, *Annona muricata*, respostas fisiológicas, salinidade.

ANONACEAE - SUGAR APPLE AND SOURSOP

ABSTRACT: The *Annonaceae* family comprises approximately 120 genera and more than 2,000 species. In Brazil, about 260 species are registered, with the sugar apple (*Annona squamosa* L.) and the soursop (*Annona muricata* L.) being the most economically important. They are present all over Brazil, but 97% of the cultivated area with sugar apple trees and 86% with soursop trees is in the Northeast region, where most of the Brazilian semiarid region is located. Therefore, biosaline crops of *Annonaceae* are important for the region. The sugar apple tree is more tolerant to salt stress in the reproductive phase than in the seedling and vegetative phases, indicating acclimatization of the crop to salt stress. It is possible to state that soursop, under salt stress, has low photochemical efficiency, which persists in the vegetative phase, where photochemical quenching increases. The photosynthesis of soursop is more sensitive to salt stress than that of sugar apple. Research shows that adequate fertilization with nitrogen, phosphorus, and potassium at different stages of the development of sugar apple mitigates salt stress. Seed treatment and foliar spraying with hydrogen peroxide and salicylic acid mitigate salt stress in soursop.

Key words: *Annona squamosa*, *Annona muricata*, physiological responses, salinity.

1 INTRODUÇÃO

A família *Annonaceae* constitui-se de, aproximadamente, 120 gêneros e mais de 2.000 espécies. Ao todo, são registrados 29 gêneros no Brasil, com aproximadamente 260 espécies, e destaque para duas de alto valor econômico, a pinha (*Annona squamosa* L.) e a graviola (*Annona muricata* L.) (Braga Sobrinho & Mesquita, 2017).

A pinha, comumente denominada, em algumas regiões do país, como ata e fruta-do-conde, é uma frutífera adaptada a climas tropical e subtropical (Braga Sobrinho, 2014). É uma planta de porte arbóreo ou arbustivo, com altura de 4 a 6 m, copa bastante ramificada, folhas lanceoladas, decíduas, de coloração verde brilhante na face superior e verde azulada em sua face abaxial; flores com três pétalas e três sépalas, sendo as pétalas amarelo-verdosas por fora e amareladas com uma mancha roxa na base, ocorrência em ramos novos (Cordeiro et al., 2000).

O fruto da pinheira é baga composta, de 5 e 10 cm de diâmetro, com forma arredondada, ovoide, esférica ou cordiforme, coloração esverdeada, sendo formado por muitos carpelos grandes, que envolvem cada semente separadamente, em torno de 68 por fruto. O peso médio do fruto da pinheira é variável, podendo alcançar 800 g, porém os frutos comerciais variam entre 210 e 620 g, contendo cerca de 38,5% de polpa, 56,0% de casca e 5,5% de sementes (Cordeiro et al., 2000).

Os frutos de pinha têm propriedades medicinais e nutricionais, agradável sabor, com teor de sólidos solúveis totais acima de 20° Brix e acidez total titulável abaixo de 0,24% (Araújo Filho et al., 1998). Vale salientar, também, a presença de vitaminas A, B, C, E, K1, ácidos graxos poli-insaturados, antioxidantes e minerais fundamentais, com atuação no tratamento de doenças cardíacas, diabete, hipertireoidismo e até do câncer (Senthil & Silambarasan, 2015). Tais características têm impulsionado o consumo dessa fruta no país, desde os anos 80. No último censo agropecuário de 2017, foi constatada a existência de mais de 2,7 mil estabelecimentos produtores de pinha, com área colhida de 3.481 ha, sendo 97% localizados na região Nordeste do país, resultando em produção anual de 8.559 toneladas de frutos (IBGE, 2017).

A gravioleira é considerada a mais tropical das anonáceas, com hábito de crescimento ereto, altura média de 4 a 8 metros na fase adulta, caule único e com ramificação assimétrica. As folhas apresentam pecíolo curto, são oblongo-lanceoladas ou elípticas, medindo 14 a 16 cm de comprimento e 5 a 7 cm na maior largura; as nervuras são pouco perceptíveis. As flores são perfeitas, hermafroditas, com coloração externa de verde-escura a verde-clara e interna amarelo-pálida, geralmente grandes e isoladas, que nascem no tronco e nos ramos (Manica, 1997).

O fruto da gravioleira tem forma variando entre ovóide, cordiforme ou irregular, com peso oscilando entre 0,99 kg a 2,05 kg, conforme a variedade (Castro et al., 1984; Silva et al., 2013). A polpa branca, de cheiro forte e acre, quando verde, torna-se suave, agradável, sucosa, refrigerante, doce, ligeiramente ácida e cotonosa ao amadurecer (Castro et al., 1984). Os frutos têm, em média, 100 sementes de 1 a 2 cm de comprimento e peso de 0,59 g por

semente; elas têm dormência tegumentar, sendo necessária sua escarificação e/ou imersão em água fria durante 24 horas para perfeita germinação (Ramos, 1992).

A graviola tem se destacado pelas suas características sensoriais de sabor e aroma, bastante utilizadas tanto para consumo *in natura*, quanto para o aproveitamento pela agroindústria, visando à obtenção de polpa, suco, néctar, dentre outros (Oliveira et al., 2019). É rica em vitamina C, cálcio, carboidratos, água e substâncias com atividade antioxidante que têm recebido grande atenção, pois auxiliam na proteção do organismo humano, combatendo o estresse oxidativo e prevenindo diversos distúrbios crônico-degenerativos (TACO, 2006; Yahia, 2010).

Assim como a pinheira, o consumo da graviola foi impulsionado no Brasil, a partir da década de 80. No censo agropecuário de 2017, foram registrados no Brasil mais de 4,6 mil pomares de gravioleira, em uma área de 2.760 ha, dos quais 86% estavam na região Nordeste do país, resultando em produção estimada de 6.467.000 frutos por ano (IBGE, 2017). A grande maioria dos pomares de pinheira e gravioleira ocorre no Nordeste brasileiro, com destaques para os estados Bahia, Rio Grande do Norte e Alagoas como os maiores produtores de pinha e maior produção de graviola em Bahia, Pernambuco e Alagoas (IBGE, 2017).

Como já citado antes, grande parte do semiárido brasileiro se encontra na região Nordeste do país, existindo, portanto, cultivos bioassalinos de anonáceas nesta região, uma vez que os solos podem estar salinizados e/ou são utilizadas fontes de água salobra, comuns em regiões semiáridas. Em diversos trabalhos, os pesquisadores visaram identificar padrões ecofisiológicos para as anonáceas pinha e graviola, cultivadas sob condições de salinidade, para estudar os efeitos do estresse na produção e qualidade dos frutos.

2 RISCO DO ESTRESSE SALINO PARA O CULTIVO DAS ANONÁCEAS

2.1 Uso de águas salinas

As áreas que abrangem o semiárido enfrentam sérios problemas relacionados à escassez de recursos hídricos porque a pluviosidade varia ao longo do tempo. Além disso, a região não possui robusta rede de reservatórios superficiais, nem rios perenes em abundância, predominando os rios intermitentes, solos rasos e rochas cristalinas, o que limita as trocas de água entre rios e lençóis freáticos adjacentes. No que se refere a recursos hídricos subterrâneos, há predominância de águas com elevados teores de sais, porque o território nordestino é constituído por mais de 80% de rochas cristalinas, principalmente caracterizadas por poços de baixa vazão, em torno de 1.000 L h⁻¹ (Cirilo et al., 2010).

Em tais condições, os cultivos bioassalinos são imprescindíveis, uma vez que a escassez de recursos hídricos faz com que seja necessário o uso de toda a água disponível, para garantir a manutenção da agricultura, incluindo as águas classificadas como salobras e salinas. Além disso, o potencial produtivo no semiárido é limitado, visto que a desuniformidade espacial e temporal das precipitações pluviométricas da região eleva a quantidade de sais nas fontes hídricas.

Pela literatura, sabe-se que a utilização de águas salinas em irrigação prejudica os processos fisiológicos e bioquímicos das plantas, resultando em menor crescimento e produção das culturas. No entanto, a crescente demanda alimentícia, ao lado da escassez de água de boa qualidade (baixa salinidade), torna necessária a utilização de águas de qualidade inferior para produção de alimentos.

O uso de água salina na agricultura pode ser considerado uma alternativa importante no cenário de recursos naturais escassos. Todavia, o uso dessas águas eleva os teores de sais no solo, principalmente os teores de sódio trocável; ao serem absorvidos, exercem efeitos negativos sobre as plantas, promovendo alterações de natureza iônica, osmótica, nutricional e hormonal (Flowers & Flowers, 2005). Os efeitos sobre crescimento e desenvolvimento dos vegetais são variados, a partir da inibição da germinação e perdurando até a fase de produção, os quais variam em função da espécie, do tempo de exposição e do tipo de sais presente no meio, sendo necessário um manejo criterioso (Ayers & Westcot, 1999).

2.2 Cultivo de pinheiras

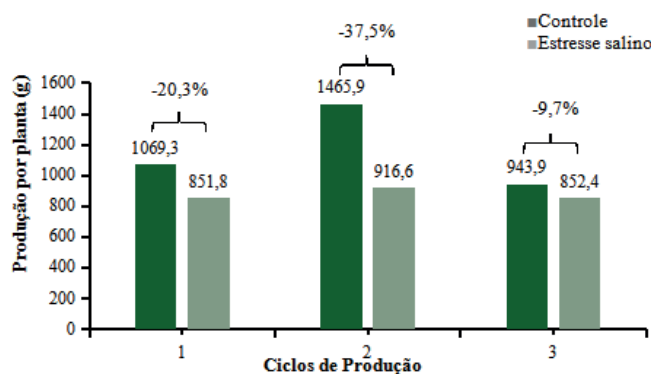
Um dos primeiros relatos da literatura sobre os efeitos adversos do estresse salino, causados em plantas de pinheira, ocorreu em 1996, quando Marler & Zozor (1996) avaliaram a fotossíntese de mudas de pinheira, expostas a 1,0, 3,0 e 6,0 dS m⁻¹. Aos 19 e 38 dias após aplicação de tratamentos (DAT), os autores constataram redução da fotossíntese desde os 19 dias e, aos 38 DAT, o estresse salino diminuiu a fotossíntese em 50 e 70% nos tratamentos de salinidade de 3,0 e 6,0 dS m⁻¹, respectivamente.

A pinheira acumula excessivamente Na⁺ e Cl⁻ nos tecidos jovens sob condições de estresse salino. De acordo com Passos et al. (2005), quando exposta a 100 mM L⁻¹ de NaCl, a pinheira acumula 6,4 vezes mais Na⁺ na raiz, 9,9 vezes mais nas folhas jovens e 1,4 vez mais nas folhas maduras, em comparação a plantas do controle. O cloro, por sua vez, acumula-se 2,1 vezes mais na raiz, 1,9 vez a mais nas folhas jovens e 2,9 vezes mais nas folhas maduras, quando comparadas ao controle. O acúmulo excessivo de íons nas folhas jovens é uma das principais causas do comprometimento do crescimento da pinheira sobre estresse salino. Redução do crescimento de mudas ocorre a partir de 1,2 dS m⁻¹, porém essas reduções passam a ser drásticas a partir de 2,4 dS m⁻¹, onde a perda de biomassa atinge 40% (Sá et al., 2015).

São escassos trabalhos na literatura avaliando a cultura desde o transplantio até a produção. Em trabalhos pioneiros nesse sentido (Sá et al., 2021), foram constatadas que a pinheira irrigada com água de 3,0 dS m⁻¹ diminui as trocas gasosas, a fluorescência da clorofila, o crescimento e a produção de frutos, em relação ao controle, no primeiro ano de cultivo.

A redução da frutificação persiste no segundo e terceiro ciclos de produção (Figura 1), todavia a produção na condição de estresse salino permanece estável, em média 873,6 g por planta por ciclo. No entanto, há uma variação sazonal da produção na condição controle, o que é comum em plantas frutíferas.

Figura 1. Produção de plantas de pinheira irrigadas em condição controle ($0,8 \text{ dS m}^{-1}$) e de estresse salino ($3,0 \text{ dS m}^{-1}$) no primeiro, segundo e terceiro ciclos de produção, considerando 24 plantas para cada condição de salinidade. Fonte: Adaptado de Sá et al. (2021), Ferreira et al. (2022) e Silva et al. (2022).



2.3 Cultivo de gravioleiras

A gravioleira, de acordo com Cavalcante et al. (2001), é considerada moderadamente tolerante aos sais durante o crescimento inicial, tolerando a irrigação com águas salinas de até $3,0 \text{ dS m}^{-1}$. Passos et al. (2005) submetem plantas com idade de duas e oito semanas a diferentes níveis de NaCl e constataram que as mais jovens foram mais sensíveis à salinidade, ocorrendo morte de todas elas, quando expostas por duas semanas a 100 e 300 mM de NaCl, particularmente após sete dias. Os autores notaram que Na^+ e Cl^- se acumularam principalmente em folhas jovens.

Nobre et al. (2003) verificaram que águas de até $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ não afetaram a germinação de sementes de gravioleira cv. Morada, mas águas salinas a partir de $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ diminuem significativamente sua velocidade de emergência. Esse fato é indicativo que as plantas de gravioleira conseguem se aclimatar ao estresse salino quando são expostas desde a fase de germinação ou duas semanas após emergência. No entanto, as plantas jovens germinadas na ausência de salinidade têm dificuldades para se aclimatar.

Ainda segundo os autores, o acúmulo de fitomassa na parte aérea e radicular, do porta-enxerto cv. Morada, decresceu com aumento da CE da água. Após a enxertia, os autores observaram que a taxa de pegamento da muda é drasticamente afetada pela salinidade, ocorrendo morte de todas as mudas enxertadas submetidas a uma salinidade superior a $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ (Nobre et al., 2003). De acordo com resultados obtidos por Passos et al. (2005), a morte das mudas está relacionada à sensibilidade à salinidade dos brotos jovens e não aclimatados de gravioleira, que acumulam grandes concentrações de Na^+ e Cl^- em seus tecidos.

São escassos trabalhos sobre efeitos da salinidade, em estudos que avancem além da fase de mudas da gravioleira. Não há relatos na literatura com abrangência das fases posteriores à da produção de mudas em cultivos biossalinos. Portanto, novas pesquisas são necessárias para melhorar o entendimento sobre o estresse salino na gravioleira.

3 TENDÊNCIA DE PARÂMETROS ECOFISIOLÓGICOS DA PINHEIRA E GRAVIOLEIRA SOB ESTRESSE SALINO

3.1 Metodologia adotada para identificar a tendência dos parâmetros ecofisiológicos

Realizou-se uma compilação de dados de parâmetros ecofisiológicos em cultivos de anonáceas, em ambiente protegido, sob irrigação com água salina, especificamente, da cultura da pinheira nos estádios de desenvolvimento de mudas, vegetativo e reprodutivo, como também da cultura da gravioleira, nas fases de mudas e vegetativa.

Os dados apresentados dos parâmetros ecofisiológicos, para a pinheira na fase de mudas, utilizaram como controle a condutividade elétrica da água de irrigação (CE) de 0,5 dS m⁻¹ e, para o estresse salino, a CE de 3,5 dS m⁻¹. A pesquisa considerou 20 repetições para cada condição. Os parâmetros ecofisiológicos para a pinheira, tanto na fase de vegetativa quanto na fase reprodutiva, utilizaram para o controle a condutividade elétrica da água de 0,8 dS m⁻¹ e, para o estresse salino, a CE de 3,0 dS m⁻¹, com 24 repetições cada.

Para a gravioleira, foram apresentados dados dos parâmetros ecofisiológicos na fase de germinação e mudas, que utilizaram para o controle a CE de 0,5 dS m⁻¹ e, para o estresse salino, a CE de 3,5 dS m⁻¹, com 20 repetições. Para a gravioleira na fase de vegetativa, utilizou-se no controle a CE de 0,8 dS m⁻¹ e, para o estresse salino, a CE de 3,2 dS m⁻¹, com 12 repetições.

Na pinheira, os dados da fase de mudas foram obtidos aos 90 dias após a semeadura (DAS). Na fase vegetativa e reprodutiva, os dados foram obtidos aos 180 e 300 dias após o transplantio das mudas, respectivamente. Na gravioleira, os dados da fase de mudas foram obtidos aos 90 DAS. Na fase vegetativa, os parâmetros foram medidos aos 480 dias após o transplantio das mudas.

Os dados de trocas gasosas foram mensurados com um analisador de gás infravermelho (LCPro⁺ - ADC Bio Scientific Ltd.), operando com controle de temperatura a 25 °C, irradiação de 1200 μmol de fótons m⁻² s⁻¹ e vazão de ar de 200 mL min⁻¹ no nível atmosférico de CO₂, para obter as seguintes variáveis: Taxa de assimilação de CO₂ - AN (μmol (CO₂) m⁻² s⁻¹), transpiração - E (mmol (H₂O) m⁻² s⁻¹), condutância estomática - gs (mol (H₂O) m⁻² s⁻¹) e concentração interna de CO₂ - Ci (μmol (CO₂) mol⁻¹) entre a terceira e quinta folha totalmente expandida, contada a partir do ápice da planta. Estes dados foram utilizados para quantificar a eficiência instantânea do uso da água - AN/E [(μmol (CO₂) m⁻² s⁻¹) (mmol (H₂O) m⁻² s⁻¹)⁻¹], eficiência intrínseca do uso da água - AN/gs [(μmol (CO₂) m⁻² s⁻¹) (mol (H₂O) m⁻² s⁻¹)⁻¹] e eficiência de carboxilação instantânea - AN/Ci [(μmol (CO₂) m⁻² s⁻¹) (μmol (CO₂) mol⁻¹)⁻¹].

Em sequência, nas mesmas folhas em que foram determinadas as trocas gasosas, foi determinada a fluorescência da clorofila *a*, usando-se o equipamento fluorômetro de pulso modulado ("OS5p" - Opti Science). Utilizou-se como protocolo o *Fv/Fm* para determinações em condições de escuro. O protocolo foi realizado após adaptação das folhas ao escuro por um período de 30 min, usando-se de um clipe do equipamento, de modo a garantir que todos os aceptores estivessem oxidados, ou seja, para que os centros de reação estivessem abertos.

Nessas condições, determinou-se os seguintes parâmetros de indução de fluorescência: fluorescência inicial - F_o (μmol (fótons) $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), fluorescência máxima - F_m (μmol (fótons) $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), fluorescência variável - F_v ($F_v = F_m - F_o$) (μmol (fótons) $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), máxima eficiência quântica do FS II (F_v/F_m), rendimento quântico basal dos processos fotoquímicos no FSII (F_o/F_m) e a eficiência fotoquímica no FS II (F_v/F_o) (Genty et al., 1989).

Posteriormente, ainda com o uso do fluorômetro de pulso modulado, procedeu-se às avaliações em condições de claro, usando-se do protocolo Yield e, aplicando uma fonte de iluminação actínica com pulso multi flash saturante, acoplado a um clipe de determinação da radiação fotossinteticamente ativa (PAR-Clip) visando-se determinar os seguintes parâmetros: fluorescência inicial antes do pulso de saturação - F' (μmol (fótons) $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), fluorescência máxima após adaptação à luz saturante - F_m' (μmol (fótons) $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa de transporte de elétrons - ETR (μmol (fótons) $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), radiação fotossinteticamente ativa - PAR (μmol (fótons) $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e eficiência quântica do fotossistema II - Y . De posse desses dados, determinaram-se: fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado - F_o' (μmol (fótons) $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), usando-se a equação 1; o coeficiente de extinção fotoquímico pelo modelo lake - qL , usando a equação 2; o rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada - $YNPQ$, usando a equação 3; o rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada - YNO , com uso da equação 4.

$$F_o' = [F_o/(F_m - F_o)/F_m + (F_o/F_m)'] \quad \text{Oxborough \& Baker (1997)} \quad (\text{eq. 1})$$

$$qL = (F_m' - F')/(F_m' - F_o') * (F_o')/(F') \quad \text{Kramer et al. (2004)} \quad (\text{eq. 2})$$

$$Y(NPQ) = (F'/F_m') - (F'/F_m) \quad \text{Kramer et al. (2004)} \quad (\text{eq. 3})$$

$$Y(NO) = F'/F_m \quad \text{Kramer et al. (2004)} \quad (\text{eq. 4})$$

A variância dos dados obtidos foi avaliada por meio do erro padrão da média amostral. Com esses dados, avaliou-se a tendência dos parâmetros ecofisiológicos das plantas, como também se constataram as alterações quando as plantas são submetidas ao estresse salino. O efeito do estresse salino foi classificado em três aspectos: diminui, aumenta ou é indiferente, visto que a porcentagem máxima para o critério “indiferente” é de variação de até 2,00%, comparando-se os dados médios do estresse salino com o controle.

3.2 Germinação e fase de mudas da pinheira

Na Tabela 1, estão disponíveis os parâmetros ecofisiológicos da pinheira na fase de mudas. Nesta fase das plantas, a irrigação com água de alta salinidade causou a diminuição da maioria dos parâmetros de trocas gasosas, como concentração interna de CO_2 (C_i), condutância estomática (g_s), taxa de assimilação de CO_2 (AN), transpiração (E), eficiência instantânea do uso da água (AN/E) e eficiência instantânea de carboxilação (AN/C_i).

Tabela 1. Tendência dos parâmetros ecofisiológicos de mudas de pinheira irrigada com água salina

Fase de mudas				
Parâmetros	Controle (0,5 dS m ⁻¹)	Estresse Salino (3,5 dS m ⁻¹)	Efeito do estresse	%
<i>Ci</i> (μmol (CO ₂) mol ⁻¹)	207,2500 ± 4,7781	192,9500 ± 4,2831	Diminui	6,90
<i>E</i> (mmol (H ₂ O) m ⁻² s ⁻¹)	1,2360 ± 0,0403	1,1860 ± 0,0988	Diminui	4,05
<i>gs</i> (mol (H ₂ O) m ⁻² s ⁻¹)	0,0555 ± 0,0025	0,0465 ± 0,0048	Diminui	16,22
<i>AN</i> (μmol (CO ₂) m ⁻² s ⁻¹)	5,7485 ± 0,1958	4,9860 ± 0,4115	Diminui	13,26
<i>AN/E</i> [(μmol (CO ₂) m ⁻² s ⁻¹)(mmol (H ₂ O) m ⁻² s ⁻¹) ⁻¹]	4,6595 ± 0,0787	4,2250 ± 0,0886	Diminui	9,32
<i>AN/gs</i> [(μmol (CO ₂) m ⁻² s ⁻¹)(mol (H ₂ O) m ⁻² s ⁻¹) ⁻¹]	104,9880 ± 2,4115	112,7327 ± 4,4170	Aumenta	7,38
<i>AN/Ci</i> [(μmol (CO ₂) m ⁻² s ⁻¹)(μmol (CO ₂) mol ⁻¹) ⁻¹]	0,0279 ± 0,0010	0,0259 ± 0,0020	Diminui	7,27
<i>Fo</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	903,5000 ± 9,8112	876,3000 ± 15,2595	Diminui	3,01
<i>Fm</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	3371,4500 ± 35,1650	3051,7000 ± 51,8196	Diminui	9,48
<i>Fv</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	2467,9500 ± 31,2661	2175,4000 ± 45,0886	Diminui	11,85
<i>Fv/Fm</i>	0,7313 ± 0,0028	0,7118 ± 0,0048	Diminui	2,67
<i>Fv/Fo</i>	2,7357 ± 0,0086	2,4911 ± 0,0119	Diminui	8,94
<i>Fo/Fm</i>	0,2682 ± 0,0006	0,2878 ± 0,0011	Aumenta	7,29
<i>Fs</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	160,5000 ± 4,7575	151,7000 ± 7,2628	Diminui	5,48
<i>Fms</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	288,8000 ± 15,2202	213,1000 ± 13,9361	Diminui	26,21
<i>Y</i>	0,4225 ± 0,0247	0,2731 ± 0,0168	Diminui	35,37
<i>ETR</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	52,1200 ± 3,9372	39,9000 ± 2,6387	Diminui	23,45
<i>PAR</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	307,2500 ± 21,7185	359,8500 ± 19,84828	Aumenta	17,12
<i>Fo'</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	5,7975 ± 0,3969	7,9281 ± 0,4410	Aumenta	36,75
<i>qL</i>	0,0151 ± 0,0009	0,0149 ± 0,0010	Indiferente	--
<i>Ynpq</i>	0,5293 ± 0,0252	0,6766 ± 0,0178	Aumenta	27,83
<i>Yno</i>	0,0477 ± 0,0014	0,0498 ± 0,0024	Aumenta	4,54

Média ± Erro padrão, n=20.

Ci = concentração interna de CO₂; *E* = transpiração; *gs* = condutância estomática; *AN* = taxa de assimilação de CO₂; *AN/E* = eficiência instantânea do uso da água; *AN/gs* = eficiência intrínseca do uso da água; *AN/Ci* = eficiência instantânea de carboxilação; *Fo* = fluorescência inicial; *Fm* = fluorescência máxima; *Fv* = fluorescência variável; *Fv/Fm* = máxima eficiência quântica do PSII; *Fv/Fo* = eficiência fotoquímica no PSII; *Fo/Fm* = rendimento quântico basal dos processos fotoquímicos no PSII; *Fs* = fluorescência inicial antes do pulso de saturação; *Fms* = fluorescência máxima após adaptação à luz saturante; *Y* = eficiência quântica efetiva do PSII; *ETR* = taxa de transporte de elétrons; *PAR* = radiação fotossinteticamente ativa; *Fo'* = fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado; *qL* = coeficiente de extinção fotoquímico pelo modelo lake; *Ynpq* = rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada; *Yno* = rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada.

As maiores diminuições ocorreram em *gs* e *AN*, representando uma estratégia para suavizar a perda de água para atmosfera, que foi vital ao aumentar a eficiência intrínseca do uso da água (*AN/gs*). O aumento da *AN/gs* indica que os estômatos das mudas de pinheira são sensíveis à salinidade e que o fechamento estomático é mais rápido do que a queda na fotossíntese. Todavia, a diminuição de *gs* também ocasiona diminuição no influxo de CO₂ para a câmara subestomática, como registrado para *Ci* e, conseqüentemente, diminuições

da AN, devido à menor disponibilidade de substrato para a enzima Ribulose-1,5 Bifosfato Carboxilase Oxigenase (RuBisCO). No entanto, a redução na AN foi de 13,26%, ao passo que a Ci reduziu apenas 6,9%, de tal forma que não se pode creditar toda a redução da AN ao efeito estomático, principalmente porque a AN/Ci foi reduzida em 7,27%.

A diminuição da AN/Ci corrobora com as diminuições em AN, indicando que, além de fatores estomáticos, fatores de ordem não estomática atuaram no processo fotossintético, uma vez que há substrato (CO₂) para fotossíntese, mas a carboxilação intermediado pela RuBisCO (Ferreira et al., 2021; Sá et al., 2021). A baixa produção de poder redutor ATP (Adenosina Trifosfato) e NADPH (Fosfato de Dinucleótido de Nicotinamida e Adenina), advindos da fase fotoquímica da fotossíntese podem limitar o processo de carboxilação de CO₂ e a regeneração da RuBisCO (Taiz et al., 2015). Na fase de mudas, da pinheira irrigada com água de alta salinidade ocorrem os dois, visto que tanto a Ci foi reduzida quanto, também, os parâmetros de eficiência do fotossistema II (PSII): a máxima eficiência quântica do PSII (Fv/Fm) e eficiência quântica efetiva do PSII (Y).

A atividade fotoquímica das mudas da pinheira tornou-se menos eficiente quando irrigadas com água de alta salinidade. Os parâmetros relacionados à eficiência fotossintética como Fv/Fm , Y e eficiência fotoquímica no PSII (Fv/Fo) diminuíram, e o coeficiente de extinção fotoquímico (qL) foi indiferente. Houve incremento dos parâmetros relacionados à dissipação de energia fotoquímica, como fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado (Fo'), rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada ($Ynpq$) e o rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada (Yno). Na fase de mudas, a perda de eficiência fotossintética é verificada na condição efetiva de exposição à luz (Y , ETR, Fo' , $Ynpq$ e Yno), pelo protocolo "Yield". O protocolo de máxima eficiência (Fv/Fm) não foi tão preciso para verificar os danos causados pelo estresse salino ao aparato fotossintético da pinheira.

Devido às condições de estresse salino, a pinheira na fase de mudas dissipou mais de 67% da energia luminosa de forma regulada ($Ynpq$), ou seja, na forma de fluorescência, calor ou ressonância, o que causou uma grande perda de energia, superior a 35%, de eficiência do aparato fotossintético (Y). Somando-se a energia dissipada de forma regulada ($Ynpq$) e não regulada (Yno), mais de 70% da energia fotoquímica das mudas de pinheira é perdida por quenching. É possível afirmar que a pinheira tem baixa eficiência energética neste estágio de desenvolvimento, e que a eficiência fotoquímica da pinheira é sensível ao estresse salino

3.3 Fase vegetativa da pinheira

Assim como foi verificado no estágio de mudas, na fase vegetativa a irrigação com água salina continuou diminuindo os valores médios dos parâmetros das trocas gasosas da pinheira (Tabela 2). Todavia, no estágio vegetativo, os parâmetros relacionados à atividade fotoquímica das plantas de pinheira sofreram menos danos e sugerem uma aclimação ao estresse salino.

Tabela 2. Tendência dos parâmetros ecofisiológicos no estágio vegetativo da pinheira irrigada com água salina

Fase Vegetativa				
Parâmetros	Controle (0,8 dS m ⁻¹)	Estresse Salino (3,0 dS m ⁻¹)	Efeito do estresse	%
<i>Ci</i> (μmol (CO ₂) mol ⁻¹)	204,8333 ± 9,6942	221,0833 ± 11,8772	Aumenta	7,93
<i>E</i> (mmol (H ₂ O) m ⁻² s ⁻¹)	0,7854 ± 0,0378	0,5383 ± 0,0505	Diminui	31,46
<i>gs</i> (mol (H ₂ O) m ⁻² s ⁻¹)	0,0642 ± 0,0037	0,0425 ± 0,0055	Diminui	33,77
<i>AN</i> (μmol (CO ₂) m ⁻² s ⁻¹)	6,5433 ± 0,3730	3,8221 ± 0,3153	Diminui	41,59
<i>AN/E</i> [(μmol (CO ₂) m ⁻² s ⁻¹)(mmol (H ₂ O) m ⁻² s ⁻¹) ⁻¹]	8,4320 ± 0,4201	7,4091 ± 0,4250	Diminui	12,13
<i>AN/gs</i> [(μmol (CO ₂) m ⁻² s ⁻¹)(mol (H ₂ O) m ⁻² s ⁻¹) ⁻¹]	104,7098 ± 5,4906	100,3868 ± 6,8482	Diminui	4,13
<i>AN/Ci</i> [(μmol (CO ₂) m ⁻² s ⁻¹)(μmol (CO ₂) mol ⁻¹) ⁻¹]	0,0376 ± 0,0060	0,0197 ± 0,0026	Diminui	47,48
<i>Fo</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	171,4167 ± 4,1467	182,8333 ± 4,0868	Aumenta	6,66
<i>Fm</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	638,4167 ± 15,4881	591,2917 ± 13,9635	Diminui	7,38
<i>Fv</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	467,0000 ± 14,6342	408,4583 ± 12,7215	Diminui	12,54
<i>Fv/Fm</i>	0,7285 ± 0,0077	0,6878 ± 0,0078	Diminui	5,58
<i>Fv/Fo</i>	2,7566 ± 0,1037	2,2544 ± 0,0804	Diminui	18,22
<i>Fo/Fm</i>	0,2711 ± 0,0077	0,3116 ± 0,0077	Aumenta	14,97
<i>Fs</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	200,2500 ± 6,7325	177,4167 ± 4,9709	Diminui	11,40
<i>Fms</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	442,7500 ± 17,1624	429,5833 ± 16,0413	Diminui	2,97
<i>Y</i>	0,5618 ± 0,0271	0,5508 ± 0,0182	Indiferente	--
<i>ETR</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	33,7792 ± 2,9103	36,7667 ± 4,1349	Aumenta	8,84
<i>PAR</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	155,0000 ± 12,7376	161,1250 ± 22,2502	Aumenta	3,95
<i>Fo'</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	0,7099 ± 0,0426	0,8567 ± 0,0521	Aumenta	20,68
<i>qL</i>	0,0019 ± 0,0001	0,0028 ± 0,0002	Aumenta	46,37
<i>Ynpq</i>	0,1484 ± 0,0192	0,1408 ± 0,0169	Diminui	5,15
<i>Yno</i>	0,3188 ± 0,0144	0,3018 ± 0,0082	Diminui	5,34

Média ± Erro padrão, n=24.

Ci = concentração interna de CO₂; *E* = transpiração; *gs* = condutância estomática; *AN* = taxa de assimilação de CO₂; *AN/E* = eficiência instantânea do uso da água; *AN/gs* = eficiência intrínseca do uso da água; *AN/Ci* = eficiência instantânea de carboxilação; *Fo* = fluorescência inicial; *Fm* = fluorescência máxima; *Fv* = fluorescência variável; *Fv/Fm* = máxima eficiência quântica do PSII; *Fv/Fo* = eficiência fotoquímica no PSII; *Fo/Fm* = rendimento quântico basal dos processos fotoquímicos no PSII; *Fs* = fluorescência inicial antes do pulso de saturação; *Fms* = fluorescência máxima após adaptação à luz saturante; *Y* = eficiência quântica efetiva do PSII; *ETR* = taxa de transporte de elétrons; *PAR* = radiação fotossinteticamente ativa; *Fo'* = fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado; *qL* = coeficiente de extinção fotoquímico pelo modelo lake; *Ynpq* = rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada; *Yno* = rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada.

Na fase vegetativa, a diminuição da *AN* supera em, aproximadamente, 8 pontos percentuais a diminuição ocorrida na *gs*. Apesar de muito restritiva, nesta fase a diminuição na *gs* não é suficiente para assegurar e/ou aumentar os índices de eficiência do uso da água (*AN/E* e *AN/gs*). O decréscimo da eficiência de carboxilação na fase vegetativa foi bastante relevante sob irrigação com água salina, sendo equivalente a 47,48%, mais que o dobro do valor observado na fase de mudas. Na fase vegetativa, mesmo com a redução da *gs*, a *Ci*

tendeu a aumentar, sendo um indicativo muito forte de baixa eficiência da RuBisCO, principalmente por corroborar com baixos valores de AN/Ci .

Na atividade fotoquímica, também houve tendência de aumento nos parâmetros F_o , F_s e F_o' , indicando que a salinidade promove danos no aparato fotossintético e aumento na fluorescência, e a tendência de aumento do F_o/F_m , o qual é indicativo que está ocorrendo fotoproteção. Fato relevante é que o F_v/F_m na fase vegetativa permanece semelhante ao da fase de mudas, no entanto, a eficiência quântica efetiva do PSII (Y) aumentou de 0,29 na fase de mudas para 0,55 na fase vegetativa. Esse aumento em Y indica uma maior eficiência energética, corroborando com o aumento da ETR e com as diminuições do quenching fotoquímico (Y_{npq} e Y_{no}). A dissipação de energia, para fins não fotoquímicos, é menor na fase vegetativa, quando comparada à fase de mudas, o que indica aclimação da pinheira ao estresse salino.

3.4 Fase reprodutiva da pinheira

A fase reprodutiva da pinheira é, geralmente, antecedida por uma poda, chamada de poda de produção, na qual todas as folhas pré-existentes na planta são removidas, dando lugar a uma nova folhagem e emissão de flores. Quando a pinheira é cultivada em condições de estresse salino desde o plantio, o tempo de exposição ao estresse salino promove aclimação da planta. De modo, que as folhas jovens que surgem, após a poda de produção, são mais aclimatadas ao estresse salino do que aquelas das mudas e da fase vegetativa, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3. Tendência dos parâmetros ecofisiológicos na fase reprodutiva da pinheira irrigada com água salina

Fase Reprodutiva				
Parâmetros	Controle (0,8 dS m ⁻¹)	Estresse Salino (3,0 dS m ⁻¹)	Efeito do estresse	%
C_i (μmol (CO ₂) mol ⁻¹)	221,5417 ± 7,0196	211,8333 ± 6,8619	Diminui	4,38
E (mmol (H ₂ O) m ⁻² s ⁻¹)	1,9308 ± 0,0862	1,9308 ± 0,1192	Indiferente	--
g_s (mol (H ₂ O) m ⁻² s ⁻¹)	0,0883 ± 0,0041	0,0816 ± 0,0059	Diminui	7,55
AN (μmol (CO ₂) m ⁻² s ⁻¹)	7,1306 ± 0,2503	6,7860 ± 0,4463	Diminui	4,83
AN/E [(μmol (CO ₂) m ⁻² s ⁻¹)(mmol (H ₂ O) m ⁻² s ⁻¹) ⁻¹]	3,8064 ± 0,1564	3,5442 ± 0,1473	Diminui	6,89
AN/g_s [(μmol (CO ₂) m ⁻² s ⁻¹)(mol (H ₂ O) m ⁻² s ⁻¹) ⁻¹]	83,2263 ± 3,2742	85,4110 ± 3,7062	Aumenta	2,62
AN/C_i [(μmol (CO ₂) m ⁻² s ⁻¹)(μmol (CO ₂) mol ⁻¹) ⁻¹]	0,0331 ± 0,0017	0,0331 ± 0,0025	Indiferente	--
F_o (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	146,0417 ± 3,7317	140,9583 ± 3,0665	Diminui	3,48
F_m (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	487,5000 ± 11,4279	503,1666 ± 12,9637	Aumenta	3,21
F_v (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	341,4583 ± 12,3035	362,2083 ± 12,0140	Aumenta	6,08
F_v/F_m	0,6955 ± 0,0119	0,7165 ± 0,0076	Aumenta	3,02
F_v/F_o	2,3854 ± 0,1100	2,5867 ± 0,0880	Aumenta	8,44
F_o/F_m	0,3041 ± 0,0119	0,2831 ± 0,0076	Diminui	6,91

Fase Reprodutiva				
Parâmetros	Controle (0,8 dS m ⁻¹)	Estresse Salino (3,0 dS m ⁻¹)	Efeito do estresse	%
<i>F_s</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	190,5417 ± 6,3274	184,2916 ± 4,0372	Diminui	3,28
<i>F_m</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	421,5000 ± 16,0597	447,6670 ± 16,8893	Aumenta	6,21
<i>Y</i>	0,5322 ± 0,0230	0,5740 ± 0,0192	Aumenta	7,86
<i>ETR</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	32,0708 ± 2,7475	38,1333 ± 4,2488	Aumenta	18,90
<i>PAR</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	147,0417 ± 11,9218	166,8750 ± 23,0415	Aumenta	13,49
<i>F_o'</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	0,6967 ± 0,0516	0,5964 ± 0,0408	Diminui	14,39
<i>qL</i>	0,0019 ± 0,0002	0,0018 ± 0,00001	Diminui	7,54
<i>Y_{npq}</i>	0,0962 ± 0,0187	0,0988 ± 0,0149	Aumenta	2,70
<i>Y_{no}</i>	0,3972 ± 0,0175	0,3706 ± 0,0108	Diminui	6,69

Média ± Erro padrão, n=24.

C_i = concentração interna de CO₂; *E* = transpiração; *g_s* = condutância estomática; *AN* = taxa de assimilação de CO₂; *AN/E* = eficiência instantânea do uso da água; *AN/g_s* = eficiência intrínseca do uso da água; *AN/C_i* = eficiência instantânea de carboxilação; *F_o* = fluorescência inicial; *F_m* = fluorescência máxima; *F_v* = fluorescência variável; *F_v/F_m* = máxima eficiência quântica do PSII; *F_v/F_o* = eficiência fotoquímica no PSII; *F_o/F_m* = rendimento quântico basal dos processos fotoquímicos no PSII; *F_s* = fluorescência inicial antes do pulso de saturação; *F_m'* = fluorescência máxima após adaptação à luz saturante; *Y* = eficiência quântica efetiva do PSII; *ETR* = taxa de transporte de elétrons; *PAR* = radiação fotossinteticamente ativa; *F_o'* = fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado; *qL* = coeficiente de extinção fotoquímico pelo modelo lake; *Y_{npq}* = rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada; *Y_{no}* = rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada.

As trocas gasosas da fase reprodutiva apresentam diminuição pouco simbólica, quando comparadas às observadas nas fases de mudas e vegetativa. Na fase reprodutiva, a restrição estomática é responsável por controlar a transpiração e aumentar a eficiência intrínseca do uso da água da pinheira, com um custo baixo ao influxo de CO₂ de apenas 4,38% em *C_i*, e de 4,83% na taxa de assimilação de CO₂ (*AN*). Nessa fase, o efeito da salinidade sobre a eficiência de carboxilação foi muito baixa (0,05%) quando comparada às outras duas fases, o que se deve às melhorias na atividade fotoquímica das mudas (Tabela 3).

Na atividade fotoquímica da fase reprodutiva, houve tendência de diminuição de *F_o*, *F_s*, *F_o'* e *F_o/F_m*, indicando que a salinidade não causou danos ao aparato fotossintético da pinheira nesta fase. Além disso, nessa fase houve maior atividade e eficiência fotoquímica, com aumentos dos parâmetros *F_m*, *F_v*, *F_v/F_m*, *F_v/F_o*, *F_m'*, *Y* e *ETR* na condição de irrigação com água salina, em comparação ao controle. Os valores de *F_v/F_m* e *Y* obtidos nas plantas sob estresse salino foram superiores na fase reprodutiva, em comparação às demais fases.

Com relação ao quenching fotoquímico, houve diminuição no coeficiente de extinção química pelo modelo 'lake' e no rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada (*Y_{no}*), porém ocorreu pequeno aumento (6,69%) no rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada (*Y_{npq}*). Na comparação à fase de mudas, as folhas da pinheira na fase reprodutiva são mais eficientes energeticamente, aproveitando muito mais energia luminosa para o processo fotossintético (*Y* = 0,5740). Nessa fase, grande parte da energia que era perdida de forma regulada (*Y_{npq}*) passa a ser aproveitada no processo fotossintético

(Y), indicando que a pinheira se aclimatou ao estresse salino com a maturidade, melhorando seu aproveitamento energético e, conseqüentemente, a atividade fotossintética na fase reprodutiva.

3.5 Germinação e fase de mudas da gravioleira

Na Tabela 4, estão descritos os parâmetros ecofisiológicos da gravioleira na fase de mudas. A irrigação com água de alta salinidade tendeu a diminuir a maioria dos parâmetros de trocas gasosas, como concentração interna de CO_2 (C_i), transpiração (E), condutância estomática (g_s), taxa de assimilação de CO_2 (AN) e eficiência instantânea de carboxilação (AN/C_i).

As maiores diminuições ocorreram em g_s e E , indicando ser uma estratégia para diminuir a perda de água para atmosfera, que foi vital porque aumentou a eficiência instantânea do uso da água (AN/E) e eficiência intrínseca do uso da água (AN/g_s). O controle eficiente da perda de água para atmosfera via estômatos é um mecanismo importante em condições de salinidade, uma vez que, com a menor transpiração, ocorre menor absorção de água pelo sistema radicular e, conseqüentemente, a planta absorve menos os íons específicos Na^+ e Cl^- , o que permite menor dispêndio de energia para exclusão ou compartimentalização desses íons.

Tabela 4. Tendência dos parâmetros ecofisiológicos de mudas de gravioleira irrigada com água salina.

Fase de mudas				
Parâmetros	Controle (0,5 dS m ⁻¹)	Estresse Salino (3,5 dS m ⁻¹)	Efeito do estresse	%
C_i ($\mu\text{mol (CO}_2\text{) mol}^{-1}$)	208,0500 ± 2,9464	182,3000 ± 6,5851	Diminui	12,38
E ($\text{mmol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	1,8390 ± 0,0951	1,2650 ± 0,1363	Diminui	31,21
g_s ($\text{mol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	0,0595 ± 0,0037	0,0390 ± 0,0043	Diminui	34,45
AN ($\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	5,5610 ± 0,2819	3,9715 ± 0,4202	Diminui	28,58
AN/E [$(\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{s}^{-1})(\text{mmol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$]	3,0326 ± 0,0539	3,1795 ± 0,0949	Aumenta	4,84
AN/g_s [$(\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{s}^{-1})(\text{mol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$]	95,4178 ± 2,5690	101,5023 ± 3,5533	Aumenta	6,38
AN/C_i [$(\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{s}^{-1})(\mu\text{mol (CO}_2\text{) mol}^{-1})^{-1}$]	0,0268 ± 0,0014	0,0216 ± 0,0022	Diminui	19,44
F_o ($\mu\text{mol (fótons) m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	737,9000 ± 11,2685	779,2000 ± 14,9423	Aumenta	5,60
F_m ($\mu\text{mol (fótons) m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	2658,8500 ± 23,3568	2479,6500 ± 47,0037	Diminui	6,74
F_v ($\mu\text{mol (fótons) m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	1920,9500 ± 24,0755	1700,4500 ± 39,7897	Diminui	11,48
F_v/F_m	0,7217 ± 0,0046	0,6844 ± 0,0055	Diminui	5,16
F_v/F_o	2,6166 ± 0,0541	2,1921 ± 0,0562	Diminui	16,22
F_o/F_m	0,2778 ± 0,0046	0,3151 ± 0,0055	Aumenta	13,43
F_s ($\mu\text{mol (fótons) m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	201,3000 ± 8,9358	201,9500 ± 9,5373	Indiferente	--
F_{ms} ($\mu\text{mol (fótons) m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	385,5500 ± 21,7017	297,9000 ± 20,1228	Diminui	22,73
Y	0,4541 ± 0,0280	0,2949 ± 0,0276	Diminui	35,07
ETR ($\mu\text{mol (fótons) m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	47,2750 ± 3,5135	35,1900 ± 3,3305	Diminui	25,56

Fase de mudas				
Parâmetros	Controle (0,5 dS m ⁻¹)	Estresse Salino (3,5 dS m ⁻¹)	Efeito do estresse	%
PAR (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	265,4000 ± 22,7383	312,7500 ± 25,4677	Aumenta	17,84
Fo' (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	3,6814 ± 0,2827	5,4728 ± 0,3770	Aumenta	48,66
qL	0,0083 ± 0,0006	0,0081 ± 0,0008	Diminui	2,40
Ynpq	0,4697 ± 0,0277	0,6228 ± 0,0279	Aumenta	32,61
Yno	0,0759 ± 0,0036	0,0818 ± 0,0040	Aumenta	7,83

Média ± Erro padrão, n=20.

Ci = concentração interna de CO₂; *E* = transpiração; *gs* = condutância estomática; *AN* = taxa de assimilação de CO₂; *AN/E* = eficiência instantânea do uso da água; *AN/gs* = eficiência intrínseca do uso da água; *AN/Ci* = eficiência instantânea de carboxilação; *Fo* = fluorescência inicial; *Fm* = fluorescência máxima; *Fv* = fluorescência variável; *Fv/Fm* = máxima eficiência quântica do PSII; *Fv/Fo* = eficiência fotoquímica no PSII; *Fo/Fm* = rendimento quântico basal dos processos fotoquímicos no PSII; *Fs* = fluorescência inicial antes do pulso de saturação; *Fms* = fluorescência máxima após adaptação à luz saturante; *Y* = eficiência quântica efetiva do PSII; *ETR* = taxa de transporte de elétrons; *PAR* = radiação fotossinteticamente ativa; *Fo'* = fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado; *qL* = coeficiente de extinção fotoquímico pelo modelo lake; *Ynpq* = rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada; *Yno* = rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada.

O fechamento estomático é importante para manutenção das trocas gasosas da gravioleira, em condições de estresse salino, pois aumenta a eficiência do o processo transpiratório (atividade estomática) no processo fotossintético (*AN/E* e *AN/gs*). Todavia, a diminuição de *gs* também ocasiona diminuição no influxo de CO₂ para a câmara subestomática, como ocorreu para *Ci*. A diminuição de *Ci* acarreta decréscimos em *AN*. No entanto, a redução em *AN* foi de 28,58% enquanto a *Ci* reduziu apenas 12,38%, de tal forma que não se pode creditar toda a redução da *AN* ao efeito estomático, principalmente porque a *AN/Ci* foi reduzida em 19,44%. A diminuição da *AN/Ci* corrobora com as diminuições em *AN*, indicando que, além de fatores estomáticos, fatores de ordem não estomática atuam no processo fotossintético e diminuem a eficiência da RuBisCO, como a baixa eficiência fotoquímica. Na condição de estresse salino, a *Fo* da gravioleira tende aumentar 5,60% e a *Fv/Fm* tende a diminuir 5,16%, indicando que a eficiência fotoquímica das plantas diminuiu em condições de estresse salino à medida de que a dissipação energia luminosa aumenta na forma de fluorescência. A baixa eficiência fotoquímica da das plantas de gravioleira sobre estresse salino compromete a assimilação de CO₂.

Na fase de mudas da gravioleira irrigadas com água de alta salinidade, ocorreram os dois: a *Ci* foi reduzida e os parâmetros de eficiência do fotossistema II (PSII), sendo estes a máxima eficiência quântica do PSII (*Fv/Fm*) e a eficiência quântica efetiva do PSII (*Y*). A atividade fotoquímica das mudas da gravioleira tornou-se menos eficiente quando foi irrigada com água de alta salinidade. Foram diminuídos os parâmetros relacionados à eficiência fotossintética como *Fv/Fm*, *Y*, eficiência fotoquímica no PSII (*Fv/Fo*) e coeficiente de extinção fotoquímico (*qL*); ou relacionados à atividade fotossintética, como fluorescência máxima (*Fm*), fluorescência variável (*Fv*), fluorescência máxima após adaptação à luz saturante (*Fms*) e taxa de transporte de elétrons (*ETR*).

Os parâmetros relacionados aos danos no aparato fotossintético, como fluorescência inicial (F_0), rendimento quântico basal dos processos fotoquímicos no PSII (F_0/F_m), fluorescência inicial antes do pulso de saturação (F_s) e fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado (F_0'). E de dissipação energética, como o rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada (Y_{npq}) e o rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada (Y_{no}), foram aumentados, exceto a F_s , que foi indiferente. Na fase de mudas, em condições de estresse salino, a gravioleira dissipou mais de 60% da energia luminosa de forma regulada (Y_{npq}), o que causou grande perda de eficiência do aparato fotossintético (Y).

Na fase de mudas, o estresse salino causou maiores diminuições da fotossíntese e da eficiência fotossintética na gravioleira do que na pinheira. É possível afirmar que a gravioleira tem baixa eficiência energética na fase de mudas e que a fase fotoquímica da gravioleira, nesse estágio de desenvolvimento, é sensível à salinidade. A gravioleira é sensível a águas salinas acima de $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ na fase de germinação e formação de mudas (Nobre et al., 2003), devido aos brotos jovens e não aclimatados acumularem grandes concentrações de Na^+ e Cl^- em seus tecidos (Passos et al., 2005)

3.6 Fase vegetativa da gravioleira

A irrigação com água salina, na fase vegetativa da gravioleira, não restringiu a atividade estomática, como verificado na fase de mudas. No entanto, ocorreu diminuição severa na taxa de assimilação de CO_2 (33,14%), quando as plantas foram cultivadas com água salina em comparação ao controle (Tabela 5).

Tabela 5. Tendência dos parâmetros ecofisiológicos no estágio vegetativo da gravioleira irrigada com água salina.

Fase Vegetativa				
Parâmetros	Controle ($0,8 \text{ dS m}^{-1}$)	Estresse Salino ($3,2 \text{ dS m}^{-1}$)	Efeito do estresse	%
C_i ($\mu\text{mol (CO}_2\text{) mol}^{-1}$)	$181,1667 \pm 12,3790$	$252,0833 \pm 15,7713$	Aumenta	39,14
E ($\text{mmol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	$0,7288 \pm 0,0348$	$0,6446 \pm 0,0557$	Diminui	11,55
g_s ($\text{mol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	$0,0313 \pm 0,0020$	$0,0367 \pm 0,0076$	Aumenta	17,33
AN ($\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	$3,6638 \pm 0,1169$	$2,4496 \pm 0,2477$	Diminui	33,14
AN/E [$(\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{ s}^{-1})(\text{mmol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$]	$5,1243 \pm 0,2406$	$4,0731 \pm 0,4914$	Diminui	20,52
AN/g_s [$(\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{ s}^{-1})(\text{mol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$]	$123,7206 \pm 10,5884$	$90,6691 \pm 15,7810$	Diminui	26,71
AN/C_i [$(\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{ s}^{-1})(\mu\text{mol (CO}_2\text{) mol}^{-1})^{-1}$]	$0,0219 \pm 0,0024$	$0,0107 \pm 0,0018$	Diminui	51,18
F_0 ($\mu\text{mol (fótons) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	$659,7500 \pm 8,4487$	$685,0833 \pm 22,9230$	Aumenta	3,84
F_m ($\mu\text{mol (fótons) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	$2687,5833 \pm 33,8667$	$2462,5000 \pm 49,3539$	Diminui	8,37
F_v ($\mu\text{mol (fótons) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	$2027,8333 \pm 30,7206$	$1777,4167 \pm 56,9079$	Diminui	12,35
F_v/F_m	$0,7543 \pm 0,0032$	$0,7203 \pm 0,0118$	Diminui	4,51
F_v/F_0	$3,0775 \pm 0,0525$	$2,6345 \pm 0,1293$	Diminui	14,39

Fase Vegetativa				
Parâmetros	Controle (0,8 dS m ⁻¹)	Estresse Salino (3,2 dS m ⁻¹)	Efeito do estresse	%
<i>Fo/Fm</i>	0,2457 ± 0,0032	0,2797 ± 0,0118	Aumenta	13,84
<i>Fs</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	224,0000 ± 18,8916	219,0833 ± 14,2268	Diminui	2,19
<i>Fms</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	400,3333 ± 11,9749	400,6667 ± 14,0245	Indiferente	--
<i>Y</i>	0,4370 ± 0,0464	0,4538 ± 0,0298	Aumenta	3,85
<i>ETR</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	8,7833 ± 2,1195	10,7083 ± 1,9505	Aumenta	21,92
<i>PAR</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	49,0000 ± 11,8007	57,6667 ± 10,9602	Aumenta	17,69
<i>Fo'</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	2,7508 ± 0,0945	3,1441 ± 0,2680	Aumenta	14,30
<i>qL</i>	0,0062 ± 0,0010	0,0074 ± 0,0013	Aumenta	18,95
<i>Ynpq</i>	0,4794 ± 0,0403	0,4559 ± 0,0250	Diminui	4,90
<i>Yno</i>	0,0832 ± 0,0067	0,0898 ± 0,0067	Aumenta	7,92
Média ± Erro padrão, n=12.				

Ci = concentração interna de CO₂; *E* = transpiração; *gs* = condutância estomática; *AN* = taxa de assimilação de CO₂; *AN/E* = eficiência instantânea do uso da água; *AN/gs* = eficiência intrínseca do uso da água; *AN/Ci* = eficiência instantânea de carboxilação; *Fo* = fluorescência inicial; *Fm* = fluorescência máxima; *Fv* = fluorescência variável; *Fv/Fm* = máxima eficiência quântica do PSII; *Fv/Fo* = eficiência fotoquímica no PSII; *Fo/Fm* = rendimento quântico basal dos processos fotoquímicos no PSII; *Fs* = fluorescência inicial antes do pulso de saturação; *Fms* = fluorescência máxima após adaptação à luz saturante; *Y* = eficiência quântica efetiva do PSII; *ETR* = taxa de transporte de elétrons; *PAR* = radiação fotossinteticamente ativa; *Fo'* = fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado; *qL* = coeficiente de extinção fotoquímico pelo modelo lake; *Ynpq* = rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada; *Yno* = rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada.

Na condição de salinidade, mesmo com maior condutância estomática, ocorreu aumento da *Ci* (39,14%), em detrimento de diminuições na *AN* e *AN/Ci* (51,18%), indicando baixa eficiência fotossintética na condição de estresse salino. Desse modo, o estresse salino diminuiu a eficiência de carboxilação da RuBisCO, e menores *AN* também contribuíram para menor eficiência no uso da água (*AN/E* e *AN/gs*). A diminuição da eficiência de carboxilação do CO₂, da gravioleira sob estresse salino, corrobora com a diminuição da máxima eficiência quântica do PSII (*Fv/Fm*) e aumentos da fluorescência inicial (*Fo*) e fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado (*Fo'*), indicando que o estresse salino causou danos ao aparato fotossintético aumentando a dissipação de energia luminosa que chega aos centros de recessão (P680) na forma de fluorescência, comprometendo a eficiência fotoquímica e diminuindo a atividade fotossintética da gravioleira sob estresse salino.

Na atividade fotoquímica efetiva da fase vegetativa, houve aumentos na eficiência quântica efetiva do PSII (*Y*) da gravioleira irrigada com água salina. Os valores de *Y* na fase vegetativa da gravioleira foram melhores do que na fase de mudas, indicando que a maturidade da planta melhorou a eficiência fotoquímica da espécie.

No entanto, a gravioleira perdeu muita energia via quenching fotoquímico (*qL*, *Ynpq* e *Yno*) e por danos no aparato fotossintético (*Fo'*), principalmente em condições de estresse salino. Devido a isso, na condição de salinidade, os aumentos na taxa de transporte de elétrons (21,92%) e da radiação fotossinteticamente ativa (17,69%) contribuíram para aumentar em

apenas 3,85% a eficiência quântica efetiva do PSII (Y), o que não foi suficiente para manter a taxa de assimilação de CO_2 (AN) em condições satisfatórias sob estresse salino.

A tendência dos dados apresentado indicam que a gravioleira apresentou baixa eficiência fotossintética e fotoquímica, tanto na ausência quanto na presença do estresse salino. A atividade fotossintética da gravioleira na fase vegetativa é sensível ao estresse salino que na fase de mudas, sendo verificado maiores alterações nos padrões ecofisiológicos das plantas sob estresse salino na fase vegetativa do que na fase de germinação e mudas.

4 AVANÇOS PARA ACLIMATAÇÃO DA PINHEIRA E GRAVIOLEIRA AO ESTRESSE SALINO

As principais pesquisas realizadas sobre aclimatação de plantas de pinheira à salinidade são relacionadas ao manejo de adubação. Para melhorar a resposta de mudas de pinheira à salinidade da água de irrigação, Sá et al. (2015) constataram que aumentar a dose de matéria orgânica no substrato melhora o crescimento das plantas em condições de irrigação com água salina, recomendando a dose de matéria orgânica de 40% do substrato.

Estudos com adubação mineral também têm sido desenvolvidos para melhorar a tolerância de mudas de pinheira à salinidade. Um desses estudos é o de Andrade et al. (2018) avaliando doses crescentes de superfosfato triplo (0,0; 1,1; 3,0; 5,1 e 6,0 g dm^{-3}) em mudas de pinheira irrigadas com água salina. Os autores verificaram que a planta não responde às doses elevadas de fósforo, e que os melhores resultados ocorrem entre 1,1 e 3,0 g dm^{-3} de P_2O_5 . Em estudo com doses crescentes de nitrogênio (0; 101; 350; 598 e 700 mg dm^{-3}) e irrigação com água salina em mudas de pinheira, Figueiredo et al. (2019) não verificaram efeito significativo das doses de N nas trocas gasosas e fluorescência da clorofila da pinheira.

Ao avaliar mudas de pinheira irrigadas com efluentes salinos e doses de NPK, Souza (2021) constatou que as mudas em condições de estresse salino diminuem a exigência de nutrientes em mais de 40%, quando comparadas às mudas irrigadas com água não salina. A autora indica que doses de NPK adequadas para mudas de pinheira irrigadas com água salina são de 40:120:60 mg dm^{-3} de $\text{N:P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}$, respectivamente. Fatima et al. (2022), pesquisando a adubação nitrogenada foliar com o objetivo de atenuar os efeitos adversos da salinidade nos parâmetros de trocas gasosas, clorofila e fluorescência da clorofila de mudas de pinheira, constataram que o aumento CE da água de irrigação estimulou a formação de clorofila e inibiu as trocas gasosas e a fluorescência da clorofila a das mudas aos 70 dias, assim como a adubação nitrogenada foliar, na dose de 1,62 g L^{-1} , mitigou os efeitos da salinidade nas trocas gasosas. A atividade da fluorescência e os índices de clorofila apresentaram respostas positivas à adubação foliar de N das mudas de pinheira.

Ao contrário da fase de mudas, as fases vegetativa e reprodutiva da pinheira são responsivas à adubação. Os trabalhos realizados por Sá et al. (2021), Ferreira et al. (2022) e Silva et al. (2022), ao avaliarem manejos de adubação em plantas de pinheira irrigadas com água salina do transplantio até o terceiro ano de produção, constataram que a adubação

adequada mitiga os efeitos do estresse salino sobre o crescimento, a fotossíntese e a produção da pinheira irrigadas com água de 3,0 dS m⁻¹. Essas melhorias ocorrem com o aumento conjunto das doses de nitrogênio e potássio nos primeiros dois anos e de potássio e fósforo no terceiro ano. De acordo com estes estudos, foi possível recomendar para o primeiro ano as doses de 56:60:84 g ano⁻¹ por planta de N:P₂O₅:K₂O (Sá et al., 2021); para o segundo ano, as doses recomendadas foram de 125:80:50 g ano⁻¹ por planta de N:P₂O₅:K₂O (Ferreira et al., 2022) e, para o terceiro ano, as doses recomendadas foram de 100:75:75 g ano⁻¹ por planta de N:P₂O₅:K₂O (Silva et al., 2022). A partir desses resultados, é possível traçar uma dose de NPK média comum para cultivos bioassalinos de pinheira: 94:72:70 g ano⁻¹ por planta de N:P₂O₅:K₂O.

Em gravioleira, os estudos publicados relacionados à interação entre salinidade e adubação envolveram um único nutriente, o nitrogênio. Veloso et al. (2018) constataram que a combinação de doses de nitrogênio e níveis de salinidade não influenciou na produção das mudas de gravioleira cv. Morada Nova. Nesse estudo, foram avaliadas doses de N de 70, 100 e 130 mg dm⁻³, e as plantas de gravioleira não responderam ao aumento da dose de N a partir de 70 mg dm⁻³, quando irrigadas com águas salinas de 0,3 a 3,5 dS m⁻¹. Silva et al. (2017; 2018) avaliaram diferentes fontes de nitrogênio e níveis de salinidade na gravioleira, não encontrando efeito significativo de fontes de N utilizadas no crescimento, trocas gasosas e concentração de pigmentos cloroplastídicos, independentemente da salinidade utilizada (0,3 a 3,5 dS m⁻¹). Os estudos com manejo de adubação na gravioleira sobre estresse salino foram realizados apenas até a fase de mudas. Assim como a pinheira, a gravioleira requer menor quantidade de nutrientes quando irrigada com água salina na fase de mudas, porém a gravioleira é mais exigente em nutrientes do que a pinheira na fase de mudas (Souza, 2021; Sá, 2023).

Para a gravioleira, além de estudos com adubação, outros temas vêm sendo investigados para melhorar a aclimação das plantas ao estresse salino. A aplicação exógena de compostos elicitores do estresse salino tem mostrado resultados promissores para a fase de mudas e vegetativa da gravioleira. Em estudos na fase de mudas foi verificado que a aplicação de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), via embebição das sementes, é mais eficiente para aclimação ao estresse salino do que a pulverização na parte aérea (Silva et al., 2021a).

A concentração de 20 µM de H₂O₂ é a mais adequada para a gravioleira, tanto para o tratamento das sementes quanto para aplicação foliar, melhorando, significativamente, o crescimento, as trocas gasosas e a fluorescência da clorofila da gravioleira irrigada com água salina (Silva et al., 2019; Veloso et al., 2020a). Os benefícios da aplicação de H₂O₂ verificados na fase de mudas, foram verificados, também, na fase vegetativa da gravioleira (Veloso et al., 2020b). Além do H₂O₂, a aplicação exógena de ácido salicílico na fase vegetativa da gravioleira, irrigada com água salina, melhora o crescimento, as trocas gasosas e fotossíntese das plantas (Silva et al., 2020; Silva et al., 2021b).

Apesar do esforço desenvolvido até o presente momento, novas pesquisas são necessárias até que se tenha um pacote tecnológico para o cultivo bioassalino de anonáceas. Com base nos resultados promissores citados, é possível apontar a necessidade do estudo de

compostos elicitores de estresse salino em plantas de pinheira e estudos sobre o manejo de adubação na gravioleira em todos os estágios de desenvolvimento, pois essa é mais sensível à salinidade do que a pinheira, e existe uma carência na literatura de resultados da fase de produção em cultivos bioassalinos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cultivo bioassalino de anonáceas, no semiárido da região Nordeste do Brasil, já é uma realidade. Logo, pesquisas que tracem novas perspectivas para este tipo de cultivo com anonáceas são extremamente relevantes. A salinidade tende a reduzir a eficiência fotossintética e, com isso, a produção das anonáceas. Constatou-se que a pinheira é mais tolerante ao estresse salino na fase reprodutiva do que nas fases de mudas e vegetativa, sendo uma indicação de aclimação da cultura ao estresse salino. É possível afirmar que a gravioleira sob estresse salino tem baixa eficiência fotoquímica na fase de mudas, que persiste na fase vegetativa, na qual o quenching fotoquímico é aumentado. Os parâmetros fotossintéticos da gravioleira são mais alterados pelo estresse salino do que os parâmetros fotossintéticos da pinheira.

Estudos apontam que a pinheira sob adubação adequada com nitrogênio, fósforo e potássio, nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura, adapta-se melhor à salinidade, assim como o tratamento das sementes e a pulverização foliar com elicitores de estresse abiótico, como peróxido de hidrogênio e ácido salicílico, induz maior tolerância à salinidade para a gravioleira. Apesar dos avanços alcançados até o presente momento na aclimação de anonáceas ao estresse salino, novas pesquisas são necessárias para melhorar o desempenho das anonáceas em cultivos bioassalinos, principalmente da gravioleira, que a atividade fotossintética é mais prejudicada pelo estresse salino do que a pinheira.

Novos estudos que avaliam a viabilidade de substâncias que atenuem os efeitos do estresse salino na atividade fotossintética da pinheira e gravioleira são grande importância, haja vista que os aparatos fotossintéticos das anonáceas são muito sensíveis ao estresse salino, tendendo a aumentar dissipação de energia luminosa na forma de fluorescência e a diminuir a eficiência fotoquímica, provocando grandes prejuízos à taxa de assimilação de CO₂. Assim, a avaliação da fluorescência da clorofila a possui grande relevância para monitorar a aclimação da pinheira ao estresse salino.

LITERATURA CITADA

Andrade, F. H. A.; Pereira, W. E.; Morais, R. R.; Silva, A. F.; Barbosa Neto, M. A. Effect of phosphorus application on substrate and use of saline water in sugar-apple seedlings. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.48, n.2, p.190-199, 2018.

- Araújo Filho, G. C.; Andrade, O. M. S.; Castro, F. A.; Sá, F. T. Instruções técnicas para o cultivo da gravioleira. Embrapa Agroindústria Tropical - Séries anteriores (INFOTECA-E), n.2, p.1-9, 1998. Available on: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAT-2010/5378/1/It-002.pdf>>. Accessed on: Jun. 2022.
- Ayers, R. S.; Westcot, D. W. A qualidade da água na agricultura. “Water Quality for Agriculture” FAO 29. Tradução de Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p.
- Braga Sobrinho, R. Produção integrada de anonáceas no Brasil. Revista Brasileira de Fruticultura, v.36, edição especial, e., p.102-107, 2014.
- Braga Sobrinho, R.; Mesquita, A. L. M. Manejo de pragas das anonáceas. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.38, n.297, p.94-102, 2017. Available on: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/232020/1/Manejo-de-Pragas.pdf>>. Accessed on: Jun. 2022.
- Castro, F. A.; Maia, G. A.; Holanda, L. F. F.; Guedes, Z. B. L.; Fé, J. A. M. Características físicas e químicas da graviola. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.19, n.3, p.361-365, 1984. <https://core.ac.uk/download/pdf/228675615.pdf>
- Cavalcante, L. F.; Carvalho, S. S.; Lima, E. M.; Feitosa Filho, J. C.; Silva, D. A. Desenvolvimento inicial da gravioleira sob fontes e níveis de salinidade da água. Revista Brasileira de Fruticultura, v.23, n.2, p.455-459, 2001.
- Cirilo, J. A.; Montenegro, S. M. G. L.; Campos, J. N. B. A Questão da água no semiárido brasileiro. In: Bicudo, C. E. M.; Tundisi, J. G.; Scheuenstuhl, M. C. B. (org.). Águas do Brasil análises estratégicas. 1ed. São Paulo: Instituto de Botânica. 2010. Cap.5, p.81-91. Available on: <<http://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-6820.pdf>>. Accessed on: Jun. 2022.
- Cordeiro, M. C. R.; Pinto, A. C. Q.; Ramos, V. H. V. O cultivo da pinha, fruta-do-conde ou ata no Brasil. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2000. 52p. Available on: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2010/20402/1/cirtec-09.pdf>>. Accessed on: Jun. 2022.
- Fatima, R. T.; Nóbrega, J. S.; Ferreira, J. T. A.; Celedônio, W. F.; Figueiredo, F. R. A.; Ribeiro, J. E. S.; Pereira, M. B.; Pereira, W. E. Physiological responses in sugar apple seedlings under irrigation with saline water and foliar nitrogen. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.17, n.2, p.e473, 2022.
- Ferreira, F. N.; Lima, G. S.; Gheyi, H. R.; Sá, F. V. S.; Dias, A. S.; Pinheiro, F. W. A. Photosynthetic efficiency and production of *Annona squamosa* L. under salt stress and fertilization with NPK. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.25, p.446-452, 2021.

- Ferreira, F. N.; Lima, G. S.; Gheyi, H. R.; Sá, F. V. S.; Dias, A. S.; Soares, L. A. A. Production and post-harvest quality of custard apple irrigated with saline water and fertilized with N-P-K. *Comunicata Scientiae*, v.13, p.e3795, 2022.
- Figueiredo, F. R. A.; Gonçalves, A. C. M.; Ribeiro, J. E. S.; Silva, T. I.; Nóbrega, J. S.; Dias, T. J.; Albuquerque, M. B. Gas exchanges in sugar apple (*Annona squamosa* L.) subjected to salinity stress and nitrogen fertilization. *Australian Journal of Crop Science*, v.13, n.12, p.1959-1966, 2019.
- Flowers, T. J.; Flowers, S. A. Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders? *Agricultural Water Management*, v.78, n.1-2, p.15-24, 2005.
- Genty, B.; Briantais, J.-M.; Baker, N. R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, v.990, p.87-92, 1989.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Resultados preliminares do censo agropecuário. 2017. Available on: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuaria.html?edicao=21858&t=resultados>>. Accessed on: Jun 2022.
- Kramer, D. M.; Johnson, G.; Kiirats, O.; Edwards, G. E. New fluorescence parameters for the determination of Q_A redox state and excitation energy fluxes. *Photosynthesis research*, v.79, p. 209-218, 2004.
- Manica, I. Taxonomia, Morfologia e Anatomia. In: São José, A. R.; Vilas Boas, I.; Morais, O. M.; Rebouças, T. N. H. Anonáceas: produção e mercado (pinha, graviola, atemóia e cherimólia). Vitória da Conquista: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. 1997. Cap.2, p.20-35.
- Marler, T. E.; Zozor, Y. Salinity influences photosynthetic characteristics, water relations, and foliar mineral composition of *Annona squamosa* L. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v.121, n.2, p. 243-248, 1996.
- Nobre, R. G.; Fernandes, P. D.; Gheyi, H. R.; Santos, F. J. S.; Bezerra, I. L.; Gurgel, M. T. Germinação e formação de mudas enxertadas de gravioleira sob estresse salino. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.38, n.12, p.1365-1371, 2003.
- Oliveira, E. N. A.; Santos, D. C.; Santos, Y. M. G.; Oliveira, F. A. A. Agroindustrial utilization of soursop (*Annona muricata* L.) for production of liqueurs: sensory evaluation. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, v.7, n.2, p.281-290, 2019.

- Oxborough, K.; Baker, N. R. An instrument capable of imaging chlorophyll a fluorescence from intact leaves at very low irradiance and at cellular and subcellular levels of organization. *Plant, Cell & Environment*, v.20, n.12, p.1473-1483, 1997.
- Passos, V. M.; Santana, N. O.; Gama, F. C.; Oliveira, J. G.; Azevedo, R. A.; Vitória, A. P. Growth and ion uptake in *Annona muricata* and *A. squamosa* subjected to salt stress. *Biologia Plantarum*, v.49, n.2, p.285-288, 2005.
- Ramos, V. H. V. Cultura da gravioleira (*Annona muricata* L.). In: Donadio, L. C.; Martins, B. G.; Valente, J. P. *Fruticultura tropical*. Jaboticabal: FUNEP/FCAV/UNESP, 1992. p. 127-157.
- Sá, F. V. S.; Brito, M. E. B.; Pereira, I. B.; Antônio Neto, P.; Silva, L. A.; Costa, F. B. Balanço de sais e crescimento inicial de mudas de pinheira (*Annona squamosa* L.) sob substratos irrigados com água salina. *Irriga*, v.20, n.3, p. 544-556, 2015.
- Sá, F. V. S.; Gheyi, H. R.; Lima, G. S.; Pinheiro, F. W. A.; Paiva, E. P.; Moreira, R. C. L.; Silva, L. A.; Fernandes, P. D. The right combination of N-P-K fertilization may mitigate salt stress in custard apple (*Annona squamosa* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, v.43, n.59, p.1-12, 2021.
- Sá, F. V. S. Adubação adequada potencializa o uso de águas residuárias salobras para irrigação de mudas de gravioleira. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2023. 70p.
- Senthil, R.; Silambarasan, R. Annona: A new biodiesel for diesel engine: A comparative experimental investigation. *Journal of the energy institute*, v.88, n.4, p.459-469, 2015.
- Silva, R. A. R.; Nunes, J. C.; Lima Neto, A. J.; Cavalcante, L. F.; Silva, M. R. M.; Rodrigues, R. M. Lâminas de irrigação e cobertura do solo na produção e qualidade de frutos da gravioleira. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.8, n.3, p.441-447, 2013.
- Silva, E. M.; Lima, G. S.; Gheyi, H. R.; Nobre, R. G.; Sá, F. V. S.; Souza, L. P.; Soares, L. A. A.; Fernandes, P. D. Photosynthetic pigments and photochemical efficiency in soursop under saline water irrigation and nitrogen sources. *Journal of Agricultural Science*, v.9, n.12, p.325-334, 2017.
- Silva, E. M.; Lima, G. S.; Gheyi, H. R.; Nobre, R. G.; Sá, F. V. S.; Souza, L. P. Growth and gas exchanges in soursop under irrigation with saline water and nitrogen sources. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.22, n.11, p.776-781, 2018.

- Silva, A. A. R.; Lima, G. S.; Azevedo, C. A. V.; Veloso, L. L. S. A.; Capitulino, J. D.; Gheyi, H. R. Induction of tolerance to salt stress in soursop seedlings using hydrogen peroxide. *Comunicata Scientiae*, v.10, n.4, p.484-490, 2019.
- Silva, A. A. R.; Lima, G. S.; Azevedo, C. A. V.; Veloso, L. L. S. A.; Gheyi, H. R. Salicylic acid as an attenuator of salt stress in soursop. *Revista Caatinga*, v.33, n.4, p.1092-1101, 2020.
- Silva, A. A. R.; Capitulino, J. D.; Lima, G. S.; Azevedo, C. A. V.; Veloso, L. L. S. A. Tolerance to salt stress in soursop seedlings under different methods of H₂O₂ application. *Revista Ciência Agronômica*, v.52, n.3, p.e20207107, 2021a. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20210030>
- Silva, A. A. R.; Lima, G. S.; Azevedo, C. A. V.; Gheyi, H. R.; Souza, A. R.; Fernandes, P. D. Salicylic acid relieves the effect of saline stress on soursop morphophysiology. *Ciência e Agrotecnologia*, v.45, p.e007021, 2021b.
- Silva, A. A. R.; Veloso, L. L. S. A.; Lima, G. S.; Gheyi, H. R.; Sá, F. V. S.; Azevedo, C. A. V. Cultivation of custard-apple irrigated with saline water under combinations of nitrogen, phosphorus and potassium. *Revista Caatinga*, v.35, n.1, p.181-190, 2022.
- Souza, A. A. T. Morfofisiologia de mudas de pinheira (*Annona squamosa* L.) irrigadas com águas residuárias salinas submetidas a doses de NPK. 2021. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2021. 58p.
- TACO – Tabela Brasileira de Composição de Alimentos, v. II, 2ed. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2006. 113p.
- Taiz, L.; Zeiger, E.; Møller, I. M.; Murphy, A. *Plant physiology and development*. 6.ed. New York: Sinauer Associates, 2015. 761p.
- Veloso, L. L. S. A.; Nobre, R. G.; Souza, L. P.; Gheyi, H. R. Cavalcante, I. T. S.; Araujo, E. B. G.; Silva, W. L. Formation of soursop seedlings irrigated using waters with different salinity levels and nitrogen fertilization. *Bioscience Journal*, v.34, n. supplement 1, p.151-160, 2018.
- Veloso, L. L. S. A.; Silva, A. A. R.; Capitulino, J. D.; Lima, G. S.; Azevedo, C. A. V.; Gheyi, H. R.; Nobre, R. G.; Fernandes, P. D. Photochemical efficiency and growth of soursop rootstocks subjected to salt stress and hydrogen peroxide. *AIMS Agriculture and Food*, v.5, n.1, p. 1-13, 2020a.
- Veloso, L. L. S. A.; Lima, G. S.; Azevedo, C. A. V.; Nobre, R. G.; Silva, A. A. R.; Capitulino, J. D.; Gheyi, H. R.; Bonifácio, B. F. Physiological changes and growth of soursop plants

under irrigation with saline water and H₂O₂ in post-grafting phase. *Semina: Ciências Agrárias*, v.41, n.6, suplemento 2, p.3023-3038, 2020b.

Yahia, E. M. The contribution of fruit and vegetable consumption to human health. In: Rosa, L. A.; Alvarez-Parrilla, E.; Gonzalez-Aguilar, G. A. *Fruit and vegetable phytochemicals chemistry nutritional value and stability*. Iowa: Wiley-Blackwell, 2010. Cap.1, p.3-51.

CANA-DE-AÇÚCAR

*Francisco de Assis da Silva¹, Mirandy dos Santos Dias¹,
Cassiano Nogueira de Lacerda¹, Idelvan José da Silva¹,
Carlos Henrique de Azevedo Farias², Josely Dantas Fernandes³,
Carlos Henrique Salvino Gadelha Meneses³, Alberício Pereira de Andrade⁴,
Pedro Dantas Fernandes^{*}*

RESUMO: A escassez de água de boa qualidade, um dos principais problemas enfrentados em muitos países, está forçando os produtores agrícolas a usar fontes hídricas com concentrações mais altas de sais do que o normal, a depender da espécie cultivada. Em cana-de-açúcar e em muitas culturas, os efeitos da salinidade são muito complexos, pois envolvem alterações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas, causadas por dificuldades na absorção de água e toxicidade de íons específicos. Tais efeitos, variam entre espécies e entre genótipos de uma mesma espécie, além de variações entre estádios de desenvolvimento das plantas. Nesse cenário, há algumas décadas, pesquisadores já se anteciparam em estudar efeitos do estresse salino em cana-de-açúcar, com utilização, inclusive, de genótipos avançados, em pleno uso nos cultivos atuais. Os resultados são promissores e envolvem aspectos agronômicos, fisiológicos, bioquímicos e índices de rendimento industrial, em função de concentrações variadas de sais na água de irrigação. Nesse esforço já foi identificado o nível de tolerância de alguns genótipos ao estresse salino. No

1 Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande, PB, Brasil

2 Empresa PROJETO AGRO, Mamanguape, PB, Brasil

3 Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, Campina Grande, PB, Brasil

4 Universidade Federal do Agreste de Pernambuco - UFAP, Garanhuns, PE, Brasil

* Autor correspondente: pedrodantasfernandes@gmail.com

texto, são consideradas, ainda, perspectivas de exploração da cana-de-açúcar em áreas costeiras, com uso de água do mar.

Palavras-chave: *Saccharum* spp.; estresse salino; parâmetros fisiológicos.

SUGARCANE

ABSTRACT: The scarcity of good quality water, one of the main problems faced in many countries, is forcing agricultural producers to use water sources with higher concentrations of salts than normal, depending on the cultivated species. In sugarcane and in many crops, the effects of salinity are very complex, as it involves morphological, physiological and biochemical changes, caused by difficulties in water absorption and toxicity of specific ions. Such effects vary between species and between genotypes of the same species, in addition to variations between plant development stages. In this scenario, a few decades ago researchers already anticipated the study of effects of salt stress on sugarcane, even using advanced genotypes, in full use in current crops. The results are promising and involve agronomic, physiological, biochemical aspects and industrial yield indices, depending on different concentrations of salts in irrigation water. In this effort, the level of tolerance of some genotypes to saline stress has already been identified. The text also considers prospects for exploring sugarcane in coastal areas, using seawater.

Key words: *Saccharum* spp.; salt stress; physiological parameters.

1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade de fontes hídricas de boa qualidade está se tornando escassa, face à crescente demanda para uso direto da população e, principalmente, para uso na agricultura, forçando os técnicos a desenvolverem tecnologias para a utilização de águas de qualidade inferior na irrigação de culturas. Outro foco de interesse visa aumentar a eficiência de uso da água na agricultura irrigada, em particular, quando terras estão sendo afetadas pelas mudanças climáticas e pelo avanço da urbanização (Hopmans et al., 2021; Rao et al., 2021).

Uma providência inovadora pode ser a agricultura biosalina, por injetar vida em áreas onde predominem água e solos de baixa qualidade, pelo incentivo de cultivo de espécies tolerantes à salinidade e com potencial de elevada expressão econômica (Fernandes et al., 2016).

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), como exemplo, é uma glicófita de grande importância para o agronegócio; além da produção de etanol e açúcar, é utilizada na alimentação animal, produção de energia e aproveitamento de subprodutos como fertilizantes (Chiconato et al., 2019; Elsheery et al., 2020). Entretanto, em parte da Região Nordeste do Brasil, o clima é predominantemente semiárido, sendo necessária a utilização da irrigação e as águas têm alto teor de sais (Medeiros et al., 2016).

Plantas irrigadas em tais condições passam por alterações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas, em virtude da dificuldade na absorção de água e toxicidade de íons específicos, com consequências em índices de crescimento, desenvolvimento, qualidade e rendimento da planta (Munns & Tester, 2008; Dias et al., 2016; Simões et al., 2019). Outro aspecto a considerar é o aumento da demanda energética que ocorre no metabolismo das glicófitas sob estresse salino, que pode ser superior ao das halófitas, por ser induzida a síntese de compostos orgânicos com funções osmoprotetoras (Rasoulnia et al., 2011).

Felizmente, no decorrer da evolução, algumas plantas desenvolveram mecanismos capazes de tolerar níveis de sais superiores aos de muitas espécies. Tais mecanismos envolvem estratégias diversas, com destaques para: exclusão seletiva de íons; controle da entrada de íons nas raízes e transporte para as folhas; compartimentação de íons em nível celular e estrutural; síntese de osmólitos e alterações nas vias fotossintéticas; indução de enzimas antioxidantes e hormônios, bem como, modificações na estrutura de membranas, garantindo as funções fotossintéticas e bioquímicas das células (Esteves & Suzuki, 2008; Hopmans et al., 2021).

2 FISILOGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR

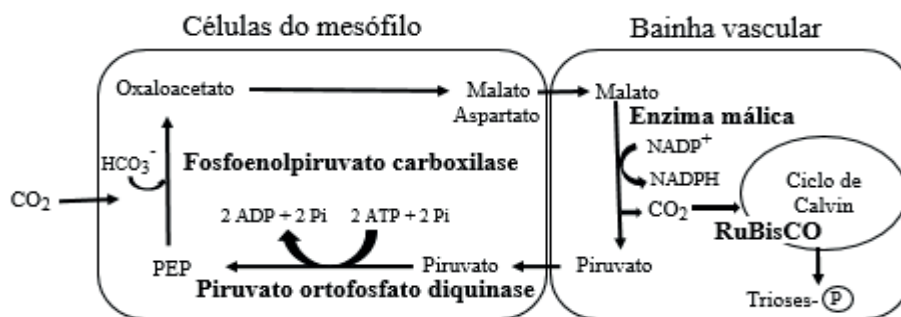
2.1 Metabolismo fotossintético C4

Plantas com metabolismo C4, em que se enquadra a cana-de-açúcar, têm alta eficiência de uso da água em comparação com as plantas C3, e isso é conseguido através de uma série

de características anatômicas e bioquímicas que permitem uma melhor eficiência catalítica da Ribulose-1,5-Bifosfato carboxilase (Peisker & Henderson, 1992; Taiz et al., 2017). Essas plantas utilizam duas enzimas compartimentadas em locais diferentes da célula (mesófilo e bainha vascular) que lhes permitem uma maior eficiência da RuBisCO-carboxilase, por ocorrer em ambiente especial (bainha vascular) e reduzir a perda de carbono.

No metabolismo fotossintético C4 (Figura 1), a fixação primária de CO₂ ocorre no compartimento externo, denominado mesófilo, onde a anidrase carbônica converte o CO₂ em bicarbonato (HCO₃⁻), que reage com o fosfoenolpiruvato (PEP), com auxílio da PEP carboxilase (PEPcase), resultando em oxaloacetato (4C); este se converte, rapidamente, em malato (primeiro composto estável, também com 4C) ou aspartato (Taiz et al., 2017; Majerowicz, 2019; Schlüter & Weber, 2020).

Figura 1. Ciclos de carboxilação das plantas C4, em que se enquadra a cana-de-açúcar, ocorrendo o primeiro, nas células do mesófilo e o segundo, o ciclo de Calvin, nas células da bainha vascular (Adaptado de Majerowicz, 2019).



Após a formação de malato ou aspartato, são eles exportados para as células da bainha vascular, onde ocorre descarboxilação (Majerowicz, 2019; Schlüter & Weber, 2020). Embora essas reações sejam comuns a todas as plantas C4, são encontradas variações bioquímicas na fase de descarboxilação, em algumas espécies (Majerowicz, 2019). Na cana-de-açúcar, conforme representado na Figura 1, o malato é descarboxilado no interior dos cloroplastos das células da bainha vascular, através da enzima malato desidrogenase, dependente de NADP (NADP-MDHase), resultando em CO₂ e piruvato (Ghannoum, 2009).

Na descarboxilação do malato, o dióxido de carbono (CO₂) é fixado pela RuBisCO (5 carbonos) e forma duas trioses (PGA - ácido fosfoglicérico) no ciclo de Calvin-Benson (Lin et al., 2020). O piruvato (3C) que resultou da descarboxilação do malato, retorna para as células do mesófilo para a regeneração da fosfoenolpiruvato (PEP), acceptor inicial de CO₂, por ação da enzima piruvato ortofosfato diquinase (PPDK) (Taiz et al., 2017; Cacefo et al., 2019; Schlüter & Weber, 2020).

Vale salientar que a maior eficiência fotossintética da cana-de-açúcar, uma planta C4, deve-se à ação da PEP-Carboxilase no mesófilo celular, enzima com alta capacidade de carboxilação. Com a Rubisco, ao contrário, abrem-se duas vias, na competição pelos seus

sítios ativos, podendo haver ligação com carbono (carboxilase) ou com oxigênio (oxigenase, isto é, oxidação de uma triose). Portanto, com a Rubisco, ocorre perda de carbono; mas, como em plantas C4 a Rubisco está na bainha vascular, o carbono perdido por oxidação é reciclado, fato garantido pelas células especiais que formam a bainha, sem perdas para fora da célula. Em plantas C3, a Rubisco está presente no mesófilo e há perda de carbono, fenômeno esse denominado de fotorrespiração (Taiz et al., 2017); tal fato resulta em menor eficiência fotossintética das plantas C3.

2.2 Ajustamento osmótico da cana-de-açúcar em condições de estresse salino

Plantas tolerantes ao estresse salino podem ativar mecanismos de ajustamento osmótico, que consistem em reduzir a energia potencial da água na célula, a níveis inferiores ao estado de energia da água no solo, já que o fluxo é sempre para o local de menor energia. Essa redução ocorre pela acumulação de íons e produção de solutos orgânicos (osmólitos compatíveis), o que faz baixar o potencial osmótico da célula, conseqüentemente, a planta conseguirá absorver água do solo, onde estará em maior estado energético.

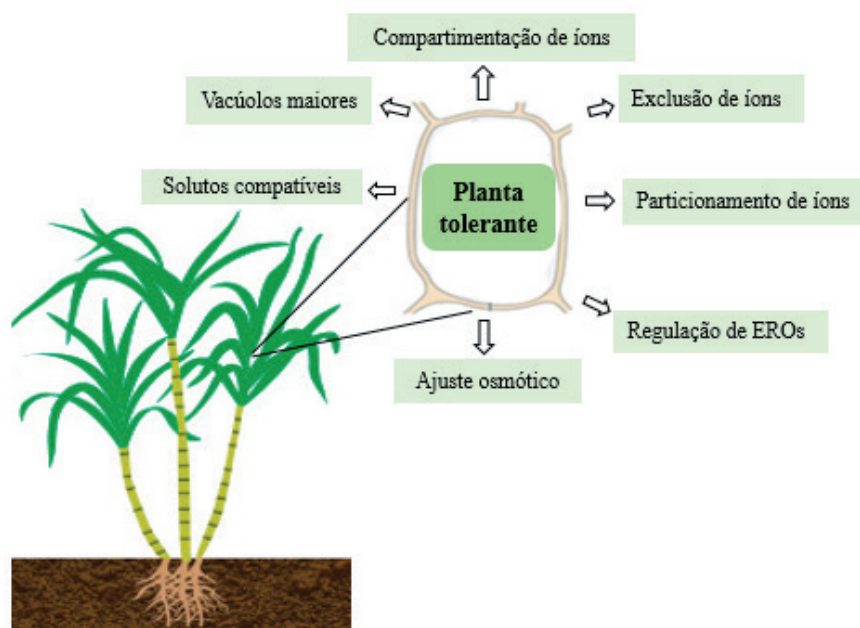
Portanto, o ajustamento osmótico favorece a um gradiente de potencial que possibilita a absorção de água para manter a pressão de turgor nas células (Munns et al., 2016; Hopmans et al., 2021). No entanto, com o ajustamento osmótico, há maior consumo de carboidratos (para a glicólise e produção de ATP) que, em conseqüência, estará menos disponível para a produção de energia e síntese de novos constituintes celulares, o que afeta o crescimento da planta (Hopmans et al., 2021).

Na Figura 2, encontra-se um esquema simplificado, envolvendo os eventos celulares que contribuem para a manutenção do turgor da célula vegetal, como conseqüência do estresse salino.

Mudanças no potencial osmótico, causadas pela salinidade do solo e/ou da água de irrigação, reduzem a capacidade das plantas absorverem água. Além disso, íons específicos, como Na^+ e Cl^- influenciam, negativamente, o desenvolvimento das plantas, ao serem absorvidos em quantidades superiores às suas necessidades (Chiconato et al., 2019; Hopmans et al., 2021). Vale ressaltar ser Na^+ essencial para as plantas C4, imprescindível para a reconstituição do fosfoenolpiruvato (PEP), mas em proporção correspondente a de micronutrientes, o que é muito menor do que a concentração do íon em águas e solos salinos, onde se concentram sais (Epstein & Bloom, 2006).

Além de plantas C4, o sódio é necessário, igualmente, para as que têm o metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), também no processo de reconstituição do fosfoenolpiruvato, que acontece durante o dia, quando os estômatos estão fechados. Esse conhecimento é do início desse século, tanto que está presente apenas na literatura mais recente, após divulgação de Epstein & Bloom (2006).

Figura 2. Mecanismos celulares que contribuem para a baixa concentração de Na^+ e manutenção do turgor da célula (Adaptado de Munns et al., 2016). Tais mecanismos envolvem: compartimentação vacuolar que remove Na^+ e Cl^- do citoplasma; solutos compatíveis para fornecer equilíbrio osmótico no citoplasma; regulação de EROs, através da ativação de enzimas antioxidantes que eliminam os radicais tóxicos, gerados pela cadeia de transporte de elétrons de mitocôndrias e cloroplastos. Tais mecanismos, em conjunto, protegem o metabolismo celular na presença de concentrações elevadas de Na^+ e Cl^- .



2.3 Alterações fisiológicas da cana-de-açúcar sob salinidade

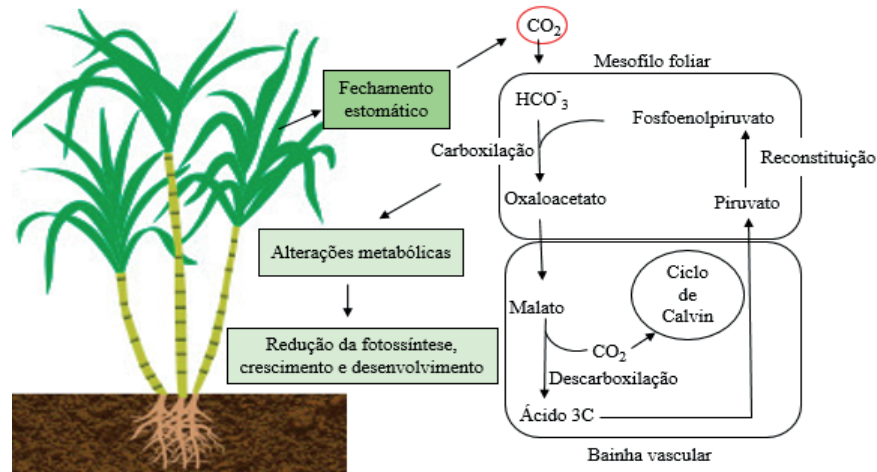
2.3.1 Estômatos

Na cana-de-açúcar, sob estresse salino, um dos primeiros sinais é a biossíntese de ácido abscísico (ABA), translocado para a parte aérea, onde é acumulado e redistribuído para os estômatos. Esse fitohormônio induz a saída de íons (principalmente potássio, cloro) das células-guarda do estômato, para as células subsidiárias, cujo potencial osmótico do conteúdo celular fica mais negativo. Tal fato, vai resultar na perda de água das células-guarda, fechamento do estômato e conseqüente fluxo de água para as subsidiárias (potencial mais negativo, ao receber os íons que saíram das células-guarda) e os reflexos surgirão com a redução das trocas gasosas (Mittler & Blumwald, 2015). Vale ressaltar ser a presença de ABA na planta, indicativo de estar o vegetal sob algum fator de estresse, isto é, não é exclusivo do estresse salino.

A redução na abertura estomática é um dos primeiros sinais de estar a planta sob estresse. Visa diminuir a perda de água e tem como consequência a diminuição da difusão de CO_2 para os estômatos e, conseqüentemente, para os locais de carboxilação da enzima PEPcase (Peisker & Henderson, 1992; Silva et al., 2022). Na carboxilação do CO_2 pelo ácido fosfoenolpiruvato (PEP), bem como, a conversão de oxaloacetato a malato, desencadearão processos metabólicos da fotossíntese e produção de fitomassa (Ghannoum, 2009; Sage et al., 2013).

Uma síntese das alterações fisiológicas, ocorridas em cana-de-açúcar, como consequência do fechamento estomático, mediado pelo estresse salino, é apresentada na Figura 3.

Figura 3. Alterações metabólicas ocorridas em cana-de-açúcar, como consequência do fechamento estomático, mediado pelo estresse salino (Adaptado de Fernandes et al., 2016). O fechamento estomático reduz a difusão de CO_2 , para o local de carboxilação da enzima fosfoenolpiruvato; são prejudicadas a reação com o fosfoenolpiruvato e a conversão do oxaloacetato a malato, com consequências na síntese de compostos orgânicos e na produção de fitomassa vegetal.



Reduções na condutância estomática e na taxa fotossintética têm sido constatadas por diversos autores. Lira et al. (2018a) observaram que a irrigação com água em níveis crescentes de salinidade (0,5; 2,0; 3,5; 5,0 e 6,5 dS m^{-1}) inibiu o potencial hídrico, a condutância estomática, a transpiração e a capacidade fotossintética das plantas da variedade RB867515. Resultados similares também foram observados por Simões et al. (2019), ao avaliarem os parâmetros fisiológicos em dez variedades de cana-de-açúcar (VAT90212, RB72454, RB867515, Q124, RB961003, RB957508, SP791011, RB835089, RB92579 e SP943206) submetidas a seis níveis de salinidade da água de irrigação (0, 1,0, 2,0, 4,0, 6,0 e 8,0 dS m^{-1}). Os autores constataram indução ao fechamento estomático e redução na taxa fotossintética na maioria das variedades, com exceção da RB867515.

Os efeitos da salinidade em plantas são complexos, pois variam de acordo com genótipo, concentração de sais no solo, duração do estresse, fatores de clima, dentre outros (Lira et al., 2018b). Tal fato foi comprovado por Chiconato et al. (2019), ao estudarem a adaptação da cana-de-açúcar a diferentes concentrações de salinidade da água de irrigação (0, 40, 80 e 160 mM de NaCl); em um período de 30 dias, verificaram redução acentuada na condutância estomática e na taxa de assimilação de CO_2 . Em baixa salinidade (0 e 40 mM de NaCl), a var. IAC87-3396 foi a de maior taxa fotossintética, em relação à SP81-3250. Entretanto, em maiores concentrações (80 e 160 mM de NaCl), a maior redução da fotossíntese foi registrada na 'IAC87-3396', ao contrário da 'SP81-3250' que manteve taxas fotossintéticas similares em todos os tratamentos.

Segundo Simões et al. (2019), a diminuição da condutância estomática é uma importante estratégia verificada em plantas de cana e de outras espécies, em geral, para evitar perdas de água pelas folhas. Ressalta-se ser a fotossíntese dependente de um fluxo satisfatório de CO_2 para as células, sendo que esse fluxo depende da abertura estomática (Vanlerberghe et al., 2020). Assim, o declínio da fixação de CO_2 pelo fechamento estomático, causa desequilíbrio entre os fotossistemas, pois os elétrons livres produzidos pelos centros de reação não são transferidos para NADP^+ , principal acceptor de elétrons do PSI (fotossistema I), o que reduz a capacidade fotossintética das plantas (Prisco et al., 2016; Taiz et al., 2017).

2.3.2 Fluorescência da Clorofila a

Devido à diminuição da capacidade fotossintética sob condições de déficit hídrico, uma baixa intensidade de luz é usada na fotossíntese e, conseqüentemente, menor proporção da energia incidente é utilizada para produzir NADPH e ATP, resultando em fotoinibição (Sales et al. 2013). De acordo com Silva et al. (2014), a intensidade da fotoinibição pode ser medida pela redução da eficiência quântica máxima do fotossistema II (F_v/F_m). Em condições normais, a razão F_v/F_m pode variar entre 0,75 e 0,85, enquanto que, uma queda nessa razão reflete-se em dano fotoinibitório nos centros de reação do fotossistema II (Bolhàr-Nordenkamp et al., 1989).

Efeitos prejudiciais da salinidade sobre a eficiência quântica máxima do fotossistema II (F_v/F_m), em cana-de-açúcar, foram verificados por diversos autores, a exemplo de Cruz et al. (2018), ao avaliarem parâmetros fisiológicos da variedade IAC91-1099, em condições de vaso. Na comparação com a testemunha (baixa salinidade), os autores observaram aumento de 21,1% na fluorescência inicial (F_0), com o tratamento de 800 mg kg^{-1} de Na (fonte: NaCl) no solo. Além disso, houve redução de 30,6% e 10,8%, para a fluorescência máxima (F_m) e eficiência quântica máxima do fotossistema II (F_v/F_m), respectivamente; isto é, o estresse salino resultou em desperdício de energia, pois aumentou a fluorescência inicial (F_0), com conseqüências em baixa eficiência quântica do fotossistema. Brindha et al. (2019), ao trabalharem com oito genótipos de cana-de-açúcar (Co8021, Co85019, Co2001-13, Co97010, Co99004, Co94012, Co95007 e Co97009) submetidos à salinidade da água de irrigação (8 dS m^{-1}), em diferentes fases de crescimento da cultura (perfilhamento, alongamento e maturação), constataram influência negativa do estresse salino sobre a eficiência quântica máxima do fotossistema II (F_v/F_m) e sobre o teor de clorofila SPAD, em todas as fases fenológicas da cultura.

Pelos resultados discutidos dos trabalhos de estresse salino em cana-de-açúcar, depreende-se que o excesso de sais reduz a capacidade fotossintética das plantas, cujos efeitos são variáveis, a depender da variedade. Outra influência negativa da salinidade, a ser abordada em parágrafos a seguir, é a relativa à produção de espécies reativas de oxigênio (EROs).

3 BIOQUÍMICA DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB ESTRESSE SALINO

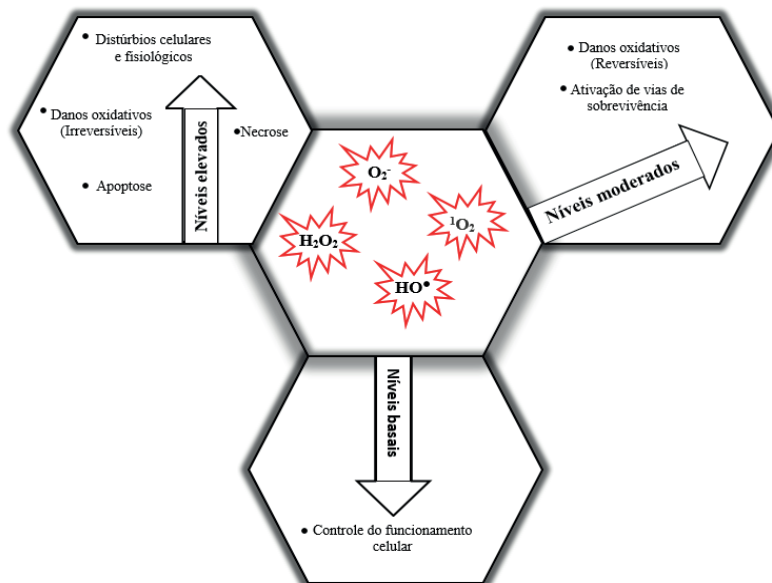
3.1 Espécies reativas de oxigênio (EROs)

As espécies reativas de oxigênio são produzidas, principalmente, quando há redução na atividade da rede de transporte de elétrons, levando as plantas a serem expostas ao excesso de radicais. São várias as EROs, com destaques para superóxido ($O_2^{\cdot-}$), peróxido de hidrogênio (H_2O_2), radical hidroxila (HO^{\cdot}) e oxigênio singleto (1O_2) (Silveira et al., 2016; Foyer, 2018). Em baixos níveis, atuam como moléculas sinalizadoras, a induzir uma ação positiva do sistema antioxidante; no entanto, em níveis elevados, todas as formas de EROs se tornam tóxicas e capazes de interagir com todos os tipos de moléculas orgânicas, por causarem senescência e morte celular (Foyer, 2018; Tavanti et al., 2021).

Cloroplastos, mitocôndrias e peroxissomos são as principais organelas produtoras de EROs (Asada, 2006). No entanto, em resposta a manifestações endógenas e/ou exógenas, a membrana plasmática e o apoplasto, também podem ser geradores de EROs (Das & Roychoudhury, 2014). É sabido, que esses radicais livres são subprodutos gerados durante o processo normal do metabolismo celular, porém, a sua produção pode ser aumentada em condições de estresse (Noctor et al., 2014). Nos cloroplastos a formação de EROs está diretamente ligada ao evento de fotossíntese; na fotorrespiração, os peroxissomos são organelas onde há neutralização de formas de produção do H_2O_2 , enquanto que na mitocôndria o processo de produção de EROs está relacionado com o consumo de O_2 (Gill & Tuteja, 2010).

Na Figura 4, encontram-se os principais eventos ocorridos em nível celular devido à produção de espécies reativas de oxigênio (EROs).

Figura 4. Efeitos de níveis de produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), sobre a fisiologia e metabolismo de células (Adaptada de Trevisan, 2014).



Com a redução de O_2 durante o transporte de elétrons na via fotossintética ocorrida nos cloroplastos, os radicais superóxidos ($O_2^{\cdot-}$) são os primeiros a serem produzidos, no entanto, são considerados moderadamente reativos e instáveis na célula, pois a dismutação do radical $O_2^{\cdot-}$ a H_2O_2 é rápida e pode ocorrer, tanto de forma espontânea, como catalisada pela enzima superóxido dismutase (Halliwell, 2006; Barbosa et al., 2014).

O peróxido de hidrogênio (H_2O_2), apesar de não ser um radical livre, tem efeitos diferentes nas plantas: quando produzido em baixa concentração, ou seja, em níveis basais, age como aclimatizador, operando na tolerância a vários estresses bióticos e abióticos. No entanto, em altas concentrações sinaliza a célula para o fenômeno da apoptose (Cohen, 1993; Bhattacharjee, 2012). Vale a pena a contextualização sobre este fenômeno. Primeiro, há diferenças entre APOPTOSE e NECROSE e, em ambos os casos, ocorre morte celular, por serem adversas as condições para desenvolvimento do vegetal. Na necrose, a morte é por desorganização do metabolismo em um organismo, por causa de danos causados por produtos químicos tóxicos ou lesão física. Na apoptose, as células são estimuladas a ativar mecanismos de morte programada. Portanto, necrose e apoptose ocorrem em circunstâncias diferentes; enquanto na primeira há perdas de matéria e de energia, na apoptose a célula se divide em pequenas partes, geralmente recicladas por outras células e o prejuízo para o vegetal não é de matéria, mas de energia despendida em todo o processo (Balk & Leaver, 2001; An & You, 2004; Greenberg & Yao, 2004; Watanabe, 2005).

Além do $O_2^{\cdot-}$ e H_2O_2 existem, ainda, outras EROs, formadas durante o estresse salino, a exemplos de radical hidroxila (HO^{\cdot}) e oxigênio singleto (1O_2). O radical hidroxila é considerado, entre as EROs, como o mais reativo, pois, além de reagir com todas as moléculas biológicas, a ausência de mecanismos enzimáticos para eliminar o seu excesso de produção, pode levar à morte celular (Vranová et al., 2002; Gill & Tuteja, 2010). O oxigênio singleto, produzido nas membranas tilacoides pelo PSII, é mais reativo do que $O_2^{\cdot-}$ e H_2O_2 (Barbosa et al., 2014).

3.2 Sistemas de defesa antioxidativo enzimático e não enzimático

Equilíbrio entre formação e remoção de EROs é essencial para o funcionamento das células vegetais, especialmente em plantas de cana-de-açúcar, quando expostas ao estresse salino (Singh et al., 2023). Em sua evolução, as plantas, em geral, desenvolveram um complexo sistema antioxidativo de defesa que limpa espécies reativas de oxigênio e de nitrogênio, composto por componentes enzimáticos e não enzimáticos. Entre os componentes não enzimáticos, destacam-se o ascorbato, a glutatona, os carotenoides, compostos fenólicos e osmólitos compatíveis. O mecanismo enzimático de desintoxicação envolve a superóxido dismutase (SOD), a catalase (CAT), a ascorbato peroxidase (APX) e a glutatona redutase (GR), dentre outras enzimas (Barbosa et al., 2014; Kapoor et al., 2019; Tavanti et al., 2021).

Aumento na atividade de enzimas, como mecanismo de defesa das plantas contra o estresse oxidativo, foi observado por diversos autores. Em estudo realizado com três cultivares de cana-de-açúcar (RB92579, RB962962 e RB867515), sob irrigação com água salina (50, 100, 150 e 200 mM de NaCl), Carvalho et al. (2016) observaram menores valores na atividade de CAT

e APX na variedade RB962962, em todos os níveis salinos; ao contrário, houve incremento da atividade de APX e CAT em RB867515, uma evidência de um mecanismo mais eficiente de defesa, dessa variedade, em neutralizar espécies reativas de oxigênio. Na pesquisa realizada por Willadino et al. (2011), com as variedades RB867515 e RB863129, cultivadas sob oito níveis de salinidade da água de irrigação (0, 25, 50, 75, 100, 125, 150 e 200 mM de NaCl), foi constatado maior incremento da atividade de APX e CAT em RB867515, caracterizando um mecanismo eficiente na proteção da planta contra danos no aparato fotoquímico pela ação de EROs decorrentes do estresse salino.

Christy et al. (2013) usaram os genótipos Co-99004 (reconhecido como tolerante) e Co-97010 (considerado sensível) para avaliar os sinais decorrentes do estresse salino e do estresse hídrico em cana-de-açúcar. As duas cultivares foram submetidas a NaCl (170 e 250 mM) e Polietilenoglicol (-0,8 Mpa e -1,7 Mpa) e avaliadas por meio de análises bioquímicas (clorofila e prolina, peroxidase lipídica, xantofilas, atividade de peroxidase e superóxido dismutase, isoenzimas) e moleculares (expressão de genes por Transcriptase-PCR Reversa). Pelos resultados obtidos foi constatado que o genótipo tolerante (Co-99004) expressou melhor estabilidade (parâmetros bioquímicos e moleculares) nas condições salinas e de estresse hídrico, enquanto no genótipo sensível (Co-97010) falharam os mecanismos de defesa em ambas condições de estresse.

Singh et al. (2023), ao analisarem as reações bioquímicas *in vitro* de duas variedades de cana (BO91 e Co0239), submetidas a sete níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (2,2, 4,0, 6,0, 8,0, 10,0, 12,0 e 14,0 dS m⁻¹), constataram que a variedade BO91 é tolerante aos níveis de salinidade, com mecanismo de defesa mais eficiente, maior atividade das enzimas catalase (CAT), peroxidase (POX) e nitrato redutase (NR), em comparação à variedade Co0239, considerada sensível.

Além de aumentar a atividade de enzimas, conforme abordagens em linhas anteriores, pode ocorrer, também, acúmulo de antioxidantes não enzimáticos, reforçando os mecanismos de proteção da planta na eliminação de EROs. Foi o que verificaram Satbhai & Naik (2014), em estudos sobre a tolerância de duas variedades de cana-de-açúcar (CoM-265 e CoC-671) à salinidade; verificaram aumento no teor de clorofila e de osmólitos compatíveis (prolina e glicina betaína) na variedade tolerante (CoM-265) em relação à variedade sensível (CoC-671). Guerzoni et al. (2014) constataram, também, aumento de 25% no teor de prolina, em plantas sob estresse salino, uma evidência do efeito positivo desse osmólito na remoção de EROs.

Na sequência dos estudos, anos depois, Chiconato et al. (2019) investigaram os efeitos de quatro concentrações de NaCl (0, 40, 80 e 160 mM) em duas variedades de cana-de-açúcar ('SP813250' e 'IAC87339') e constataram maior acúmulo de prolina e menor peroxidação lipídica em 'SP813250'; as concentrações de glicina betaína e sacarose foram semelhantes em ambas as variedades. Os autores sugeriram, ainda, que a tolerância à alta salinidade em 'SP813250' foi devido à sua capacidade de excluir Na⁺, enquanto retira água do solo, e que medições da concentração de Na⁺ nas folhas poderiam ser usadas para selecionar genótipos tolerantes a sais. Tal fato foi confirmado por Munns (2002), ao verificar que as plantas tolerantes ao estresse salino, têm alta taxa de transporte de Na⁺ e Cl⁻ para as folhas e maior

capacidade de compartimentalização desses íons nos vacúolos, o que evita sua acumulação no citoplasma ou nas paredes celulares e, assim, evita a toxicidade do sal.

4 CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E QUALIDADE AGROINDUSTRIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB SALINIDADE

4.1 Crescimento

O efeito negativo que os sais ocasionam nas plantas pode ser causado por alguns fatores, dentre eles: (a) redução na capacidade de absorção de água, (b) mudanças na alocação de matéria seca, (c) relação iônica e outros processos bioquímicos e fisiológicos ou pela associação desses fatores; como consequência, ocorre redução no crescimento das plantas da maioria das espécies (Greenway & Munns 1980).

Reduções no crescimento da cana-de-açúcar, devido à salinidade, são relatadas por vários pesquisadores. Gomathi & Thandapani (2014), ao avaliarem a influência do estresse salino nas variedades C92038, Co85004, Si94050 e Co85036, constataram reduções no comprimento do colmo (42,3%), diâmetro do colmo (38,8%), número de entrenós (26,2%) e comprimento dos entrenós (33,8%) das variedades C92038, Co85004, Si94050 e Co85036, respectivamente, em solo com condutividade elétrica de 7 dS m⁻¹.

Em pesquisa realizada por Moraes et al. (2022), foi avaliado o crescimento da variedade RB92579, submetida a cinco níveis de salinidade da água de irrigação (CEa: 0,5; 2,0; 4,0; 6,0 e 8,0 dS m⁻¹) e duas frações de lixiviação (LF1- 0 e LF2-0,17), correspondendo a 100% e 120% da evapotranspiração (ETc) da cultura. Os autores constataram que na CEa de 8,0 dS m⁻¹, houve redução de altura da planta (13,34% e 12,90%), diâmetro do colmo (10,11% e 12,17%) e área foliar (10,11% e 12,17%) nas condições de LF1 e LF2, respectivamente, em relação às plantas irrigadas com 0,5 dS m⁻¹. Lira et al. (2018a) também avaliaram o crescimento da cana submetida a cinco níveis de salinidade da água de irrigação (0,5; 2,0; 3,5; 5,0 e 6,5 dS m⁻¹) e duas frações de lixiviação (0 e 0,17), correspondendo a 100 e 120% da evapotranspiração da cultura e verificaram que a salinidade da água de irrigação influenciou negativamente a altura, a área foliar, o número de folhas e o diâmetro do colmo.

Tais efeitos são atribuídos ao excesso de íons específicos, como Na⁺ e Cl⁻ que interferem, negativamente, no metabolismo nutricional das plantas, causando distúrbios na nutrição mineral, com consequências em seu crescimento (Chiconato et al., 2019; Hopmans et al., 2021). Além disso, ocorre redução do estado de energia livre da água no solo, tendo também como consequência, a modificação de genes responsáveis pela transição da síntese de suberina, lignina e polissacarídeos da parede celular, o que interfere, negativamente, na divisão celular (Li et al., 2014; Byrt et al., 2018). Nesse contexto, ocorre diminuição do diâmetro, número de internódios no caule e seu encurtamento, atribuída a uma estratégia de redução do dispêndio energético das células (Taiz et al., 2017).

Cruz et al. (2018), ao avaliarem a variedade IAC911099, submetida à baixa salinidade do solo (800 mg kg⁻¹ de Na), constataram sensibilidade dessa variedade a sais, não sendo recomendada para cultivo em regiões com teores altos de sais solúveis no solo. Segundo Cha-um & Kirdmanee (2009), as plantas de cana mais sensíveis à salinidade têm mecanismos de tolerância mais fracos, com conseqüente retardo no crescimento.

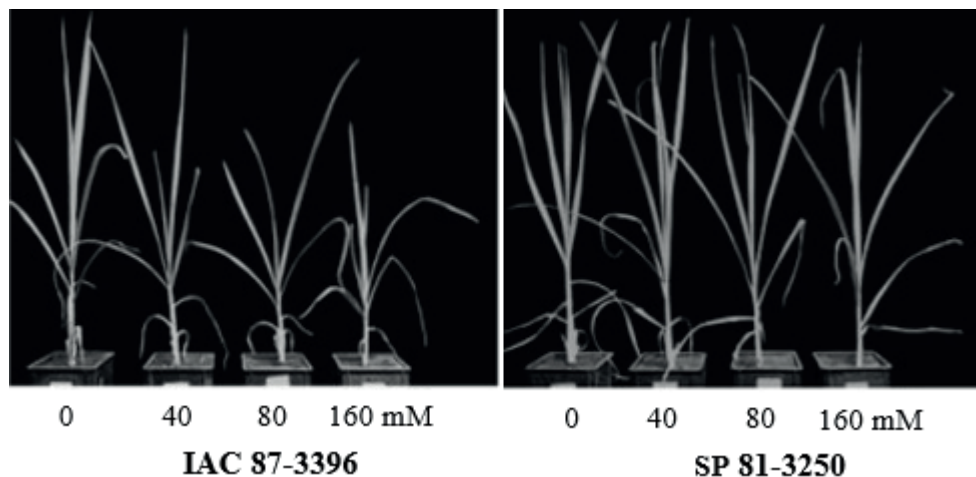
Em outros trabalhos envolvendo genótipos de cana, em condições variadas de CE da água de irrigação, fica patente a variabilidade genética para a tolerância ao estresse salino. Destacamos os de Akhtar et al. (2001) e de Hussain et al. (2004). Akhtar et al. (2001), como exemplo, ao investigarem os efeitos da salinidade no rendimento dos genótipos ‘CPF-213’, ‘CP-43/33’ e ‘L-116’, sob condutividade de 8 e 12 d Sm⁻¹, constataram redução no diâmetro do colmo e comprimento dos entrenós, em todos eles, porém, efeito mais expressivo dos sais foi registrado em ‘L-116’ e a mais tolerante foi a ‘CP-43/33’. Os autores citam que a redução nessas variáveis influencia diretamente no rendimento da cana e nos índices tecnológicos do caldo (principalmente ATR e teor de sacarose no colmo), pois à medida que a planta gasta energia para extrair água do solo, em condições de estresse salino, há consumo de carboidratos. Na pesquisa realizada por Hussain et al. (2004), em que avaliaram a tolerância à salinidade de duas variedades (CP77400 e COJ84) sob concentrações salinas de 25, 50, 100, 150 e 200 mM, e observaram ser a ‘COJ84’ relativamente tolerante ao estresse salino, em comparação com a ‘CP77400’, cujo crescimento foi mais afetado.

4.2 Adaptação osmótica

Plantas tolerantes à salinidade têm a capacidade de estabelecer um equilíbrio osmótico com a baixa disponibilidade de água no solo (Dias et al., 2016). Todavia, Lira et al. (2018b) citam que a tolerância das culturas à salinidade não está relacionada apenas com a quantidade e o tipo de sais, mas, também, à variabilidade genética. Chiconato et al. (2019), ao estudarem a adaptação de plantas de cana-de-açúcar em condições de salinidade, constataram ser o genótipo ‘SP 81-3250’ tolerante aos sais e manteve a taxa de produção de biomassa e área foliar até 160 mM de NaCl, uma evidência de sua adaptação osmótica, aos 30 dias após início dos tratamentos. Ao contrário, ‘IAC 87-3396’ foi sensível a 80 mM de NaCl, no mesmo período, conforme se observa na Figura 5.

Em uma pesquisa inédita, comparando 19 acessos de gêneros/espécies que compõem o complexo agroindustrial da cana-de-açúcar, Simões et al. (2021) testaram o efeito da salinidade da água de irrigação de 6,0 dS m⁻¹. Genótipos utilizados: 10 acessos foram de *Saccharum officinarum* (BGCN6, BGCN91, BGCN104, BGCN127, BCGN90, BGCN101, BGCN102, BGCN118, BGCN125 e BGCN122), 02 acessos de *Saccharum* spp. (BGCN87 e BGCN89), 01 de *Saccharum hybridum* (BGCN88), 01 de *Saccharum robustum* (BGCN94), 04 acessos de *Erianthus arundinaceus* (BGCN117, BGCN119, BGCN120 e BGCN123) e 01 acesso de *Miscanthus* spp. Os autores observaram que os acessos de *E. arundinaceus* (BGCN120 e BGCN123) foram os de maior crescimento em altura de plantas e comprimento das folhas, uma indicação de sua maior adaptabilidade osmótica.

Figura 5. Crescimento inicial de genótipos de cana-de-açúcar ‘SP 81-3250’ e ‘IAC 87-3396’, sob níveis de salinidade, aos 30 dias após iniciar a aplicação dos tratamentos (Extraído de Chiconato et al., 2019).



Consistente com tais observações, estão os resultados verificados por Wahid et al. (1997a), ao avaliarem linhagens de cana-de-açúcar submetidas a quatro níveis de salinidade da água (2,5; 7,0; 14 e 21 dS m⁻¹) ao longo de seis dias; as linhagens CP713002 e S86US699 foram capazes de se adaptar, osmoticamente, à alta salinidade. Igualmente, Rao et al. (2021), com base em índices morfológicos, fisiológicos e bioquímicos identificaram 13 genótipos tolerantes ao excesso de sais, dentre 38 genótipos de cana-de-açúcar irrigados, por dois ciclos consecutivos, com água de CE de 8 dS m⁻¹ (NaCl, Na₂SO₄, CaCl₂·2H₂O na proporção de 1:2:1 entre os cátions).

Com base nos trabalhos apresentados, depreende-se que genótipos de uma mesma espécie ou de espécies afins, podem se desenvolver de modo diferente na presença de estresse salino. A explicação está na variação da capacidade de adaptação osmótica e tolerância à maior concentração de íons, com resultados visíveis na produção, como consequência da maior absorção de água, mesmo em condições de alta salinidade (Munns et al., 2016).

4.3 Produção e qualidade agroindustrial

A produção e a qualidade dos produtos obtidos da cana-de-açúcar podem ser prejudicadas, gravemente, pela exposição a concentrações altas de sais. Isso ocorre em virtude de interrupções metabólicas, ao longo do ciclo da cultura, forçando as plantas a homeostases sucessivas, na tentativa de ajustamento ao fator de estresse. A incorporação e distribuição de íons em nível celular, acarretam reduções na disponibilidade de água, injúria iônica direta ou desequilíbrio nutricional (Kumar et al., 1999; Patade et al., 2009). Além disso, há redução na atividade das enzimas do metabolismo de carboidratos, dentre elas, a atividade da enzima invertase, que desempenha um importante papel na síntese de açúcares (Wahid et al., 1997b). Consequentemente, diminuição no conteúdo de sacarose, na formação dos colmos e nos atributos de qualidade industrial (Lingle & Wiegand, 1997; Sengar et al., 2013; Guerzoni et al., 2014).

Na maioria dos estudos em cana-de-açúcar, tem sido relatada redução na produção e qualidade do caldo extraído de plantas sob estresse salino. Lira et al. (2018b), ao avaliarem a produtividade da variedade RB867515, irrigada com água com diferentes concentrações de sais (0,5, 2,0, 3,5, 5,0 e 6,5 dS m⁻¹) e duas frações de lixiviação (0 e 0,17), correspondentes a 100% e 120% da evapotranspiração da cultura, constataram que na salinidade de 6,5 dS m⁻¹ reduziu 49,76% e 28,64% a massa seca do colmo e na produtividade da cultura, respectivamente, em comparação ao tratamento de 0,5 dS m⁻¹. Morais et al. (2022), ao avaliarem a produtividade, qualidade tecnológica e rendimento industrial da variedade RB92579, submetida a cinco níveis de salinidade da água de irrigação (0,5, 2,0, 4,0, 6,0 e 8,0 dS m⁻¹) e duas frações de lixiviação (LF1- 0 e LF2- 0,17), correspondendo a 100 % e 120% da evapotranspiração da cultura, também observaram que o aumento da CE da água de irrigação afetou, negativamente, a produtividade e qualidade tecnológica (°Brix, Pol, pureza e ATR).

Em anos anteriores, Golabi et al. (2009) registraram reduções de °Brix (20,9 e 17,4%) e Pol (18,4 e 16,1%) em níveis salinos da água de irrigação de 2,0 e 6,0 dS m⁻¹, respectivamente, nas variedades CP48-103, CP57-614 e IRC99-01, em região semiárida do Irã. No Texas, Lingle & Wiegand (1997) constataram, também, em plantas de cana, redução de 0,6% no teor de sólidos solúveis (°Brix) e sacarose polarizada (Pol) para cada aumento unitário na condutividade elétrica do solo.

Os efeitos da salinidade variam amplamente, dependendo do genótipo, critério utilizado para classificar as espécies vegetais em tolerantes e sensíveis, com uma gradação entre esses extremos (Fernandes et al., 2016). No estudo conduzido por Akhtar et al. (2001), em condições de campo, foram avaliados os atributos econômicos de rendimento da cana-de-açúcar sob salinidade da água de irrigação [2,5 (testemunha), 8 e 12 dS m⁻¹], em três genótipos diferencialmente tolerantes a sais (CPF-213, CP-43/33 (tolerante) e L-116 (sensível)). Os autores constataram que sob a CEa de 12 dS m⁻¹, nos genótipos tolerantes foram obtidos maior rendimento e teor de sacarose, em relação ao genótipo sensível. Além disso, verificaram redução em todos os atributos de qualidade industrial, na comparação do tratamento CEa de 12 dS m⁻¹ com o menor nível salino (2,5 dS m⁻¹).

Também em pesquisa realizada por Laimé et al. (2022), ao estudarem as características agrotecnológicas de duas variedades de cana-de-açúcar (SP813250 e RB 92579) e cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (0,6, 1,6, 2,6, 3,6 e 4,6 dS m⁻¹), foi observada redução na massa do colmo no nível mais alto de CEa. Foram observadas, também, diferenças significativas entre os genótipos, com valores mais altos de sólidos solúveis, sacarose polarizada e de açúcares totais recuperáveis na variedade RB92579. Wiedenfeld (2008) trabalhou com 'CP72-1210' e registrou queda de 17% na produção (82,9 t ha⁻¹), ao serem as plantas irrigadas com água de 3,4 dS m⁻¹, em comparação com a CEa de 1,3 dS m⁻¹ (68,8 t ha⁻¹), sem efeitos sobre os parâmetros industriais do suco.

Ao contrário da maioria das culturas, o rendimento da cana-de-açúcar está diretamente relacionado aos atributos tecnológicos do caldo. Segundo Gomathi & Thandapani (2014), a redução na qualidade do caldo depende da concentração de sais a que está submetida a planta, ao tempo de duração do estresse, fase fenológica da cultura e ao grau de tolerância

da variedade estudada. Os autores, ao estudarem a influência do estresse salino nas variedades C92038, Co85004, Si94050 e Co85036, observaram reduções de 31,8, 28,0, 47,8 e 47,3%, respectivamente, na produtividade, sob condutividade elétrica do solo de 7 dS m^{-1} , em relação ao tratamento com baixa concentração de sais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No contexto do conteúdo abordado, fica patente a evolução do conhecimento sobre efeitos do estresse salino em cana-de-açúcar, principalmente nas últimas décadas. A falta de experimentação em períodos mais antigos, deve-se à demanda incipiente de tecnologia para cultivo de cana sob salinidade. Considere-se, igualmente, a disponibilidade de recursos hídricos de boa qualidade, por se situar a atividade canavieira em áreas com boa pluviosidade e construção de barragens nas respectivas propriedades produtoras. Com expansão da área ocupada por cana, surgiu o desafio para uso de águas com concentrações mais altas de sais, pela concorrência com outras atividades, inclusive pela expansão de núcleos populacionais adjacentes.

Nos tempos modernos, os esforços tecnológicos estão se fortalecendo em diversos elos da cadeia produtiva. Passam a requerer uma atenção especial os novos desafios de disponibilidade hídrica, inclusive com uso de água salobra. Em cultivos nas áreas costeiras, como exemplo, abre-se a perspectiva do uso de água do mar, em períodos de maior estiagem, atendendo à necessidade hídrica das plantas, em fases do crescimento da cana que sejam mais tolerantes ao estresse salino. Neste contexto, o desenho da exploração canavieira deve se adequar para plantio em períodos chuvosos, de modo a garantir um bom perfilhamento das touceiras, para que, os meses com deficiência hídrica coincidam com fases de crescimento da cultura de maior tolerância ao uso de águas com altos teores de sais. Logicamente, deverão ser genótipos apropriados ao cultivo em tais condições, uma fronteira da ciência canavieira a ser mais explorada por pesquisadores.

Os resultados de muitas pesquisas, já realizadas, são promissores para aprofundar o conhecimento em novas investigações e viabilizar a produção nas áreas costeiras, ou em locais com recursos hídricos de poços com águas salobras e, até mesmo, na desembocadura de rios no oceano. Nessa última condição, as perspectivas são de alta viabilidade, pela variação da qualidade hídrica dos rios no seu estuário, com a oscilação das marés, o que pode facilitar a tomada d'água em períodos do dia em que a concentração de sais seja adequada para o estágio de desenvolvimento das plantas e tolerância do genótipo ao estresse salino. A base tecnológica existe e são convincentes as hipóteses para sucesso da atividade.

LITERATURA CITADA

- Akhtar, S.; Wahid, A.; Akram, M.; Rasul, E. Effect of NaCl salinity on yield parameters of some sugarcane genotypes. *International Journal of Agriculture and Biology*, v.3, p.507-509, 2001.
- An, L. H.; You, R. L. Studies on nuclear degeneration during programmed cell death of synergid and antipodal cells in *Triticum aestivum*. *Sexual Plant Reproduction*, v.17, p.195-201, 2004.
- Asada, K. Production and scavenging of reactive oxygen species in chloroplasts and their functions. *Plant Physiology*, v.141, p.391-396, 2006. <https://doi.org/10.1104/pp.106.082040>
- Balk, J.; Leaver, C.J. The PET1–CMS mitochondrial mutation in sunflower is associated with premature programmed cell death and cytochrome *c* release. *Plant Cell*, v.13, p.1803–1818, 2001
- Barbosa, M. R.; Silva, M. M. A.; Willadino, L.; Ulisses, C; Câmara, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. *Ciência Rural*, v.44, p.453-460, 2014.
- Bhattacharjee, S. The language of reactive oxygen species signaling in plants. *Journal of Botany*, v.2012, p.22, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/985298>
- Bolhàr-Nordenkamp, H. R.; Long, S. P.; Baker, N. R.; Öquist, G.; Schreider, U.; Lechner E. G. Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: A review of current instrument. *Functional Ecology*, v.3, p.497-514, 1989.
- Brindha, C.; Vasantha, S.; Arunkumar, R. The response of sugarcane genotypes subjected to salinity stress at different growth phases. *Journal of Plant Stress Physiology*, v.5, p.28-33, 2019.
- Byrt, C. S.; Munns, R.; Burton, R. A.; Gilliam, M.; Wege, S. Root cell wall solutions for crop plants in saline soils. *Plant Science*, v.269, p.47-55, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.12.012>
- Cacefo, V.; Ribas, A. F.; Zilliani, R. R.; Neris, D. M.; Domingues, D. S.; Moro, A. L.; Vieira, L. G. E. Decarboxylation mechanisms of C4 photosynthesis in *Saccharum* spp.: increased PEPC activity under water-limiting conditions. *BMC Plant Biology*, v.19, p.1-14, 2019.

- Carvalho, M. F.; Correa, M. M.; Carvalho, G. C.; Rolim Neto, F. C.; Marinho G. P. A.; Andrade, S. B. de. Enzymatic activity of three sugarcane varieties under salt stress. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.20, p.806-810, 2016.
- Cha-um, S.; Kirdmanee, C. Proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) plantlets in response to iso-osmotic salt and water-deficit stress. *Agricultural Sciences in China*, v.8, p.51-58, 2009.
- Chiconato, D. A.; Sousa Júnior, G. D. S.; dos Santos, D. M. M.; Munns, R. Adaptation of sugarcane plants to saline soil. *Environmental and Experimental Botany*, v.162, p.201-211, 2019.
- Christy, P. M.; Preetha, R. D.; Vasantha, S.; Divya, D. Biochemical and molecular analysis of sugarcane genotypes response to salinity and drought. *International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology*, v.1, p.210-218, 2013.
- Cohen, J. J. Apoptosis. *Immunology Today*, v.14, p.126-130, 1993.
- Cruz, F. J. R.; Ferreira Junior, D. C.; dos Santos, D. M. M. Low salt stress affects physiological parameters and sugarcane plant growth. *Australian Journal of Crop Science*, v.12, p.1272-1279, 2018. <https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.08.PNE999>
- Das, K.; Roychoudhury, A. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. *Frontiers in Environmental Science*, v.2, p.53, 2014. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2014.00053>
- Dias, N. S.; Blanco, F. F.; Souza, E. R.; Ferreira, J. F. S.; Sousa Neto, O. N.; Queiroz, I. S. R. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. *Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados*. Fortaleza: INCTSal, 2016. Cap.11, p.151-162.
- Elsheery, N. I.; Sunoj, V. S. J.; Wen, Y.; Zhu, J. J.; Muralidharan, G.; Cao, K. F. Foliar application of nanoparticles mitigates the chilling effect on photosynthesis and photoprotection in sugarcane. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.149, p.50-60, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.01.035>
- Epstein, E.; Bloom, A. J. *Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas*. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.
- Esteves, B. S.; Suzuki, M. S. Efeitos da salinidade em plantas. *Oecologia Brasiliensis*, v.12, p.662-679, 2008.

- Fernandes, P. D.; Brito, M. E. B.; Gheyi, H. R.; Andrade, A. P.; Medeiros, S. S. Halofitismo e agricultura bioassalina. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2016. Cap.15, p. 209-242.
- Foyer, C. H. Reactive oxygen species, oxidative signaling and the regulation of photosynthesis. *Environmental and Experimental Botany*, v.154, p.134-142, 2018.
- Ghannoum, O. C4 photosynthesis and water stress. *Annals of Botany*, v.103, p.635-644, 2009.
- Gill, S. S.; Tuteja, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.48, p.909-930, 2010.
- Golabi, M.; Naseri, A. A.; Kashkuli, H. A. Mathematical modeling of the relationship between irrigation water salinity and sugarcane juice quality. *Journal of Food Agriculture and Environment*, v.7, p.600-602, 2009.
- Gomathi, R.; Thandapani, P. Influence of salinity stress on growth parameters and yield of sugarcane. *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences*, v.9, p.28-32, 2014.
- Greenberg, J.T.; Yao, N. The role and regulation of programmed cell death in plant-pathogen interactions. *Cell Microbiology*, v.6, p.201-211, 2004.
- Greenway, H.; Munns, R. Mechanism of salt tolerance in nonhalophyte. *Annual Review of Plant Physiology*, v.31, p.149-190, 1980.
- Guerzoni, J. T. S.; Belintani, N. G.; Moreira, R. M. P.; Hoshino, A. A.; Domingues, D. S.; Filho, J. C. B.; Vieira, L. G. E. Stress-induced Δ 1-pyrroline-5-carboxylate synthetase (P5CS) gene confers tolerance to salt stress in transgenic sugarcane. *Acta Physiologiae Plantarum*, v.36, p.2309-2319, 2014.
- Halliwell, B. Reactive species and antioxidants. Redox biology is a fundamental theme of aerobic life. *Plant Physiology*, v.141, p.312-322, 2006
- Hopmans, J. W.; Qureshi, A. S.; Kisekka, I.; Munns, R.; Grattan, S. R.; Rengasamy, P.; Taleisnik, E. Critical knowledge gaps and research priorities in global soil salinity. *Advances in Agronomy*, v.169, p.1-191, 2021. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2021.03.001>
- Hussain, A. F.; Khan, Z. I.; Ashraf, M.; Rashid, M. H.; Akhtar, M. S. Effect of salt stress on some growth attributes of sugarcane cultivars CP-77-400 and COJ-84. *International Journal of Agriculture and Biology*, v.6, p.188-191, 2004.

- Kapoor, D.; Singh, S.; Kumar, V.; Romero, R.; Prasad, R.; Singh, J. Antioxidant enzymes regulation in plants in reference to reactive oxygen species (ROS) and reactive nitrogen species (RNS). *Plant Gene*, v.19, p. 100182, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2019.100182>
- Kumar, V.; Singh, S.; Singh, S.; Yadav, H. D. Performance of sugarcane genotypes grown under sodic soil and water conditions. *Agricultural Water Management*, v.41, p.1-9, 1999.
- Laime, E. M.; Fernandes, P. D.; Souto Filho, L. T.; Dias, M. dos S.; da Silva, F. de A. Agrotechnological characteristics of sugarcane cultivars irrigated with salinized water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.26, p.875-884, 2022.
- Li, H.; Yan, S.; Zhao, L.; Tan, J.; Zhang, Q.; Gao, F.; Li, L. Histone acetylation associated up-regulation of the cell wall related genes is involved in salt stress induced maize root swelling. *BMC Plant Biology*, v.14, p.1-14, 2014. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-14-105>
- Lin, H.; Arrivault, S.; Coe, R. A.; Karki, S.; Covshoff, S.; Bagunu, E.; Lunn, J. E.; Stitt, M.; Furbank, R. T.; Hibberd, J. M.; Quick, W. P. A partial C4 photosynthetic biochemical pathway in rice. *Frontiers in Plant Science*, v.11, p.1-12, 2020.
- Lingle, S. E.; Wiegand, C. L. Soil salinity and sugarcane juice quality. *Field Crops Research*, v.54, p.259-268, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00058-0](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00058-0)
- Lira, R. M. D.; Silva, Ê. F. D. F.; Barros, M. D. S.; Gordin, L. C.; Willadino, L. G.; Barbosa, R. F. Water potential and gas exchanges in sugarcane irrigated with saline waters. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.22, p.679-682, 2018a.
- Lira, R. M. D.; Silva, Ê. F. D. F.; Simões, D. E.; Santos, J. A.; Lima, B. L. D. C.; Silva, J. S. D. Growth and yield of sugarcane irrigated with brackish water and leaching fractions. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.22, p.170-175, 2018b.
- Majerowicz, N. Fotossíntese. In: Kerbauy, G. B. (ed.). *Fisiologia vegetal*. 3.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2019. Cap.5, 124-189p
- Medeiros, P. R. F. de; Silva, E. F. de F.; Duarte, S. N. Salinidade em ambiente protegido. *Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados / 2.ed.* Editores: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. Fortaleza, INCTSal, 2016. 504p.
- Mittler, R.; Blumwald, E. The roles of ROS and ABA in systemic acquired acclimation. *The Plant Cell*, v. 27, p. 64-70, 2015. <https://doi.org/10.1105/tpc.114.133090>

- Morais, J. E. F. de; França e Silva, E. F. D.; Lima, B. L. de C.; Lira, R. M. de; Costa Berto, S. D.; Jardim, A. M. da R. F.; Silva, T. G. F.; Rolim, M. M. Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) under saline stress: Growth, productivity, technological quality, and industrial yield. *Industrial Crops and Products*, v.188, p.115642, 2022.
- Munns, R. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment*, v.25, p.239-250, 2002. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x>
- Munns, R.; James, R. A.; Gilliham, M.; Flowers, T. J.; Colmer, T. D. Tissue tolerance: an essential but elusive trait for salt-tolerant crops. *Functional Plant Biology*, v.43, p.1103-1113, 2016.
- Munns, R.; Tester, M. Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, v.59, p.651-681, 2008. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Noctor, G.; Mhamdi, A.; Foyer, C. H. The roles of reactive oxygen metabolism in drought: not so cut and dried. *Plant Physiology*, v.164, p.1636-1648, 2014.
- Patade, V. Y.; Bhargava, S.; Suprasanna, P. Halopriming imparts tolerance to salt and PEG induced drought stress in sugarcane. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v.134, p.24-28, 2009.
- Peisker, M.; Henderson, S.A. Carbon: terrestrial C4 plants. *Plant, Cell and Environment*, v.15, p.987-1004, 1992.
- Prisco, J. T.; Gomes Filho, E.; Miranda, R. S. Physiology and biochemistry of plants growing under salt stress. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2016. Cap. 12, p.163-180.
- Rao, V. P.; Sengar, R. S.; Singh, R. B. Identification of salt tolerant sugarcane cultivars through phenotypic, physiological and biochemical studies under abiotic stress. *Plant Physiology Reports*, p.1-28, 2021. <https://doi.org/10.1007/s40502-021-00581-5>
- Rasoulnia, A.; Bihanta, M. R.; Peyghambari, S. A.; Alizadeh, H.; Rahnama, A. Proteomic response of barley leaves to salinity. *Molecular Biology Reports*, v.38, p.5055-5063, 2011.
- Sage, R. F.; Peixoto, M. M.; Sage, T. L. Photosynthesis in sugarcane. In: Moore, P. H.; Botha, F. C. (ed.). *Sugarcane: physiology, biochemistry, and functional biology*. Iowa: Wiley-Blackwell. 2013. Cap.6, p.121-154. <https://doi.org/10.1002/9781118771280.ch6>

- Sales, C. R.; Ribeiro, R. V.; Silveira, J. A.; Machado, E. C.; Martins, M. O.; Lagôa, A. M. M. Superoxide dismutase and ascorbate peroxidase improve the recovery of photosynthesis in sugarcane plants subjected to water deficit and low substrate temperature. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.73, p.326-336, 2013.
- Satbhai, R. D.; Naik, R.M. Osmolytes accumulation, cell membrane integrity and antioxidant enzymes in sugarcane varieties differing in salinity tolerance. *Sugar Technology*, v.16, p.30-35, 2014.
- Schlüter, U.; Weber, A. P. Regulation and evolution of C4 photosynthesis. *Annual Review of Plant Biology*, v.71, p.183-215, 2020. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042916-040915>
- Sengar, K.; Sengar, R. S.; Singh, A. Biotechnological and genomic analysis for salinity tolerance in sugarcane. *International Journal of Biotechnology and Bioengineering Research*, v.4, p.407-414, 2013.
- Silva, A. A. D.; Rubio, Z. C. C.; Linhares, P. C. A.; Pimentel, G. V.; Marchiori, P. E. R. Genotypic variation of sugarcane for salinity tolerance: Morphological and physiological responses. *Ciência e Agrotecnologia*, v.46, p.1-12, 2022. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202246000122>
- Silva, M. A.; Jifon, J. L.; da Silva, J. A. G.; dos Santos, C. M.; Sharma, V. Relationships between physiological traits and productivity of sugarcane in response to water deficit. *Journal of Agricultural Science*, v.152, p.104-118, 2014. <https://doi.org/10.1017/S0021859612000834>
- Silveira, J. A. G.; Silva, S. L. F.; Silva, E. N.; Viégas, R. A. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. Ghely, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. (ed.) *Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados*. Fortaleza: INCTSal, 2016. Cap.13, p.181-198.
- Simões, W. L.; Coelho, D. S.; Mesquita, A. C.; Calgato, M.; Silva, J. S. Physiological and biochemical responses of sugarcane varieties to salt stress. *Revista Caatinga*, v.32, p.1069-1076, 2019.
- Simões, W. L.; Oliveira, A. R. D.; Silva, J. S. D.; Torres, V. G.; Silva, W. O. D.; Morais, L. K. D. Characterization and gas exchange in accessions of *Saccharum* complex under salinity in the Sub-middle São Francisco, Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.25, p.163-167, 2021.
- Singh, R. B.; Rao, V. P.; Sengar, R. S. Study of salinity induced oxidative stress and antioxidant responses in callus cultures of sugarcane. *Ecological Genetics and Genomics*, v.26, p.100164, 2023.

- Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I.; Murphy, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.
- Tavanti, T. R.; Melo, A. A. R.; Moreira, L. D. K.; Sanchez, D. E. J.; Santos Silva, R.; Silva, R. M.; Reis, A. R. Micronutrient fertilization enhances ROS scavenging system for alleviation of abiotic stresses in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.160, p.383-396, 2021.
- Trevisan, R. Mecanismos de defesas celulares relacionados a defesas antioxidantes e de biotransformação em mexilhões. 2014. 200p. Tese (Doutorado em Bioquímica). Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.
- Vanlerberghe, G. C.; Dahal, K.; Alber, N. A.; Chadee, A. Photosynthesis, respiration and growth: A carbon and energy balancing act for alternative oxidase. *Mitochondrion*, v. 52, p. 197-211, 2020.
- Vranová, E.; Atichartpongkul, S.; Villarroel, R.; Van Montagu, M.; Inzé, D.; Van Camp, W. Comprehensive analysis of gene expression in *Nicotiana tabacum* leaves acclimated to oxidative stress. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v.99, p.10870-10875, 2002.
- Wahid, A.; Rao, A.; Rasul, E. Identification of salt tolerance traits in sugarcane lines. *Field Crops Research*, v.54, p. 9-17, 1997a. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00038-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00038-5)
- Wahid, A.; Rasul, E.; Rao, A. U. R. Germination responses of sensitive and tolerant sugarcane lines to sodium chloride. *Seed Science and Technology*, v.25, p.465-470, 1997b.
- Watanabe, N.; Lam, E. Two Arabidopsis metacaspases AtMCP1b and AtMCP2b are arginine/lysine-specific cysteine proteases and activate apoptosis-like cell death in yeast, *Journal of Biological Chemistry*, v.280, p.14691-14699, 2005.
- Wiedenfeld, B. Effects of irrigation water salinity and electrostatic water treatment for sugarcane production. *Agricultural Water Management*, v.95, p.85-88, 2008.
- Willadino, L.; Oliveira Filho, R. A. D.; Silva Júnior, E. A. D.; Gouveia Neto, A.; Câmara, T. R. Estresse salino em duas variedades de cana-de-açúcar: enzimas do sistema antioxidativo e fluorescência da clorofila. *Revista Ciência Agronômica*, v.42, p.417-42, 2011.

CITROS

Marcos Eric Barbosa Brito^{1}, Walter dos Santos Soares Filho²,
Pedro Dantas Fernandes³*

RESUMO: Os citros pertencem a vários gêneros botânicos, destacando-se, em todo o mundo, por sua grande importância nos setores alimentar, econômico e social, haja vista seu valor nutritivo, em especial pela presença de ácido ascórbico (vitamina C). O sistema produtivo, notadamente o relacionado às laranjas-doces, às tangerinas e aos limões/limas ácidas, gera emprego e renda, sendo o Brasil o maior produtor mundial de laranjas-doces. Em regiões tropicais, em nível mundial, assim como no Brasil, há problemas que limitam a expansão dos sistemas produtivos de citros; um deles é a ocorrência de solos salinos, assim como a presença de águas com maiores concentrações de sais, caracterizadas como salinas ou salobras, já que as plantas cítricas são sensíveis à salinidade. Pode-se, porém, encontrar alternativas de otimização dos sistemas produtivos sob tais condições, objetivando-se, neste capítulo, apresentar resultados de pesquisas, com foco em porta-enxertos, que viabilizam o cultivo bioassalino. Para tanto, serão abordados conteúdos relacionados ao efeito da salinidade em plantas cítricas, abarcando aspectos gerais, de crescimento e fisiológicos, assim como, ações de pesquisa dirigidas à seleção de porta-enxertos que viabilizem a citricultura, mesmo em condições de salinidade.

Palavras-chave: *Citrus* spp., híbridos, seleção de porta-enxertos, crescimento, fisiologia.

1 Universidade Federal de Sergipe - UFS, Nossa Senhora da Glória - SE, Brasil

2 Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, Brasil

3 Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande - PB, Brasil

* Autor correspondente: marcoseric@academico.ufs.br

BIOSSALINITY IN CITRUS

Abstract: Citrus plants belong to several botanical genera, standing out worldwide for their great importance in the food, economic, and social sectors, given their nutritional value, particularly ascorbic acid (vitamin C). The productive system, notably that related to sweet oranges, mandarins, and lemons/acid limes, generates jobs and income, with Brazil being the world's largest producer of sweet oranges. In tropical regions worldwide, as well as in Brazil, some problems limit the expansion of citrus production systems, one of them is the occurrence of saline soils, as well as the presence of waters with higher concentrations of salts, characterized as saline or brackish, since citrus plants are sensitive to salinity. It is possible, however, to find alternatives for optimizing production systems under such conditions, the aim of this chapter being to present research results focusing on rootstocks, which make biosaline cultivation possible. To this end, content related to the effect of salinity on citrus plants will be addressed, covering general growth and physiology aspects, as well as research actions aimed at selecting rootstocks that make citriculture viable even in salinity conditions. Keywords: *Citrus* spp., hybrids; screening of rootstocks, growth, physiology.

1 INTRODUÇÃO

Os citros constituem complexo grupo de plantas que compreende o gênero *Citrus* L. e afins, com destaque para *Poncirus* Raf., *Fortunella* Swingle, *Microcitrus* Swingle e *Eremocitrus* Swingle. Espécies de *Citrus*, particularmente, constituem commodities frutíferas de grande importância socioeconômica em nível mundial, com uma produção anual superior a 123 milhões de toneladas de frutos, distribuída em mais de 100 países (FAO, 2021).

As principais frutas cítricas relacionam-se às laranjas-doces *C. ×sinensis* (L.) Osbeck (50%), às tangerinas, diversas espécies (*C. reticulata* Blanco, *C. ×clementina* hort. ex Tanaka, *C. unshiu* Marcow. etc...) e híbridos, estes especialmente triploides produtores de frutos sem sementes (22%), aos limões-verdadeiros *C. ×limon* (L.) Burm. f. e limas, notadamente ‘Tahiti’ *C. ×latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka entre as limas-ácidas (13%), às toranjas *C. maxima* (Burm.) Merr. e aos pomelos *C. ×paradisi* Macfad. (6%), além de outras frutas, como a kumquat *Fortunella* spp., que respondem pelos 9% restantes da produção mundial de citros (Figura 1A).

O Brasil é o maior produtor mundial de laranjas-doces (Figura 1B), a China de tangerinas e de toranjas/pomelos (Figuras 1D e 1E, respectivamente) e a Índia de limas e limões (Figura 1C) (FAO, 2021).

Na América Latina, o Brasil é o país líder, responsável por 51,2% da produção de citros, seguido pelo México (22,8%) e Argentina (9,0%) (Figura 2A). Como se vê na Figura 2, entre os principais grupos de espécies cultivadas de citros, na América Latina, destaca-se o da laranja-doce (67,2% do total produzido), seguido pelo das limas (ácidas e doces) e limões (19,0%) e o das tangerinas (8,8%) (FAO, 2021).

Nas Figuras 1 e 2 observa-se que, tanto na América Latina quanto no mundo, o Brasil é destaque na produção de citros, notadamente de laranja-doce, estando entre os dez principais países produtores de limas-ácidas, basicamente ‘Tahiti’, limões-verdadeiros e tangerinas, além de ser o maior produtor e exportador mundial de suco de laranja (FAO, 2021).

Na América Latina ocorrem problemas de salinidade do solo e da água, limitando a produção de citros, em especial na Argentina, Brasil, Chile, México e Peru. Conforme dados publicados pela FAO, no mundo, 1.030 milhões de ha apresentam problemas de salinidade, dos quais 412 milhões relacionam-se a solos salinos e o restante a solos sódicos (FAO, 2015). Desse total, 131,3 milhões de ha estão na América Latina, sendo 71,5 milhões de solos salinos e 59,8 milhões de solos sódicos, distribuídos, principalmente, em áreas áridas e semiáridas.

Conforme relatório publicado pela FAO, em 2015, é possível ver que as regiões semiáridas e desérticas da América Latina ocupam a terceira posição em extensão de área, onde ocorrem solos calcários e gipsíticos, rasos, salinos e/ou sódicos, com baixa capacidade de infiltração (Figura 3), ou seja, solos muito limitantes à lixiviação, implicando em aumento do risco de salinização (Gardi et al., 2015).

Figura 1. Participação (%) de tipos de frutas cítricas na produção mundial (A); principais países produtores de laranjas-doces (B), limões e limas (C), tangerinas (D), pomelos (E) e de outras frutas cítricas (F). Fonte: Elaborada a partir de dados disponíveis em FAOSTAT (2021).

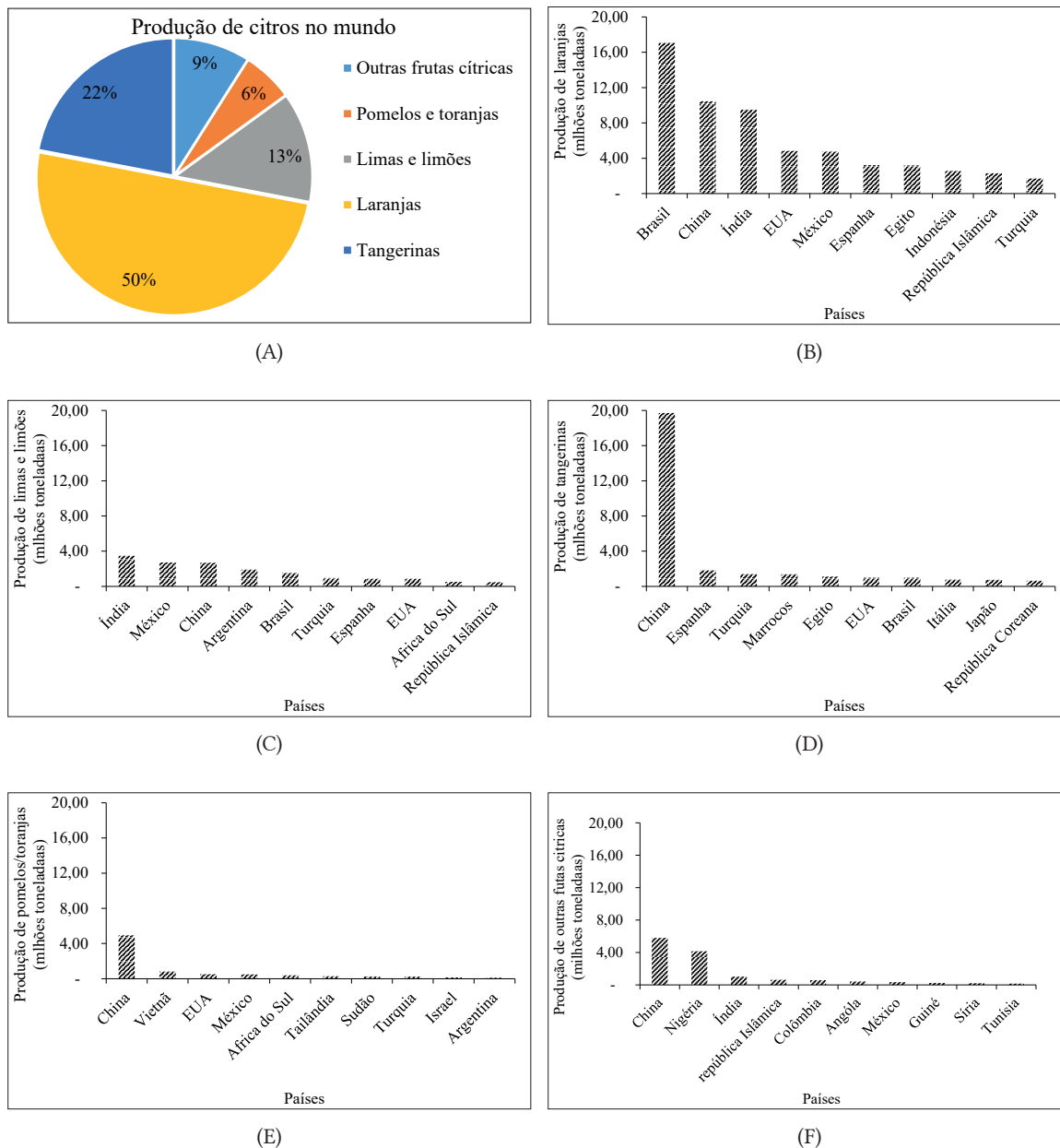


Figura 2. Distribuição da produção de citros entre os países da América Latina (A) e produção das principais frutas cítricas nessa região (B). Fonte: Elaborada a partir de dados disponíveis em FAOSTAT (2021).

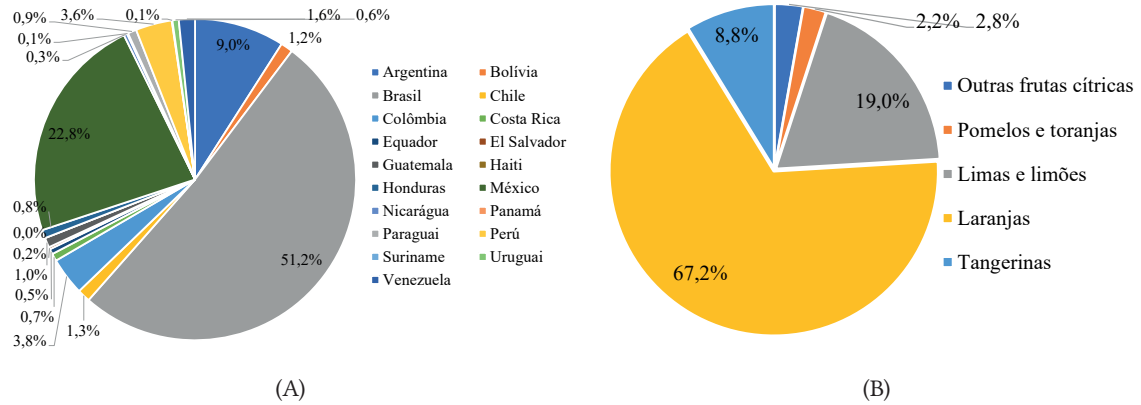
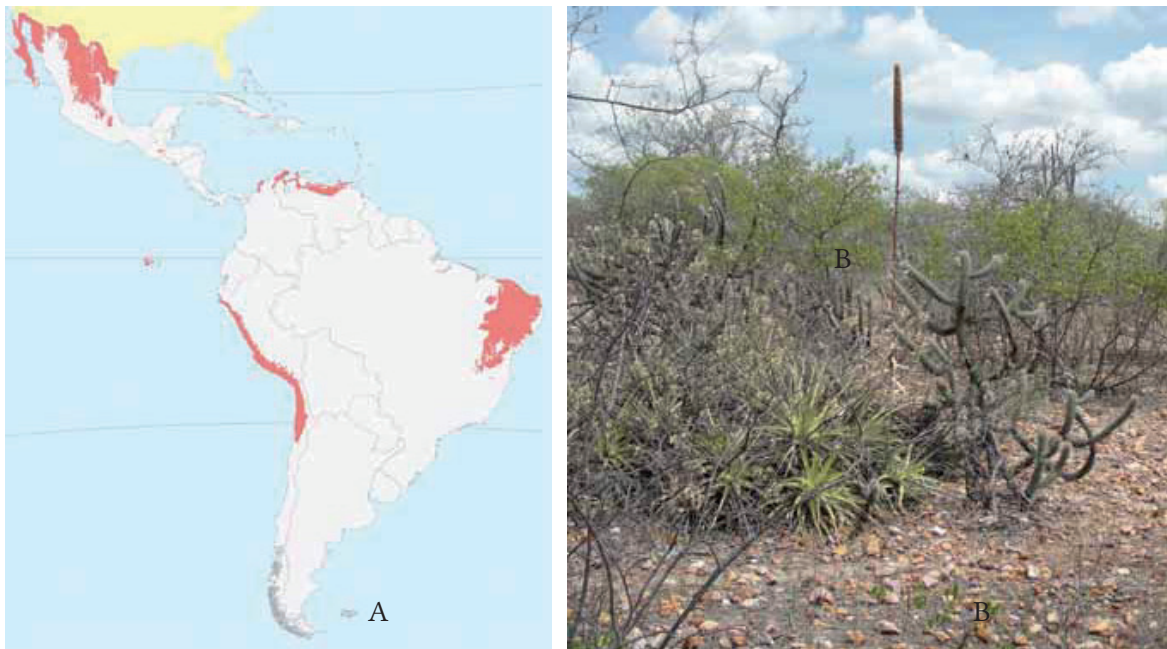


Figura 3. Distribuição de desertos e de vegetação xeromórfica na América Latina e Caribe (A). Fonte: WWF/JRC. Caatinga, principal bioma do Semiárido Brasileiro (B): fotografia de Araújo Filho, J.C., adaptado de Gardi et al., 2015.



Em citros, a sensibilidade à salinidade é reportada na literatura (Maas, 1993; Murkute et al., 2005; Syvertsen & Garcia-Sanchez, 2014; Brito et al., 2021), com implicações negativas na germinação de sementes, especialmente de porta-enxertos em formação, no crescimento e no rendimento das plantas, decorrentes de alterações fisiológicas e bioquímicas, a partir de efeitos osmóticos e iônicos causados por esse estresse abiótico. Segundo alguns desses estudos, o rendimento da produção de frutos cítricos, em especial laranjas-doces, limões, limas-ácidas e pomelos, que estão entre os mais sensíveis, é limitado a partir de condutividade elétrica no extrato de saturação superior a 1,4 dS m⁻¹. Por outro lado, é notado também que

os efeitos da salinidade variam entre genótipos e entre fases de desenvolvimento da planta, sendo importante a intervenção do melhoramento genético na geração de indivíduos, principalmente variedades porta-enxerto, que permitam um melhor convívio com esse estresse.

Ainda, outras particularidades relacionam-se à tolerância de espécies de citros ao estresse salino. Dentre elas está o conhecimento de mecanismos de tolerância, que pode auxiliar na formulação de estratégias para que a planta possa se desenvolver e produzir rendimentos economicamente viáveis, mesmo quando sujeita à salinidade do solo ou da água.

As plantas cítricas, normalmente, são propagadas de forma vegetativa, sendo a muda comercial composta por dois indivíduos: (1) o porta-enxerto, que responde pelo sistema radicular da planta, exercendo influências sobre o tempo de vida útil da variedade copa, a produção e qualidade de frutos, a adaptação a condições de estresses bióticos e abióticos; (2) a variedade copa, responsável pela produção dos frutos que se deseja explorar (Mattos Júnior et al., 2005; Cimen & Yesiloglu, 2016).

Não obstante a importância da variedade copa, notadamente pelos aspectos comerciais e potencial de produção, deve-se dar atenção especial ao porta-enxerto, principalmente quando se deseja obter materiais com tolerância a estresses abióticos, como o salino (Brito et al., 2015). Conforme destacado por Cimen & Yesiloglu (2016), os porta-enxertos de citros devem ter afinidade com a variedade copa comercial desejada, determinando à combinação copa/porta-enxerto: (1) boa adaptação ao tipo de solo em que o pomar será implantado; (2) tolerância à seca; (3) tolerância à salinidade; (4) resistência a doenças; (5) tolerância ao encharcamento do solo; (6) tolerância à toxidez por ferro.

Neste capítulo, serão abordados os efeitos da salinidade em plantas de citros, buscando elucidar, com base em informações da literatura, mecanismos de tolerância de espécies de citros ao estresse salino e, por fim, destacar o papel do melhoramento genético no desenvolvimento de cultivares tolerantes à salinidade, focando, especialmente, estudos realizados na América Latina.

2 EFEITO DA SALINIDADE EM PLANTAS DE CITROS

2.1 Abordagem geral

A salinidade pode afetar as culturas em todas as suas fases de desenvolvimento devido a efeitos tanto de natureza osmótica, reduzindo a disponibilidade de água às plantas, como de natureza iônica, relacionada a distúrbios de ordem nutricional, além do efeito tóxico por íons específicos, a exemplo do sódio, cloro e boro. Muitas vezes, ainda, os efeitos da salinidade em plantas estão associados ao acúmulo de sais, pois altas concentrações de íons nas raízes, em especial de sódio e de cloro, ocasionam redução na atividade de íons e nutrientes (Cimen & Yesiloglu, 2016). Esses processos podem ocorrer, concomitantemente, prejudicando o crescimento e o rendimento das plantas. Todavia, variam em função do nível de salinidade e das condições em que as plantas se encontram. Desse modo, pode-se dizer

que o efeito da salinidade nas plantas é de grande complexidade, pois depende de outros estresses, tratando-se, portanto, de um estresse múltiplo (Syvertsen & Garcia-Sanchez, 2014). O efeito desse estresse abiótico depende da fase de desenvolvimento da planta, da espécie, do genótipo, da composição da água salina ou salobra, das condições de clima e de solo, entre outros fatores.

Os prejuízos da salinidade nos cultivos agrícolas, a priori, relacionam-se a reduções no crescimento e na produção das plantas, podendo levá-las à morte, com a intensificação e persistência do estresse (Cimen & Yesiloglu, 2016). Tais resultados são consequência de restrições na disponibilidade hídrica ocasionada pela salinidade, que inibe o crescimento por meio da diminuição na turgescência celular e na formação de novas células. Com a persistência da salinidade, ou seja, com o acúmulo de sais, ocorre o aumento de íons tóxicos, que causam severos efeitos negativos na fisiologia do vegetal, podendo determinar a morte celular.

Em citros, que são plantas sensíveis à salinidade (Maas, 1993; Garcia-Sanchez et al., 2003; Singh et al., 2003; Syvertsen & Garcia-Sanchez, 2014), também ocorrem efeitos prejudiciais em seus tecidos, de ordem iônica e osmótica, verificando-se interferências em sua fisiologia, em especial nas trocas gasosas e na fluorescência da clorofila, desencadeando reações enzimáticas responsáveis por distúrbios bioquímicos que resultam na redução do crescimento e da produção de frutos.

Associados a esses efeitos da salinidade, em especial ao iônico, podem ocorrer distúrbios nutricionais, ou seja, desequilíbrios devidos a competições de íons de sódio e cloro com elementos essenciais, como potássio, cálcio, magnésio, nitrato, entre outros, gerando deficiências e desequilíbrios desses nutrientes nas plantas (Cimen & Yesiloglu, 2016).

Por outro lado, a tolerância da planta cítrica à salinidade está relacionada à capacidade de exclusão de íons tóxicos nas raízes. Neste caso, considerando que plantas comerciais compreendem uma variedade copa associada a um porta-enxerto, a escolha deste é essencial no processo de tolerância ao estresse salino (Storey & Walker, 1999; Fernandes et al., 2011; Brito et al., 2014b), já que o efeito da salinidade é variável entre genótipos. Porta-enxertos como a tangerineira 'Cleópatra' (*C. reshni* hort. ex Tanaka.) e a laranjeira 'Azeda' (*C. ×aurantium* L.), por exemplo, são conhecidos por seu bom comportamento de exclusão de sais nas raízes, enquanto outros, como *C. macrophylla* Wester, também conhecido como Alemow, são considerados acumuladores de sódio e cloro. Isto posto, a obtenção de variedades porta-enxertos tolerantes à salinidade, é uma estratégia do melhoramento genético, para a garantia do uso de águas salobras na irrigação de citros, ou mesmo, para o cultivo em áreas com problemas de sais.

É importante considerar, também, a interação da combinação copa/porta-enxerto (Brito et al., 2014a), pois, tanto os porta-enxertos, quanto as copas, podem influenciar o acúmulo de íons cloreto nas folhas. Embora se reconheça que o transporte de Cl⁻ para a copa seja regulado, principalmente, pelo porta-enxerto, algumas evidências sugerem que a própria variedade copa limita a acumulação de cloretos, dependendo da combinação com o porta-enxerto (Maas, 1993). Tem-se, ainda, que a capacidade de convivência dos citros com a salinidade pode estar

relacionada a outros mecanismos de tolerância, a exemplo da compartimentalização, que diz respeito ao acúmulo de solutos orgânicos e de sais no vacúolo celular, o que resulta na redução do potencial osmótico das células e, assim, possibilita a absorção de água, além de promover a exclusão de sais, por meio da abscisão foliar (Brito et al., 2015).

Objetivando um melhor entendimento da ação da salinidade em citros, em especial, nos porta-enxertos, faz-se, a seguir, uma análise de seus efeitos no crescimento da planta, considerando-se aspectos fisiológicos e bioquímicos, segundo pesquisas realizadas na América Latina.

2.2 Efeito da salinidade no crescimento

Nos citros, os efeitos da salinidade consistem na redução do crescimento da planta, na ocorrência de injúrias foliares (necrose e queda) e no declínio da produção de frutos (Hussain et al., 2012), em razão de prejuízos na absorção de água, na nutrição mineral, além de efeitos tóxicos (Walker et al., 1993; Storey, 1995). O aumento do teor de sais na solução do solo implica em potencial osmótico mais negativo, exigindo das plantas maior dispêndio de energia para suprimento de suas necessidades hídricas (Taiz et al., 2016).

Ainda, como mencionado, o efeito da salinidade nos citros é variável com a fase de desenvolvimento da cultura, com o genótipo utilizado, com as condições edafoclimáticas e de manejo impostas às plantas. Assim, em pesquisa realizada por Soares et al. (2006), que irrigaram plantas de limoeiro 'Cravo' (*C. ×limonia* Osbeck), tangerineira 'Cleópatra' e de citrumelo 'Swingle' [*C. ×paradisi* x *P. trifoliata* (L.) Raf.], em fases jovens de desenvolvimento, com águas de 0,02, 1,19 e 2,11 dS m⁻¹, procurando atenuar o efeito do estresse com o uso de nitrato de cálcio, não foram constatadas reduções significativas no crescimento em altura da planta e na formação de fitomassa da parte aérea e raízes. Os autores concluíram que o desenvolvimento inicial dessas variedades porta-enxerto não foi prejudicado pelos níveis de salinidade testados. Reconheceram, também, que o nitrato de cálcio aplicado às águas, além de não incrementar a taxa de desenvolvimento das plantas, foi prejudicial ao crescimento inicial do sistema radicular e ao engrossamento do caule.

Na literatura clássica, a laranjeira-doce é classificada como sensível, com salinidade limiar de 1,4 dS m⁻¹ do extrato de saturação (Maas, 1993), considerando a produtividade de frutas das plantas. Caso seja considerada uma fração de lixiviação de 15% a 20%, então o limiar de salinidade com base na água (Condutividade Elétrica Aparente do solo - CEa) seria de CEes (Condutividade Elétrica do extrato de saturação do solo) / 1,5, ou seja, 0,93 dS m⁻¹. Em Ayers & Westcot (1999), também para a laranjeira-doce, há a descrição dos limiares de 1,7 e 1,1 dS m⁻¹ para CEes e CEa, respectivamente, considerando fração de lixiviação de 15% a 20%, e plantas em fase de produção. Nesses trabalhos, ainda, há destaques quanto ao efeito variável da salinidade nas plantas, ressaltando-se que pode ocorrer diminuição de injúrias ocasionadas pelo efeito iônico dos sais, quando se usam porta-enxertos que restringem a absorção de íons específicos, como o sódio e o cloro.

O uso de porta-enxertos tolerantes, então, pode ser uma alternativa, a exemplo do verificado em trabalho realizado por Soares et al. (2006), que estudaram o crescimento inicial (fase de formação do porta-enxerto) do limoeiro 'Cravo', da tangerineira 'Cleópatra' e do citrumelo 'Swingle' sob irrigação com águas salobras, sendo constatado não haver efeito da salinidade da água de até 2,1 dS m⁻¹. Ressaltando-se que, segundo esses autores, o período de formação do porta-enxerto é curto, além de serem realizadas irrigações frequentes, utilizando águas com baixa condutividade elétrica, o que pode diminuir o efeito deletério da salinidade.

Com foco na região Nordeste do Brasil, onde os problemas com salinidade são evidentes, tanto pela concentração de sais em águas subterrâneas, como pela presença de solos salinos ou salino-sódicos, vêm sendo realizados estudos dirigidos à seleção de porta-enxertos com potencial de tolerância à salinidade (Brito, 2007; Brito et al., 2008; Fernandes et al., 2011; Brito et al., 2014b). Foram aplicadas águas com salinidade de até 4,0 dS m⁻¹ na fase de formação do porta-enxerto, durante cerca de 90 dias, observando-se, na solução do substrato, uma condutividade elétrica (CE) no extrato de saturação de 7,68 dS m⁻¹ e uma Razão de Adsorção de Sódio (RAS) de 10,59 (mmol_c dm⁻³)^{0,5} (Tabela 1), o que permite classificar essa situação como de alta salinidade e riscos à permeabilidade do substrato (Ayers & Westcot, 1999).

Tabela 1. Análise química do substrato comercial usado no cultivo de plantas cítricas em ambiente protegido, aos 150 dias após a semeadura e 90 dias após o início da aplicação de águas salinas. Campina Grande, 2007. Adaptado de Brito (2007).

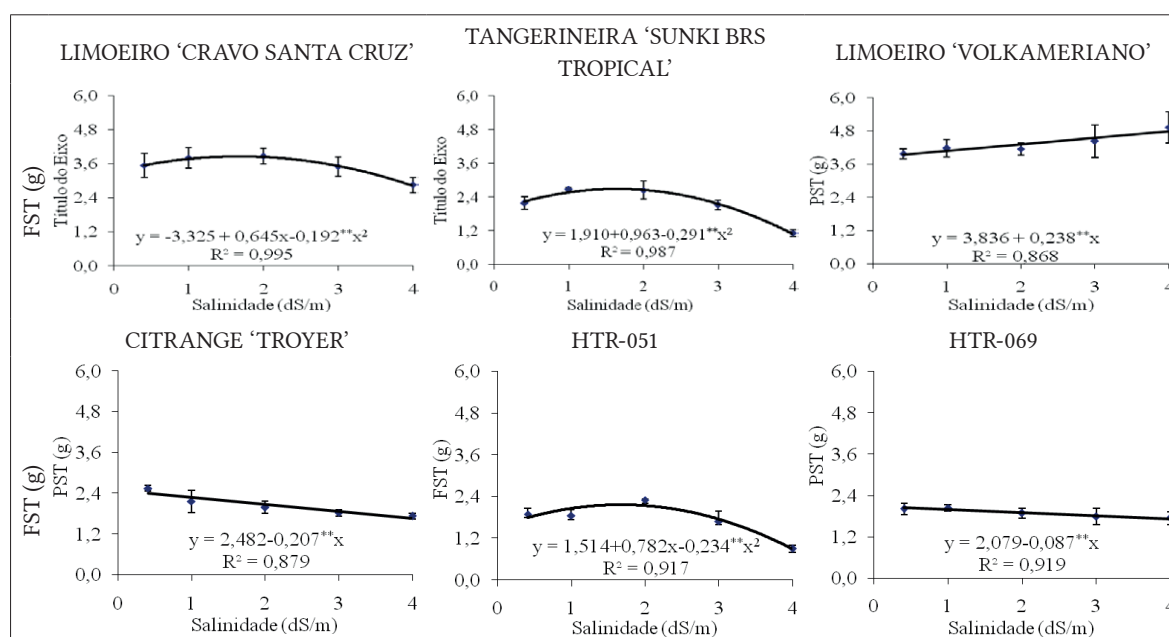
Características químicas	Tratamentos				
	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅
Ânions cátions solúveis	0,41 dS m ⁻¹	1,0 dS m ⁻¹	2,0 dS m ⁻¹	3,0 dS m ⁻¹	4,0 dS m ⁻¹
pH (Extrato de saturação)	4,14	4,07	4,06	4,18	4,2
Cond. Elétrica dS m ⁻¹ (Extrato Saturação)	3,31	4,37	5,09	6,53	7,68
Cloreto (mmol _c dm ⁻³)	17,5	26,75	47,5	65,9	75
Carbonato (mmol _c dm ⁻³)	0	0	0	0	0
Bicarbonato (mmol _c dm ⁻³)	1	1,2	2	1,9	1,9
Sulfato (mmol _c dm ⁻³)	nd	nd	nd	nd	nd
Cálcio (mmol _c dm ⁻³)	6,25	6,25	8,75	10,12	15
Magnésio (mmol _c dm ⁻³)	31,12	31,25	31,5	39,13	40
Potássio (mmol _c dm ⁻³)	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81
Sódio (mmol _c dm ⁻³)	1,55	22,98	35,86	45,06	55,18
Porcentagem de Saturação	125	125	125	125	125
Razão de Adsorção de Sódio (RAS)	0,36	5,31	7,99	9,08	10,52

Nas situações de cultivo relatadas por Brito (2007), Brito et al. (2008), Fernandes et al. (2011) e Brito et al. (2014b), ocorreram reduções no crescimento em altura da planta, diâmetro do caule e na formação de fitomassa, constatando-se que a matéria seca total foi a variável mais indicada para uso em estudos de salinidade em citros. Os referidos autores identificaram genótipos tolerantes à irrigação com águas salinas, quando estudaram as plantas irrigadas a partir dos 60 dias após a semeadura e com águas de até 4,0 dS m⁻¹, na condição de

pés-francos, ou plantas obtidas da germinação de sementes (indivíduos de origem nucelar, portanto com a mesma constituição genética da planta-mãe), até que as plantas estivessem aptas à enxertia, o que ocorreu aos 180 dias após a semeadura.

Nos trabalhos de Brito (2007), Brito et al. (2008), Fernandes et al. (2011) e Brito et al. (2014b), houve identificação de materiais tolerantes e sensíveis à condutividade elétrica de até 4,0 dS m⁻¹, concluindo-se que águas de até 2,0 dS m⁻¹ podem ser usadas na formação de porta-enxertos, sem ocasionar redução no crescimento, nas situações em que são utilizadas as variedades tangerineira ‘Sunki [C sunki (Hayata) hort. ex Tanaka] BRS Tropical’, limoeiros ‘Cravo Santa Cruz’ e ‘Volkameriano’ (C. ×volkameriana V. Ten. & Pasq.), assim como o híbrido trifoliado HTR - 069 [híbrido trifoliado de laranjeira ‘Pera’ (C. ×sinensis) com citrange (C. ×sinensis x P. trifoliata) ‘Yuma’]. Outros porta-enxertos que podem ser utilizados são o limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ e a tangerineira ‘Sunki BRS Tropical’, obtidos pelo Programa de Melhoramento Genético de Citros da Embrapa Mandioca e Fruticultura - PMG Citros (Figura 4). No tocante a esses genótipos, pode-se irrigá-los com águas de até 3,0 dS m⁻¹, na fase de formação do porta-enxerto, sem causar perdas significativas no crescimento da planta, em razão desta ser uma fase curta e, sobretudo, pelo fato de o substrato usado ter boa drenagem, diferente da condição de campo descrita em Mass (1993).

Figura 4. Efeito de níveis de salinidade (dS m⁻¹) da água sobre a área foliar, teor relativo de água e fitomassa seca total (FST), aos 150 dias após a semeadura, em diferentes genótipos de citros: limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ (*Citrus ×limonia* Osbeck), tangerineira ‘Sunki BRS Tropical’ [*C sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], limoeiro ‘Volkameriano’ (*C. ×volkameriana* V. Ten. & Pasq.), citrange [*C. ×sinensis* (L.) Osbeck x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] ‘Troyer’, HTR - 051 e HTR - 069 [híbridos trifoliados de laranjeira ‘Pera’ (*C. ×sinensis*) com citrange ‘Yuma’]. (Adaptado de Brito et al., 2014b).

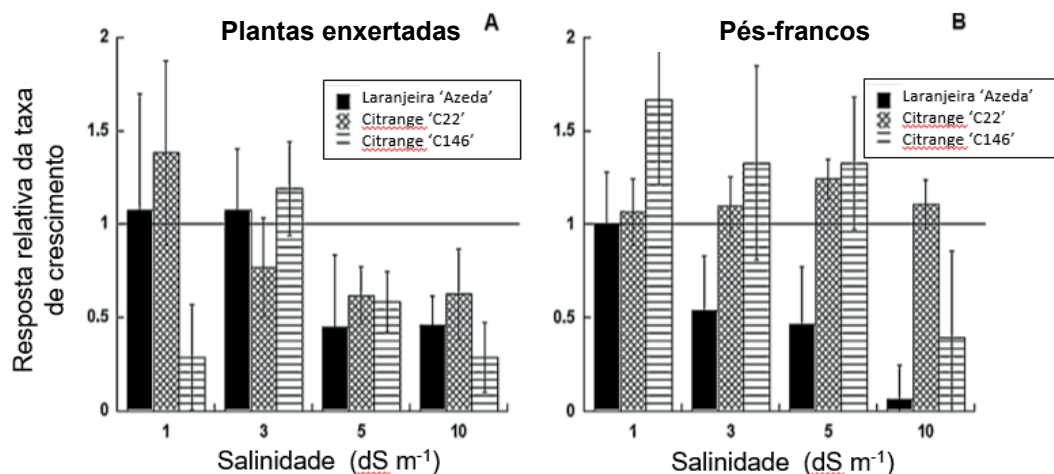


Os resultados apresentados na Figura 4 permitem concluir pela possibilidade de uso de águas com maior condutividade elétrica, em situações envolvendo porta-enxertos com maior tolerância à salinidade, como os já mencionados. Por outro lado, como também enfatizado, o efeito da salinidade é variável com a intensidade do estresse e com a fase de desenvolvimento da planta, sendo necessário analisar o crescimento das plantas de citros após a enxertia.

De fato, tem-se verificado que o crescimento, sob condições de salinidade, é diferente em porta-enxertos cítricos, enquanto pés-francos e após sua enxertia (Brito et al., 2014a; Simpson et al., 2014). Como exemplo, os citranges C13, C22, C25 e C146, na condição de pés-francos, antes da enxertia, apresentam relativa tolerância à salinidade, todavia, quando enxertados, ocorrem, na combinação copa/porta-enxerto, reduções no crescimento e morte de plantas, a depender do nível de salinidade (Brito et al., 2014a; Simpson et al., 2014).

Na Figura 5, observam-se as taxas de crescimento relativo dos porta-enxertos laranja 'Azeda', citranges C22 e C146 *per si* (como pés-francos, de origem nucelar) e em combinação com a laranja 'Valência Olinda' (*C. ×sinensis*), sob salinidade da água (Simpson et al., 2014). Verifica-se que as plantas enxertadas, independente do porta-enxerto, têm valor de rendimento relativo abaixo de 1,0, em especial quando a CE é superior a 3,0 dS m⁻¹.

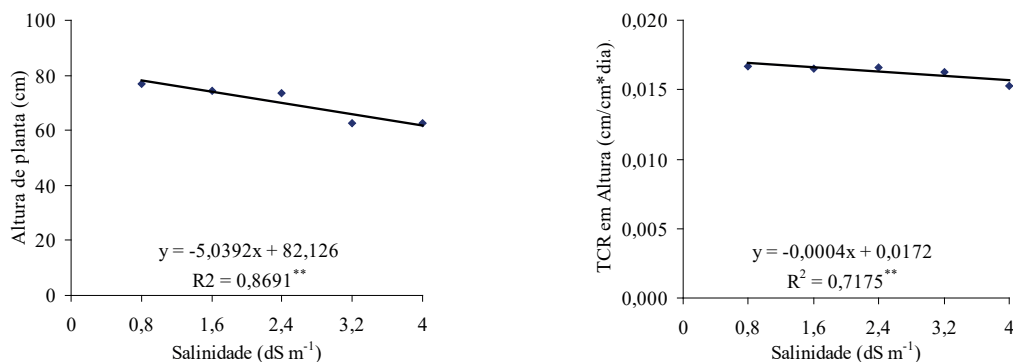
Figura 5. Resposta relativa da taxa de crescimento em altura dos porta-enxertos laranja 'Azeda' (*Citrus ×aurantium* L.) e citranges [*C. ×sinensis* (L.) Osbeck x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] 'C22' e 'C146' sob salinidade, onde (A) quando enxertados com a laranja 'Valência Olinda' (*C. ×sinensis*) e (B) na condição de pés-francos, tendo plantas controle como comparação. O valor '1' foi obtido por normalização dos dados de altura das plantas, observando-se que valores iguais a 1 indicam que não há efeito da salinidade, valores menores que 1 indicam redução na taxa de crescimento e valores acima de 1 indicam incremento nessa taxa em resposta à salinidade ($P_{\text{salinity}} = 0.0011$). Barras verticais nos histogramas representam o erro padrão da média ± 1 . Adaptado de Simpson et al., 2014.



Respostas semelhantes foram obtidas por Brito et al. (2014a), que estudaram 12 porta-enxertos de citros sob salinidade da água, antes da enxertia e depois de enxertados com a limeira ácida 'Tahiti' e com o pomeleiro 'Star Ruby'. Foi constatado desenvolvimento satisfatório dos genótipos, embora tenham ocorrido reduções nas taxas de crescimento com

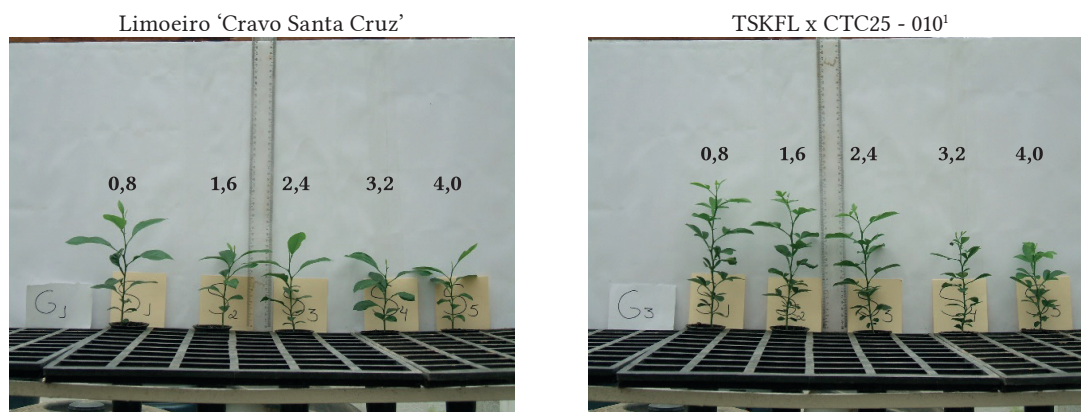
o aumento da salinidade da água até 4,0 dS m⁻¹ (Figura 6), não havendo distinção entre os materiais até o período de enxertia, dado o comportamento semelhante que manifestaram.

Figura 6. Médias de altura de planta (cm) aos 240 dias após a semeadura (DAS) e da taxa de crescimento relativo em altura para o período de 60 a 240 DAS, considerando, conjuntamente, 12 genótipos de citros, em função da salinidade da água de irrigação. Adaptado de Brito et al. (2014a).



Na Figura 7, visualiza-se o comportamento de plantas (pés-francos) dos porta-enxertos limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ e híbrido TSKFL x CTC25 - 010, irrigadas com água de até 4,0 dS m⁻¹, verificando-se reduções, embora pouco pronunciadas, em seu crescimento com o aumento dos níveis de salinidade. O mencionado híbrido foi obtido pelo PMG Citros, sendo a sigla TSKFL relativa à tangerineira ‘Sunki da Flórida’ e CTC25 correspondente ao citrange C25.

Figura 7. Pés-francos (plantas de origem nucelar obtidas da germinação de sementes) de limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ (*Citrus ×limonia* Osbeck) e do híbrido TSKFL x CTC25 - 010, sob diferentes níveis de salinidade da água (dS m⁻¹), aos 90 dias após semeadura. Adaptado de Brito (2010). ¹Híbrido obtido pelo Programa de Melhoramento Genético de Citros da Embrapa Mandioca e Fruticultura, onde TSKFL = tangerineira ‘Sunki da Flórida’ [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka] e CTC25 = citrange [*C. ×sinensis* (L.) Osbeck x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] C25.



Os citados genótipos, acrescidos de outros híbridos obtidos pelo PMG Citros, uma vez enxertados com limeira ácida ‘Tahiti’ e com pomeleiro ‘Star Ruby’, deram formação a

combinações copa/porta-enxerto, nas quais se constatou que o acúmulo de sais, provenientes das águas de irrigação, ocasionou morte do tecido vegetal. Em algumas combinações, nenhuma planta sobreviveu ao uso de águas com condutividade elétrica de 4,0 dS m⁻¹, restringindo o crescimento e comprometendo a formação das mudas de citros, situação verificada, particularmente, em híbridos obtidos de cruzamentos de que participaram os citrangeres C25, C13 e ‘Troyer’ (Figuras 8 e 9).

Figura 8. Efeito da salinidade da água (dS m⁻¹) na percentagem de sobrevivência de diferentes combinações copa/porta-enxerto aos 330 dias após semeadura do porta-enxerto, tendo a limeira ácida ‘Tahiti’ como variedade copa. Limoeiro ‘Cravo’ (*Citrus ×limonia* Osbeck) ‘Santa Cruz’, TSKC = tangerineira ‘Sunki’ [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka] comum, CTSW = citrumelo [*C. ×paradisi* Macfad. x *P. trifoliata* (L.) Raf.] ‘Swingle’, TSKFL = tangerineira ‘Sunki da Flórida’, CTC25 = citrange [*C. ×sinensis* (L.) Osbeck x *P. trifoliata*] C25, CTC13 = citrange C13, LRF = limoeiro ‘Rugoso’ (*C. ×jambhiri* Lush.) ‘da Flórida’, LCR = limoeiro ‘Cravo’, TR = *P. trifoliata*, limoeiro ‘Volkameriano’ (*C. ×volkameriana* V. Ten. & Pasq.), CTARG = citrange ‘Argentina’, CTTR = citrange ‘Troyer’. Adaptado de Brito (2010).

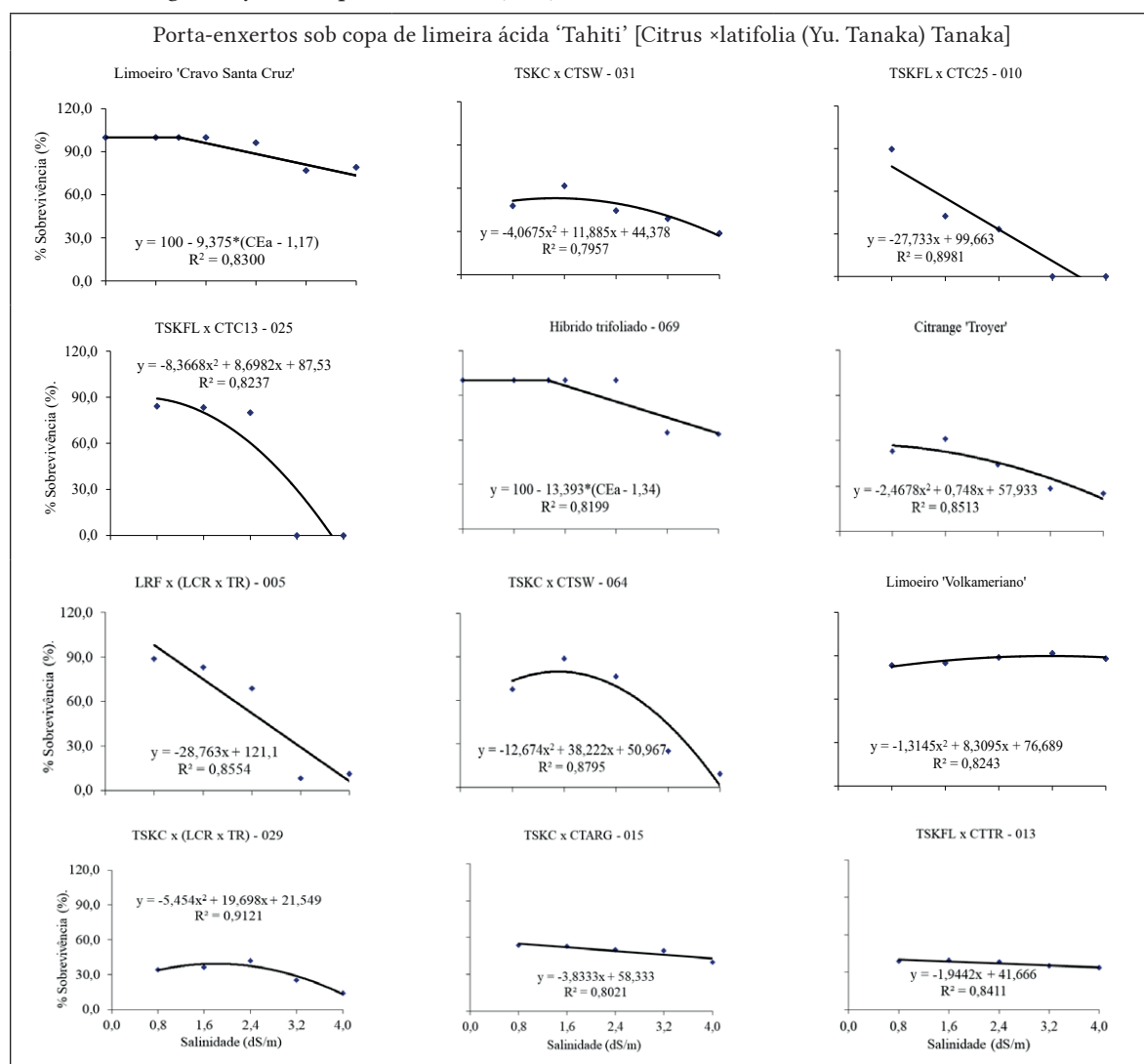
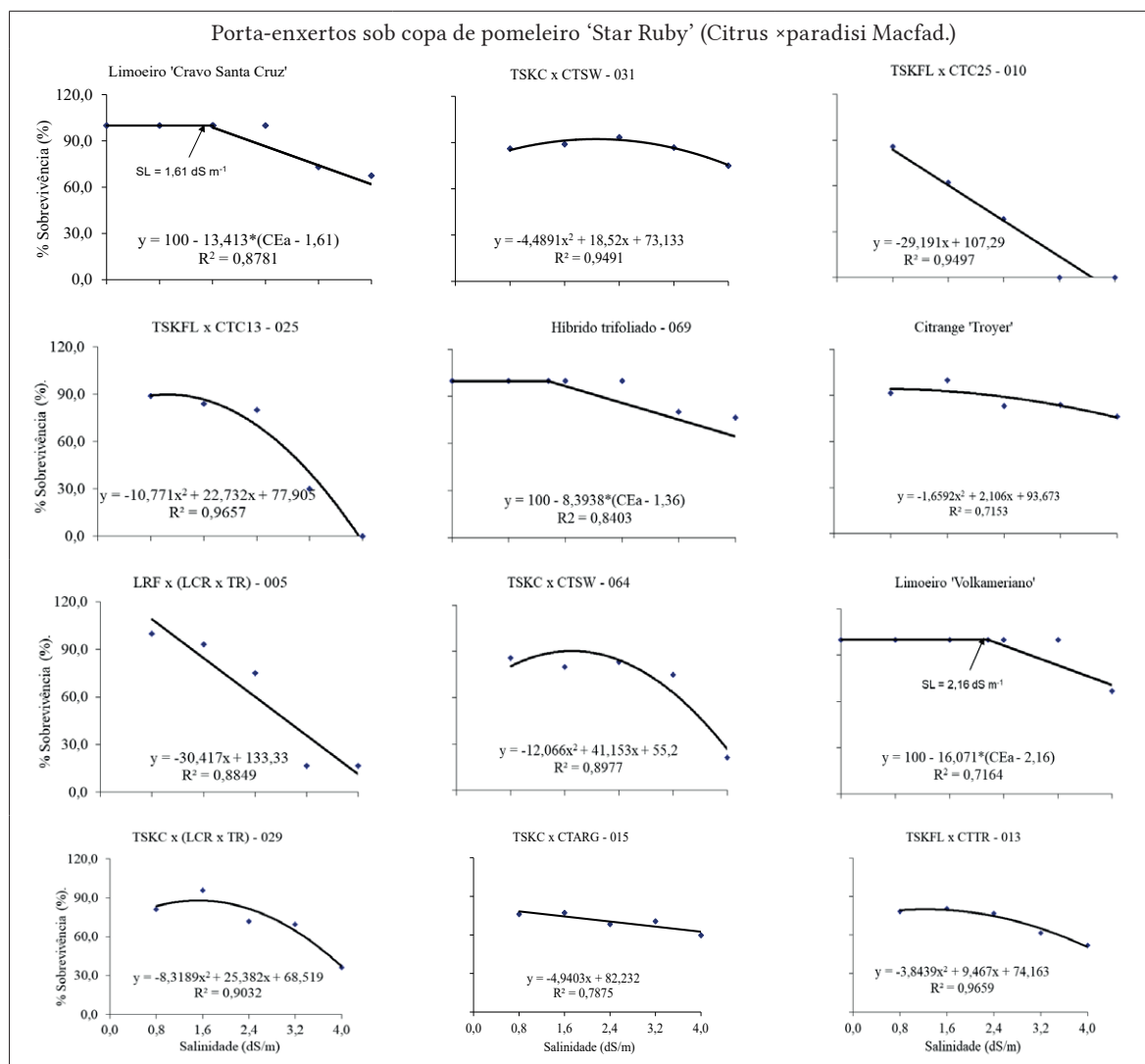


Figura 9. Efeito da salinidade da água (dS m^{-1}) na percentagem de sobrevivência de diferentes combinações copa/porta-enxerto aos 330 dias após sementeira do porta-enxerto, tendo o pomeleiro ‘Star Ruby’ como variedade copa. Limoeiro ‘Cravo’ (*Citrus ×limonia* Osbeck) ‘Santa Cruz’, TSKC = tangerineira ‘Sunki’ [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka] comum, CTSW = citrumelo [*C. ×paradisi* Macfad. x *P. trifoliata* (L.) Raf.] ‘Swingle’, TSKFL = tangerineira ‘Sunki da Flórida’, CTC25 = citrange [*C. ×sinensis* (L.) Osbeck x *P. trifoliata*] C25, CTC13 = citrange C13, LRF = limoeiro ‘Rugoso’ (*C. ×jambhiri* Lush.) ‘da Flórida’, LCR = limoeiro ‘Cravo’, TR = *P. trifoliata*, limoeiro ‘Volkameriano’ (*C. ×volkameriana* V. Ten. & Pasq.), CTARG = citrange ‘Argentina’, CTTR = citrange ‘Troyer’. Adaptado de Brito (2010).



Visualmente (Figura 10), o aspecto das plantas irrigadas com águas de maior salinidade foi de extrema sensibilidade, verificando-se morte generalizada na maioria dos génotipos avaliados, situação mais evidente quando a variedade copa tratou-se da limeira ácida ‘Tahiti’, indicativo de sua alta sensibilidade à salinidade.

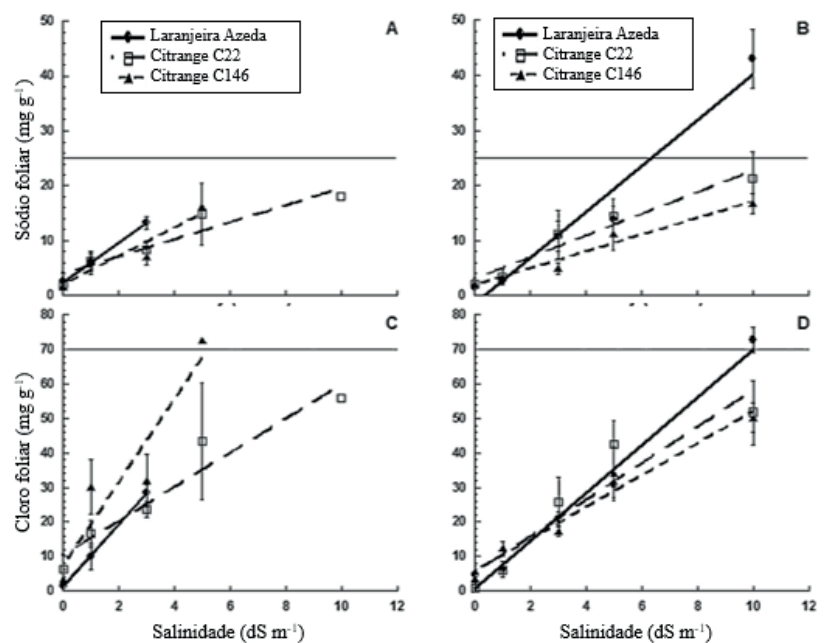
Tem-se, portanto, que o crescimento das plantas cítricas sofre reduções com a salinidade da água. Entretanto, os estudos realizados indicaram que há variabilidade de respostas à condutividade elétrica da água, sendo constatada, na fase de formação da muda, a possibilidade de uso de água com condutividade elétrica de até $2,4 \text{ dS m}^{-1}$, mesmo no caso de

combinações copa/porta-enxerto mais sensíveis, já que o período de formação de mudas foi curto, foram usados substratos bem drenados e o início da aplicação de sais ocorreu após o período de germinação e repicagem inicial, que ocorreu até os 60 dias após a semeadura. É importante ressaltar que indivíduos mais sensíveis, possivelmente, não conseguem realizar a exclusão de sais em suas raízes, priorizando, porém, o acúmulo de sais nas folhas, como observado na Figura 11, extraída de Simpson et al. (2014).

Figura 10. Visão das parcelas experimentais do híbrido TSKFL x CTC25 - 010, gerado pelo Programa de Melhoramento Genético de Citros da Embrapa Mandioca e Fruticultura, enxertado com a limeira ácida ‘Tahiti’ [*Citrus ×latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] e com o pomeleiro ‘Star Ruby’ (*C. ×paradisi* Macfad.), notando-se a morte da copa. Adaptado de Brito (2010). TSKFL: tangerineira ‘Sunki da Flórida’ [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka]; CTC25: citrange [*C. ×sinensis* (L.) Osbeck x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] C25.



Figura 11. Acúmulo de íons específicos nas folhas de plantas de citros, considerando os porta-enxertos laranjeira ‘Azeda’ (*Citrus ×aurantium* L.) e citranges [*C. ×sinensis* (L.) Osbeck x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] ‘C22’ e ‘C146’ per se e em combinação com a laranjeira ‘Valência Olinda’ (*C. ×sinensis*), em função dos níveis de salinidade. (A) Concentração de sódio foliar (mg g^{-1}) em plantas enxertadas, (B) Concentração de sódio foliar (mg g^{-1}) em plantas não enxertadas, (C) Concentração de cloro foliar (mg g^{-1}) em plantas enxertadas, (D) Concentração de cloro foliar (mg g^{-1}) em plantas não enxertadas. O nível de toxicidade típico para plantas de citros pode ser identificado por meio da linha horizontal presente nas figuras (Chapman, 1949; Obreza et al., 1992; Sauls, 2008). Perdas de valores são indicativas de morte das plantas. Adaptado de Simpson et al. (2014).



2.3 Efeito da salinidade na fisiologia das plantas

A salinidade afeta negativamente a fisiologia da planta cítrica, causando prejuízos ao seu crescimento. Atua, especialmente, nas trocas gasosas, mediante efeitos osmótico e iônico, também interferindo na ação da clorofila, alterando a atividade e as reações bioquímicas do cloroplasto, modificando, como consequência, a composição orgânica e anatômica das plantas. Neste item, pretende-se elucidar, com base em pesquisas realizadas nas Américas e em alguns países tropicais, o comportamento fisiológico das plantas de citros submetidas ao estresse salino.

O efeito da salinidade nos citros, como já apresentado, é variável com a fase de desenvolvimento da planta, com a intensidade do estresse, com o porta-enxerto utilizado, com a combinação copa/porta-enxerto, além de sofrer influências decorrentes de condições ambientais. Há indicações de que o efeito do estresse salino nas trocas gasosas e na fluorescência da clorofila em citros não é acumulativo, mas pontual. Conforme as condições presentes, podem ocorrer adaptações ao estresse, mesmo que estas causem limitações ao crescimento.

A esse respeito, Barbosa et al. (2017) estudaram o efeito da salinidade da água em porta-enxertos de citros, durante o período de sua formação, antes da enxertia, iniciando a aplicação de águas com diferentes níveis de salinidade aos 60 dias após a semeadura (DAS), período no qual se procedeu a seleção visual de plantas de origem nucelar, descartando os indivíduos de origem zigótica. As trocas gasosas foram avaliadas aos 75, 90 e 105 DAS (Tabela 2), concluindo-se que a salinidade reduz as trocas gasosas das plantas, fato mais evidente até os 75 DAS, correspondente a 15 dias após o início do estresse. Esses autores verificaram que o efeito da salinidade é variável entre genótipos. Dentre aqueles estudados, efeito drástico foi observado no híbrido tangerineira 'Sunki' comum (TSKC) x citrumelo 'Swingle' (CTSW) - 033, que manifestou 58,3% de redução na taxa de assimilação de CO_2 quando se aumentou a salinidade para $4,0 \text{ dS m}^{-1}$.

Ainda em relação ao trabalho de Barbosa et al. (2017), a menor redução na fotossíntese líquida, da ordem de 6%, foi observada no limoeiro 'Rugoso da Flórida' (*C. ×jambhiri* Lush.) e no híbrido TSKC x CTSW - 028, ao se aumentar a salinidade até o nível de condutividade elétrica da água de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$. Os mencionados híbridos foram obtidos pelo PMG Citros, sendo que o TSKC x CTSW - 028 foi inscrito, pela Embrapa, como variedade porta-enxerto, no Registro Nacional de Cultivares - RNC, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, com a denominação BRS Pompeu.

Quando se comenta sobre o efeito da salinidade nas trocas gasosas de plantas de citros, a princípio, são considerados seus efeitos na restrição hídrica, que leva a reduções na turgescência celular e, portanto, na abertura estomática; como consequência, ocorrem reduções no influxo de CO_2 para a câmara subestomática e na taxa de assimilação de CO_2 , como observado por Rebequi et al. (2009), Brito et al. (2012) e Dias et al. (2012). Com o prolongamento do estresse salino, além do efeito osmótico, tem início um acúmulo de íons nas folhas, que têm baixo poder de desintoxicação; as folhas dos citros são persistentes, verificando-se, mesmo

sob estresse, baixos níveis de queda de folhas (Hussain et al., 2015). Efeitos de ordem iônica também ocorrem, contribuindo para a diminuição das trocas gasosas das plantas.

Tabela 2. Taxa de assimilação de CO₂ (A) (μmol m⁻² s⁻¹) aos 15, 30 e 60 dias após o início da aplicação de estresse (DAIE) em genótipos de citros sob diferentes níveis de salinidade da água. Adaptado de Barbosa et al. (2017).

Taxa de Assimilação de CO ₂ (A)					
15 DAIE					
Genótipos	Salinidade da água de irrigação (dS m ⁻¹)				
	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0
LCRSTC	7,41 A	8,52 A	6,04 B	5,70 B	5,61 A
TSKC x CTSW - 028	3,84 B	3,69 D	4,61 B	4,06 C	4,41 B
TSKC x CTSW - 033	8,04 A	5,87 A	4,51 B	3,27 C	3,36 B
TSKC x CTSW - 041	5,35 B	5,06 C	4,62 B	4,62 C	3,83 B
LVK x LCR - 038	7,73 A	8,48 A	9,10 A	5,13 B	5,14 A
TSKFL	4,07 B	5,23 C	4,66 B	5,88 B	5,41 A
TSKC	5,29 B	6,52 B	5,57 B	4,34 C	2,83 B
LRF	6,56 A	7,23 B	8,76 A	9,09 A	6,12 A
30 DAIE					
LCRSTC	6,70 A	7,68 A	6,90 A	5,84 A	5,75 A
TSKC x CTSW - 028	4,91 B	6,26 A	6,33 A	7,18 A	4,83 A
TSKC x CTSW - 033	5,14 B	4,25 B	4,39 B	3,93 B	2,94 B
TSKC x CTSW - 041	7,73 A	6,80 A	5,95 A	4,48 B	5,37 A
LVK x LCR - 038	6,46 A	8,07 A	6,91 A	7,20 A	6,23 A
TSKFL	3,35 C	3,98 B	5,50 A	3,56 B	2,64 B
TSKC	2,78 C	3,65 B	4,37 B	3,26 A	2,84 B
LRF	8,34 A	8,43 A	6,22 A	5,53 A	4,31 A
60 DAIE					
LCRSTC	3,80 B	5,69 A	6,40 A	6,43 A	6,51 A
TSKC x CTSW - 028	6,20 A	5,42 A	5,84 A	3,23 B	3,85 B
TSKC x CTSW - 033	4,17 B	2,83 B	3,37 B	2,48 B	2,55 B
TSKC x CTSW - 041	2,29 B	3,71 B	3,63 B	3,72 B	3,70 B
LVK x LCR - 038	6,61 A	7,35 A	6,77 A	4,95 A	4,73 B
TSKFL	4,08 B	3,54 B	3,69 B	3,65 B	3,00 B
TSKC	3,04 B	4,12 B	4,12 B	3,03 B	3,70 B
LRF	4,51 B	5,20 A	5,62 A	5,41 A	3,98 B

*LCRSTC: limoeiro 'Cravo' (*Citrus ×limonia* Osbeck) 'Santa Cruz'; TSKC: tangerineira 'Sunki' [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka] comum; CTSW: citrumelo [*C. ×paradisi* Macfad. x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] 'Swingle'; LVK: limoeiro 'Volkameriano' (*C. ×volkameriana* V. Ten. & Pasq.); LCR: limoeiro 'Cravo'; TSKFL: tangerineira 'Sunki da Flórida'; LRF: limoeiro 'Rugoso' (*C. ×jambhiri* Lush.) 'da Flórida'. Médias seguidas da mesma letra indicam semelhança entre os genótipos por meio do teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

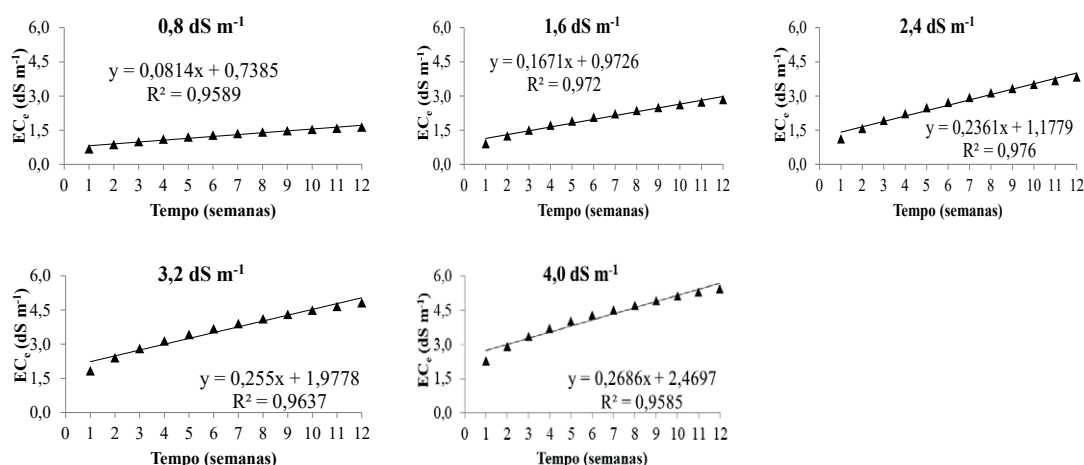
Em experimento conduzido por Barbosa et al. (2017), plantas de limoeiro 'Cravo Santa Cruz', limoeiro 'Cravo' comum, tangerineira 'Sunki' comum, tangerineira 'Sunki da Flórida', citrumelo 'Swingle', limoeiro 'Volkameriano' e de limoeiro 'Rugoso da Flórida', na fase de formação do porta-enxerto, foram condicionadas à salinidade no extrato de saturação de 2,5 dS m⁻¹ na primeira semana de condução do ensaio, até 5,7 dS m⁻¹, aproximadamente,

na 12ª semana (Figura 12). Nessa situação, o aumento da salinidade pode gerar estresse à planta de citros que, para se manter, deve realizar a exclusão do excesso de sais no sistema radicular, ou compartimentalizar os íons nas folhas, o que pode acarretar toxidez (Simpson et al., 2014; Hussain et al., 2015).

No trabalho realizado por Barbosa et al. (2017), a aplicação do estresse salino se iniciou aos 60 dias da sementeira, o que pode ter favorecido a elevação contínua e paulatina da concentração de sais no substrato, possibilitando a adaptação gradual da planta ao estresse, pela expressão de genes para tolerância ao estresse salino (Syvertsen & Garcia-Sanchez, 2014), conforme Figura 12. Assim, em situações nas quais se tenha um período prologado de aplicação do estresse, mesmo intenso, pode ocorrer uma adaptação fisiológica da planta, como observado por Brito et al. (2018), ao estudarem a emergência e a ecofisiologia de híbridos da tangerineira 'Sunki', sob estresse salino dos 60 aos 150 dias após a sementeira, sem serem afetadas as trocas gasosas pela salinidade.

Assim, a regulação das trocas gasosas é um mecanismo utilizado pelas plantas cítricas no sentido de se adaptarem ao estresse, mantendo o influxo de água e a formação de novas moléculas de carboidratos, sendo a resposta estomática rápida ao efeito do estresse salino, em especial quando os genótipos são sensíveis. A esse respeito, constatou-se em pesquisas realizadas por Silva et al. (2014) e por Sá et al. (2015), que o estresse salino, aplicado em genótipos de citros utilizados como porta-enxerto, em sistema hidropônico, provocou alterações nas trocas gasosas das plantas, 24 horas após o início do uso de solução nutritiva com maior salinidade, especialmente em indivíduos mais sensíveis, a exemplo do híbrido TSKC x CTSW - 033. Nesse caso, não houve um aumento gradual dos níveis de salinidade, o que permitiria uma certa aclimatização da planta ao estresse.

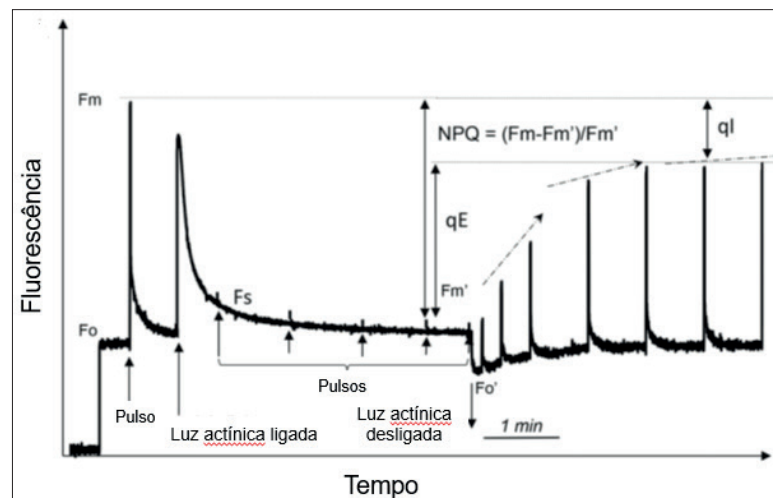
Figura 12. Estimativa da condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{es}) ao longo do período experimental, para os níveis de salinidade na água de irrigação de 0,8, 1,6, 2,4, 3,2 e 4,0 $dS\ m^{-1}$. Adaptado de Barbosa et al. (2017).



A resposta fisiológica das plantas de citros ao estresse salino é observada, também, por meio da fluorescência da clorofila, que pode se dar em pelo menos dois estágios, um inicial, quando não há dano ao aparato fotossintético, e um final, quando há dano aos centros de reação dos fotossistemas, embora entre esses estágios possa haver vários outros, decorrentes da intensificação do estresse (Silva et al., 2014; Sá et al., 2015; Brito et al., 2016).

A resposta inicial dos fotossistemas ao estresse, em especial o salino, é decorrente de um mecanismo protetor denominado “perda de calor não fotoquímico da clorofila (*Nonphotochemical chlorophyll fluorescence quenching* - NPQ)”, que é um processo de perda da energia não utilizada nos fotossistemas, dissipada na forma de calor, após o processo de absorção luminosa (Ruban, 2016). Essa energia, se não fosse dissipada, poderia danificar o centro de reação do Fotossistema II (RCII). O NPQ pode ser medido a partir da fluorescência por pulsos actínicos modulados (PAM), usando-se equipamentos denominados fluorômetros e fluorímetros de pulso modulado, sendo o esquema de funcionamento do método descrito na Figura 13, extraída de Ruban (2016).

Figura 13. Pulso de amplitude modulada (PAM) típica do traço de fluorescência em folhas de *Arabidopsis thaliana* L., mostrando o processo de indução e relaxamento da perda e calor não fotoquímico da fluorescência da clorofila (*Nonphotochemical chlorophyll fluorescence quenching* - NPQ). Fm e Fo são a máxima e a mínima fluorescência, após as condições de adaptação ao escuro estimulada pela iluminação actínica de 1.000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente. Fs é o curso de fluorescência transiente. Fm' é a fluorescência máxima durante o pulso de iluminação actínica. Pulsos de luz (10.000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foram aplicados para completa redução do complexo antena do centro de reação do Fotossistema II (RCII), sendo usado para estimar os valores de Fm e Fm'. qE e qI são os componentes reversíveis rápidos e lentos do NPQ, respectivamente. Adaptado de Ruban (2016).



No esquema descrito na Figura 13, tem-se, a priori, um pulso de energia realizado após o tecido clorofiliano estar em condições de adaptação ao escuro, gerando um valor de fluorescência inicial (Fo). Nessa situação, todos os aceptores do centro de reação do Fotossistema II (RCII) estão abertos e o valor de fluorescência é máximo (Fm), situação em que o RCII está fechado em resposta à alta intensidade do pulso, o que ocorre entre 0,5

e 1,0 s. Com esses valores, pode-se determinar a fluorescência variável ($F_v = F_m - F_o$) e a eficiência quântica do Fotossistema II ($Y = F_v/F_m$) (Ruban, 2016). Nessa condição (adaptação ao escuro), se tem o potencial de extinção fotoquímica dos centros de reação, notando-se que os valores de fluorescência não são reduzidos, imediatamente, a valores semelhantes a F_o , após a obtenção de F_m .

Após o processo de fluorescência, finda a adaptação à luz, um pulso de iluminação actínica é aplicado por aproximadamente cinco minutos. Durante esse tempo, os pulsos de luz saturantes são aplicados a cada minuto para a determinação do nível de F_m , sendo progressivamente extintos até chegar à estabilização no final do período (Ruban, 2016). No processo de extinção fotoquímica, F_m é transformada em F_m' , denominada fluorescência máxima após os pulsos de luz saturante.

Com base nesse processo e informações dele geradas, pode-se calcular o NPQ, conforme a Expressão 1. Ainda, pode-se determinar a extinção não fotoquímica (q_N), que é um parâmetro semelhante à eficiência quântica do Fotossistema II (Y).

$$NPQ = \frac{F_m - F_m'}{F_m'} \quad \text{Expressão 1}$$

$$q_N = \frac{F_m - F_m'}{F_m'} \quad \text{Expressão 2}$$

O cálculo do NPQ reflete a razão entre a constante de taxa do NPQ e a soma das constantes restantes, refletindo todas as outras vias de dissipação na membrana, como fluorescência, interna e interconversão (Krause & Weis, 1991). O parâmetro q_E é definido, no contexto dessa análise, como o componente de reversão rápida de q_N ou NPQ (Figura 13), ressaltando-se que, normalmente, esse componente é considerado recuperado em até 5 minutos do desligamento da luz actínica... os impulsos de q_E e ΔpH geralmente, são reduzidos entre 10 e 20 s (Ruban, 2013).

Nota-se, ainda na Figura 13, que o NPQ será composto por q_E , que corresponde à maior parte, e o q_I , que está relacionado ao componente irreversível do NPQ, corresponde à fotoinibição ou ao dano no centro de reação do Fotossistema II (RCII). A determinação dessas variáveis com uso de fluorímetros ou fluorômetros de pulso modulado pode contribuir para identificar a intensidade do estresse salino nas plantas, observando-se, a priori, um aumento gradual nos valores de q_I , que pode estar em consonância com a redução em F_m' ou aumento de F_o' , sem, contudo, afetar a eficiência quântica do fotossistema (Y). Todavia, quando o estresse salino passa a ser mais severo, tais alterações reduzem drasticamente os valores de Y .

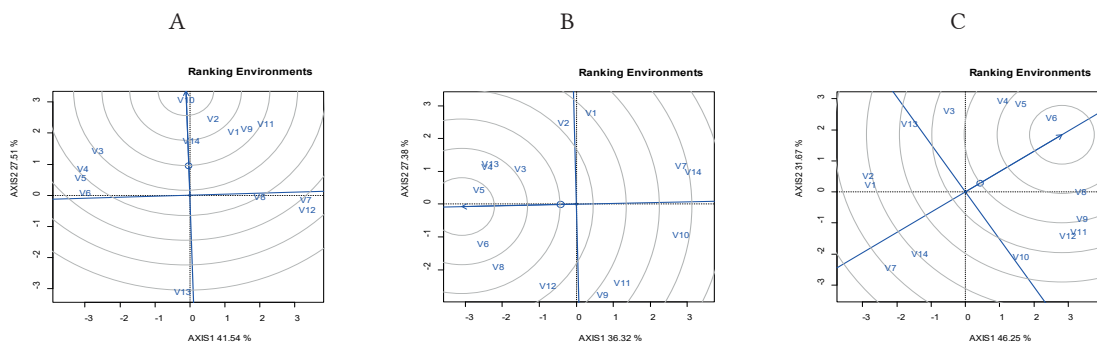
Partes deste conhecimento, utilizado na abordagem teórica sobre fluorescência, nos parágrafos anteriores, foram verificadas por Silva et al. (2014), em plantas de citros, sob estresse salino na fase de formação do porta-enxerto, em experimento conduzido sob condições de hidroponia. Esses autores constataram, na condição de estresse, aumento dos valores de F_o ,

em especial para genótipos considerados sensíveis, após 24 horas de exposição ao estresse salino na solução nutritiva.

A evidência de haver perda de calor fotoquímico é indicativa do início do estresse iônico, ocasionado pela salinidade, sendo esta uma das hipóteses propostas por Silva et al. (2021); os autores estudaram a fluorescência da clorofila *a*, por pulso modulado, em 13 combinações copa/porta-enxerto de citros, tendo como porta-enxertos híbridos obtidos pelo PMG Citros e a limeira ácida ‘Tahiti’ como variedade copa. As diferentes combinações copa/porta-enxerto foram irrigadas com águas com três concentrações de sais (0,14; 2,4; 4,8 dS m⁻¹), aos 70 dias após o transplante (DAT). Na Figura 14 tem-se um detalhamento das análises realizadas.

Conforme Silva et al. (2021), a depender do nível de salinidade, ocorrem mudanças em relação às variáveis que melhor representam os resultados obtidos, verificando-se, nas plantas irrigadas com águas de 2,4 dS m⁻¹ e 4,8 dS m⁻¹ que a maior representatividade dos dados, em ambas as salinidades, foi relativa às variáveis 5 (Fv), 6 (Fv/Fm) e 4 (P) (Figura 14, B e C), o que indica uma adaptação fotoquímica ao estresse salino, pois as perdas de calor, via fotoquímica e não-fotoquímica, constituem uma das mais rápidas respostas da membrana fotossintética ao excesso de energia (Demmig-Adams et al., 2014).

Figura 14. Análise de componentes principais (PCA) relativa às variáveis de fluorescência da clorofila *a* das combinações de limeira ácida ‘Tahiti’ [*Citrus ×latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] com os porta-enxertos limoeiro ‘Cravo’ (*C. ×limonia* Osbeck) ‘Santa Cruz’, citrandarins [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] ‘Indio’, ‘Riverside’ e ‘San Diego’, tangerineira ‘Sunki’ (*C. sunki*) ‘BRS Tropical’, híbridos tangerineira ‘Sunki’ comum (TSKC) x *P. trifoliata* Benecke (TRBK) - 007, tangerineira ‘Sunki da Flórida’ (TSKFL) x TRBK - 030, TSKC x citrange [*C. ×sinensis* (L.) Osbeck x *P. trifoliata*] ‘Troyer’ (CTTR) - 012, TSKFL x CTTR - 013, híbrido trifoliado HTR - 069, TSKC x [limoeiro ‘Cravo’ (LCR) x *P. trifoliata* (TR)] - 040, TSKC x (LCR x TR) - 059 e TSKC x citrange ‘Argentina’ (CTARG) - 019, híbridos esses obtidos pelo Programa de Melhoramento Genético de Citros da Embrapa Mandioca e Fruticultura, sendo submetidos a diferentes tipos de água aos 70 dias após o transplante: (A) Biplot relativo ao ranking de variáveis sob água de 0,14 dS m⁻¹, (B) Biplot relativo ao ranking de variáveis sob água de 2,4 dS m⁻¹ e (C) Biplot relativo ao ranking de variáveis sob água de 4,8 dS m⁻¹. Adaptado de Silva et al. (2021).



A adaptação relacionada ao efeito do estresse salino na fisiologia das plantas de citros pode ser notada por alterações bioquímicas, já que, quando elas passam por estresse iônico,

ocasionado pela salinidade, há um acúmulo de sais nas folhas, gerando distúrbios de ordem nutricional e fitotoxidez, podendo-se observar sintomas foliares de deficiência nutricional e a ocorrência de queimaduras em suas bordas (Figura 15).

A ocorrência de tais sintomas é consequência de distúrbios fisiológicos já mencionados, em especial os relacionados ao aparato fotossintético das plantas de citros, tanto na fase fotoquímica, quanto na fase bioquímica. Desse modo, ao analisar a concentração de clorofila em plantas de citros expostas ao estresse salino deve-se, inicialmente, esperar aumentos em sua concentração, decorrentes de um acúmulo determinado pela limitação do crescimento, e, posteriormente, uma diminuição de concentração, em razão de um processo de degradação, evidenciado pela fitotoxidez e/ou deficiência mineral.

Paudel et al. (2019), estudando o efeito da aeração e do uso de águas de baixa qualidade sobre características fisiológicas de dois porta-enxertos contrastantes, o limoeiro 'Volkameriano' como sensível e o citrandarin 'X639' (tangerineira 'Cleópatra' x *P. trifoliata*) como tolerante ao estresse salino, apresentaram a hipótese de que a aeração adapta as plantas ao estresse, facilitando a seletividade de absorção de íons e sua translocação do sistema radicular para as folhas, melhorando a performance das plantas.

Figura 15. Sintomas foliares de fitotoxidez e deficiência mineral decorrentes de efeito iônico do estresse salino em plantas de citros. (A) planta do híbrido entre a tangerineira 'Sunki' comum (TSKC) (*Citrus sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka) e o citrumelo 'Swingle' (CTSW) [*C. ×paradisi* Macfad. x *P. trifoliata* (L.) Raf.] (TSKC x CTSW - 033) sob solução nutritiva preparada com água salobra de 4,0 dS m⁻¹ aos 90 dias após a semeadura; (B) plantas na fase de formação do porta-enxerto sob irrigação com águas de 0,8 a 4,0 dS m⁻¹ com 150 dias após a semeadura e 90 dias de estresse. Fonte: Arquivo pessoal de Marcos Eric Barbosa Brito.

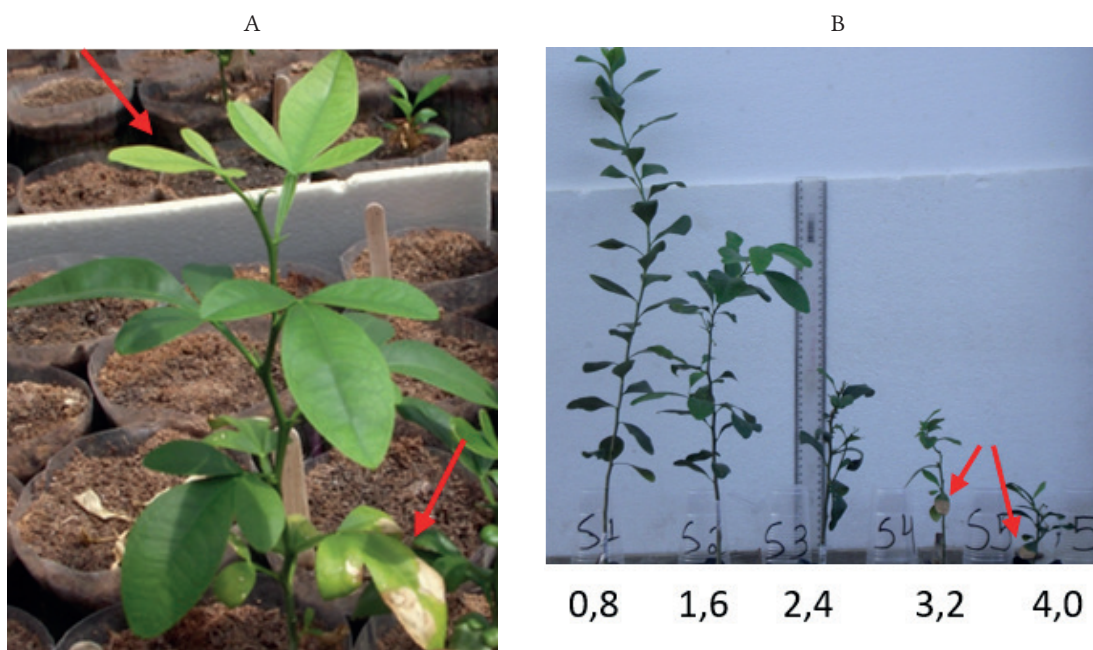
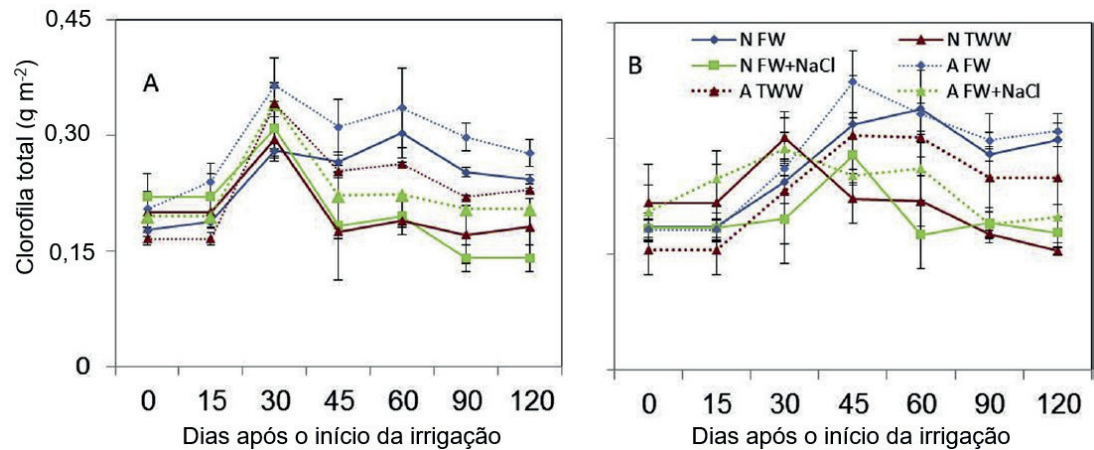


Figura 16. Efeitos da aeração nas raízes (A = Aerado, N = Normal) e da qualidade da água (FW = água doce; FW+NaCl; e TWw = água residuária tratada) nos valores médios (n=6) de conteúdo de clorofila total de plantas de limoeiro ‘Volkameriano’ (*Citrus ×volkameriana* V. Ten. & Pasq.) (A) e do citrandarin ‘X639’ [tangerineira ‘Cleópatra’ (*C. reshni* hort. ex Tanaka.) x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] (B). Adaptado de Paudel et al. (2019).



Paudel et al. (2019), também verificaram, na resposta inicial de formação das plantas, uma boa absorção de ‘K’ e baixa relação ‘Na:K’ associada a um aumento na concentração de clorofila nas folhas (Figura 16), em especial no limoeiro ‘Volkameriano’, quando as plantas foram submetidas a águas de menor qualidade, sendo esse genótipo considerado, nesse estudo, como o mais sensível à salinidade.

Ademais, Paudel et al. (2019) destacam que a intensificação do estresse ocasionou redução no teor de clorofila das folhas (Figura 16), mesmo em plantas do genótipo mais tolerante e sob condições de aeração, o que contribuiu para a degradação da clorofila, afirmando, a partir desses resultados, que o carbono é redistribuído para a formação de compostos osmoprotetores. A formação de osmoprotetores também foi observada por Adams et al. (2019), que estudaram o efeito de solo salino na fisiologia e anatomia do citrandarin ‘US-942’ (tangerineira ‘Sunki’ x *P. trifoliata* ‘Flying Dragon’), destacando que as plantas desse porta-enxerto são tolerantes a um estresse salino médio e confirmando a hipótese de que há a formação de uma barreira osmoprotetora apoplástica no sistema radicular, aliado a um aumento na massa relativa de raízes em detrimento do aumento da concentração de sódio.

Estudos conduzidos por Sá et al. (2017) reforçam este entendimento. Esses autores estudaram cinco híbridos de citros sob condições de cultivo hidropônico com uso de dois tipos de água no preparo das soluções nutritivas, 0,3 e 4,0 dS m⁻¹, dados apresentados na Tabela 3. Os destaques são para os genótipos sensíveis, como os limoeiros ‘Volkameriano’ (LVK) e ‘Rugoso da Flórida’ (LRF), assim como o híbrido tangerineira ‘Sunki’ comum (TSKC) x citrange ‘Argentina’ (CTARG) - 019, com reduções no crescimento na ordem de 36%, 71% e 55%, respectivamente, quando se intensificou a concentração salina, de 0,3 para 4,0 dS m⁻¹, verificando-se, para o limoeiro ‘Volkameriano’, um aumento na concentração de clorofila

total, enquanto que nos demais indivíduos constatou-se uma redução nessa concentração, fato relacionado à intensidade de dano do estresse salino.

Tabela 3. Clorofila *a* (Cl *a*), *b* (Cl *b*), total (Cl total), carotenoides (Carot), relação clorofila *a* / clorofila *b* (Cl *a* / Cl *b*), relação clorofila total / carotenoides (Cl total / Carot), massa seca da folha (MSF), do caule (MSC), das raízes (MSR), teor relativo de água (TRA) de genótipos de citros sob estresse salino em cultivo hidropônico. Adaptado de Sá et al. (2017).

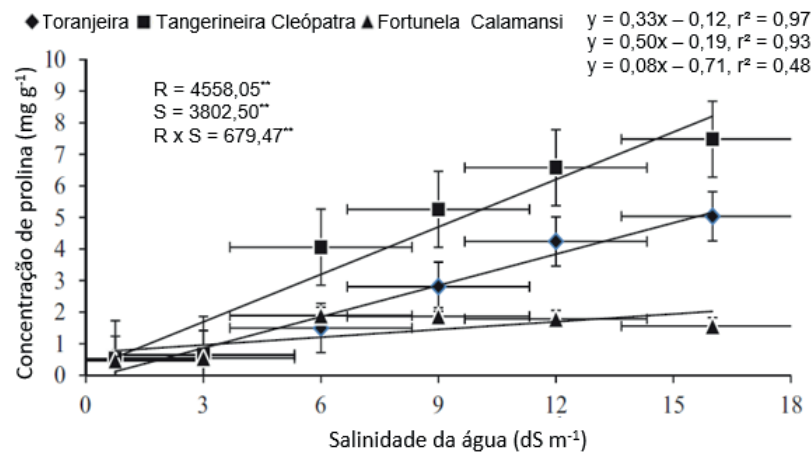
Genótipos	Salinidade da água (dS m ⁻¹)							
	0,3		4,0		0,3		4,0	
	Cl <i>a</i> *		Cl <i>b</i> *		Cl total*			
TSKC x CTARG - 019	5,56 Ba	4,24 bB	2,30aA	1,64 bB	7,86bA	5,88Bb		
LRF	5,63 bA	5,64 bA	2,09 aA	1,94 bA	7,72bA	7,58bA		
TSKC x (LCR x TR) - 040	3,54 cA	4,10 bA	1,51 bA	1,79 bA	5,05cA	5,88bA		
LCRSTC	4,33 cA	4,65 bA	1,52 bA	1,75 bA	5,84cA	6,40bA		
LVK	7,06 aB	9,19 aA	2,60 aB	4,09 aA	9,66 aB	13,27aA		
Genótipos	Cl <i>a</i> / Cl <i>b</i> *		Carot**		Cl total / Carot**			
TSKC x CTARG - 019	2,44bA	2,59aA	1,24 c		5,56a			
LRF	2,67aA	2,91aA	1,81 b		4,22b			
TSKC x (LCR x TR) - 040	2,36bA	2,28bA	1,07 c		5,11a			
LCRSTC	2,87aA	2,66aA	1,44 c		4,27b			
LVK	2,71aA	2,25bB	2,20 a		5,29 a			
Genótipos	MSF (g)*		MSC (g)*		MSR (g)*			
TSKC x CTARG - 019	1,30 cA	0,90 cB	1,70 bA	0,52 bA	0,79 dA	0,32 bB		
LRF	1,07 cA	1,14 cA	3,52 aA	0,24 bB	1,24 cA	0,40 bB		
TSKC x (LCR x TR) - 040	0,48 dA	0,59 dA	0,17 cA	0,21 bA	0,30 eA	0,26 bA		
LCRSTC	2,34 bA	2,13 bA	2,55 aA	1,42 bA	2,60 bA	1,02 aB		
LVK	4,30 aA	3,03 aB	4,39 aA	3,19 aA	3,08 aA	1,31 aB		

TSKC: tangerineira 'Sunki' [*Citrus sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka] comum; CTARG: citrange [*C. ×sinensis* (L.) Osbeck x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf] 'Argentina'; LRF: limoeiro 'Rugoso' (*C. ×jambhiri* Lush.) 'da Flórida'; LCR: limoeiro 'Cravo' (*C. ×limonia* Osbeck); TR: *P. trifoliata*; LCRSTC: limoeiro 'Cravo Santa Cruz'; LVK: limoeiro 'Volkameriano' (*C. ×volkameriana* V. Ten. & Pasq.). * E ** = Interação genótipo x salinidade da água, fator genótipo e fator de salinidade da água significativa ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. Letras minúsculas iguais na coluna não diferem pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade, e letras maiúsculas iguais na linha não diferem pelo teste 't' de Student ao nível de 5% de probabilidade.

Com a intensificação do estresse salino, ou seja, quando o estresse iônico ocasionado pela salinidade é mais evidente, a concentração de clorofila foliar das plantas de citros diminui, o que pode estar relacionado a rotas paralelas de síntese de carboidratos e de proteínas, em especial para a formação de elementos osmoprotetores, como a prolina, fato evidenciado em pesquisa de Alam et al. (2020). Eles estudaram o aumento da concentração de sais de 0,75 até 16 dS m⁻¹, por meio da adição de NaCl, em três espécies de citros: *C. maxima* (toranjeira), *C. reshni* (tangerineira 'Cleópatra') e *Fortunella japonica* (Thunb.) Swingle (Fortunela 'Calamansi'), cujas plantas foram irrigadas com os diferentes níveis de salinidade da água

durante 90 dias, constatando-se um incremento na concentração de prolina nas folhas, em especial no genótipo com maior tolerância à salinidade, a tangerineira ‘Cleópatra’ (Figura 17).

Figura 17. Relação entre os teores de prolina e a salinidade em folhas de plantas das espécies *Citrus maxima* (Burm.) Merr. (toranjeira), *C. reshni* hort. ex Tanaka (tangerineira ‘Cleópatra’) e *Fortunella japonica* (Thunb.) Swingle (Fortunela ‘Calamansi’), aos 90 dias após o início da irrigação com águas com níveis de salinidade variando de 0,75 a 16 dS m⁻¹, por meio da adição de NaCl (R = espécie, S = salinidade da água, ** significativo a P < 0.01). Barras em ambos os eixos representam o erro padrão da média. Adaptado de Alam et al. (2020).



Por outro lado, estudando indicadores de toxicidade e respostas bioquímicas da limeira ácida ‘Tahiti’ enxertada em dez porta-enxertos de citros sob irrigação com águas de 0,3 e 3,0 dS m⁻¹, em cultivo sob condições de lisimetria de drenagem durante dois anos, Ribeiro et al. (2021) destacaram, em suas conclusões, que há fortes correlações entre as respostas bioquímicas e os indicadores de toxicidade, sendo estas associadas ao tempo de exposição ao estresse em detrimento da diferença entre os genótipos avaliados. Ademais, esses autores indicaram a concentração de cloro nas folhas como o melhor indicador de toxicidade, pois permitiu maior dissimilaridade entre os genótipos estudados, sendo um parâmetro para otimizar a seleção, destacando o híbrido TSKC x (LCR x TR) - 017 como porta-enxerto promissor, material denominado como um citrimoniandarin, por ser fruto de um cruzamento de tangerineira com um híbrido de limoeiro ‘Cravo’ com *P. trifoliata*, realizado pelo PMG Citros, inscrito no RNC-MAPA com o nome BRS Stuchi.

3 SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE CITROS TOLERANTES À SALINIDADE

A seleção de genótipos de citros tolerantes à salinidade passa por várias etapas, conforme Soares Filho et al. (2016). Deve-se ter em mente que a planta cítrica comercial é formada pela união de dois indivíduos, a copa e o porta-enxerto, cuja interação pode resultar em respostas distintas à salinidade, a depender das variedades utilizadas.

Pesquisas conduzidas pelo grupo de estudos em salinidade da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), em parceria com o PMG Citros, contando com o apoio de outras instituições, como a Universidade Federal do Ceará (UFC), Universidade Federal de Sergipe (UFS) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), têm permitido a identificação, na fase de formação do porta-enxerto, de variedades e híbridos com potencial de uso pela citricultura brasileira em ambientes sujeitos a problemas de salinidade (Tabela 4).

Tabela 4. Classificação quanto à tolerância à salinidade de genótipos de citros, na condição de pés-francos de origem nucelar (plantas obtidas da germinação de sementes) em estádios jovens de desenvolvimento.

Nº	Genótipo ¹	Classe ⁴	Fonte bibliográfica
1	Limoeiro 'Cravo Santa Cruz'	T	Brito et al. (2008); Barbosa et al. (2017)
2	Limoeiro 'Rugoso da Flórida'	MS	Brito et al. (2016)
3	Limoeiro 'Volkameriano'	MS	Brito (2010); Fernandes et al. (2011)
4	Tangerineira 'Sunki BRS Tropical'	MT	Brito et al. (2008); Fernandes et al. (2011); Brito et al. (2014b)
5	Tangerineira 'Sunki' comum	MS	Barbosa et al. (2017)
6	Citrange 'Troyer'	MT	Brito (2010)
7	Citrandarin 'Indio' ²	MS	Fernandes et al. (2011)
8	Citrandarin 'Riverside' ²	MT	Fernandes et al. (2011)
9	Híbrido trifoliado HTR - 051 (BRS Victoria ³)	MS	Brito et al. (2014b)
10	Híbrido trifoliado HTR - 069	T	Brito (2010); Brito et al. (2014b)
11	LCR x TR - 001	MS	Fernandes et al. (2011)
12	LRF x (LCR x TR) - 005 (BRS N Gimenes Fernandes ³)	T	Brito (2010)
13	LVK x LCR - 038 (BRS Ary S ³)	T	Barbosa et al. (2017)
14	LVK x LVA - 009	MS	Fernandes et al. (2011)
15	TSKC x CTARG - 015	MT	Brito et al. (2008); Brito et al. (2014a)
16	TSKC x CTARG - 019	MT	Sá et al. (2015); Brito et al. (2016)
17	TSKC x CTARG - 081	MS	Brito et al. (2008)
18	TSKFL x CTC13 - 005	MT	Brito et al. (2008)
19	TSKFL x CTC25 - 010	T	Brito et al. (2008)
20	TSKC x CTQT1434 - 001	MT	Brito (2007)
21	TSKC x CTQT1439 - 004	MS	Brito (2007)
22	TSKC x CTQT1439 - 014 (BRS L Navarro ³)	MS	Brito (2007)
23	TSKC x CTSW - 028 (BRS Pompeu ³)	MS	Sá et al. (2015)
24	TSKC x CTSW - 031	T	Brito (2007)
25	TSKC x CTSW - 033	S	Brito (2007)
26	TSKC x CTSW - 041 (BRS Cunha Sobrinho ³)	MS	Barbosa et al. (2017)
27	TSKC x CTSW - 064	T	Brito (2007); Brito (2010)
28	TSKC x CTTR - 002	MS	Brito (2007)
29	TSKC x CTTR - 008	MT	Brito (2007)
30	TSFKL x CTTR - 013	MT	Brito (2007)
31	TSKC x CTTR - 028	MT	Brito (2007)

Nº	Genótipo ¹	Classe ⁴	Fonte bibliográfica
32	TSKC x CTTR - 029	MS	Brito (2007)
33	TSKC x (LCR x TR) - 029	T	Brito (2010)

¹ Limoeiro 'Cravo' (*Citrus ×limonia* Osbeck) 'Santa Cruz'; limoeiro 'Rugoso' (*C. ×jambhiri* Lush.) 'da Flórida'; limoeiro 'Volkameriano' (*C. ×volkameriana* V. Ten. & Pasq.); tangerineira 'Sunki' [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka] 'BRS Tropical'; citrange [*C. ×sinensis* (L.) Osbeck x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] 'Troyer'; citrandarins 'Indio' e 'Riverside' (tangerineira 'Sunki' x *P. trifoliata*); LCR: limoeiro 'Cravo'; TR: trifoliata (*P. trifoliata*); LRF: limoeiro 'Rugoso da Flórida'; LVK: limoeiro 'Volkameriano'; LVA: laranjeira 'Valência' (*C. ×sinensis*); TSKC: tangerineira 'Sunki' comum; CTARG: citrange 'Argentina'; TSKFL: tangerineira 'Sunki da Flórida'; CTC13: citrange C13; CTC25: citrange C25; CTQT: citrangequat 'Thomasville' [citrange 'Willits' x *Fortunella margarita* (Lour.) Swingle]; CTSW: citrumelo (*C. ×paradisi* Macfad. x *P. trifoliata*) 'Swingle'; CTTR: citrange 'Troyer'.

² Híbrido obtido por Joseph Rudolph Furr, na United States Date and Citrus Station, Indio, Califórnia, pertencente ao United States Department of Agriculture - USDA.

³ Híbrido obtido pelo Programa de Melhoramento Genético de Citros da Embrapa Mandioca e Fruticultura, inscrito no Registro Nacional de Cultivares (RNC) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

⁴ Classificação quanto à tolerância à salinidade, conforme critério descrito por Soares Filho et al. (2016): S - Sensível; MS - Moderadamente sensível; MT - Moderadamente tolerante; T - Tolerante.

Nos estudos relacionados à Tabela 4, foram utilizadas águas com diferentes concentrações de sais, variando de doces a salobras, estas com até 4,0 dS m⁻¹. A aplicação dessas águas deu-se na fase de formação do porta-enxerto, com início aos 60 dias após a germinação das sementes, quando se procedeu a seleção das plantas de origem nucelar (exclusão dos indivíduos híbridos ou "machinhos"). As plantas foram mantidas em estresse por 90 dias, ou seja, até os 150 dias após a semeadura, período em que se avaliaram variáveis de crescimento, fisiológicas e bioquímicas.

Na Tabela 4, os genótipos formaram quatro grupos, em conformidade com seu nível de tolerância à salinidade. Foram considerados tolerantes à salinidade o limoeiro 'Cravo Santa Cruz' e os híbridos tangerineira 'Sunki da Flórida' (TSKFL) x citrange C25 (CTC25) - 010, tangerineira 'Sunki' comum (TSKC) x citrumelo 'Swingle' (CTSW) - 031, TSKC x CTSW - 064, limoeiro 'Volkameriano' (LVK) x limoeiro 'Cravo' (LCR) - 038, híbrido trifoliado HTR - 069, limoeiro 'Rugoso da Flórida' (LRF) x (LCR x TR *P. trifoliata*) - 005 e TSKC x (LCR x TR) - 029, que sofreram reduções no crescimento iguais ou inferiores 20%, quando irrigados com águas com salinidade de até 4,0 dS m⁻¹ (Brito, 2007; Brito et al., 2008; Brito, 2010; Brito et al., 2014b; Barbosa et al., 2017).

Como moderadamente tolerantes (Tabela 4), foram identificados a tangerineira 'Sunki BRS Tropical' e os híbridos TSKC x citrange 'Argentina' (CTARG) - 015, TSKC x CTARG - 019, TSKFL x citrange C13 (CTC13) - 005, TSKC x citrange 'Troyer' (CTTR) - 008, TSKC x CTTR - 013, TSKFL x CTTR - 028, TSKC x citrangequat 'Thomasville' (CTQT) 1434 - 001, citrandarin 'Riverside' e citrange 'Troyer'. Nesses genótipos constatou-se redução no crescimento em termos de formação de fitomassa das plantas entre 20% e 40%, em relação ao menor nível de salinidade usado (Brito, 2007; Brito et al., 2008; Brito, 2010; Fernandes et al., 2011; Brito et al., 2014b; Brito et al., 2014a; Sá et al., 2015; Brito et al., 2016).

Os demais genótipos, presentes na Tabela 4, foram considerados sensíveis ou moderadamente sensíveis à salinidade, uma vez que os efeitos desta determinaram reduções

drásticas, superiores a 40%, no crescimento das plantas com uso de águas de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ de condutividade elétrica, além de inibir funções fisiológicas, a exemplo das trocas gasosas, do potencial hídrico foliar e da fluorescência da clorofila, aumentando a perda de calor, fotoquímica e não fotoquímica.

Esses trabalhos ampliaram o rol de porta-enxertos de citros com potencial de tolerância à salinidade, uma vez que o número de genótipos conhecidos com essa característica era relativamente reduzido, resumindo-se a indivíduos como a laranjeira 'Azeda' e a tangerineira 'Cleópatra'. É necessário, todavia, verificar se os porta-enxertos identificados como tolerantes na Tabela 4 mantêm esse comportamento quando enxertados, uma vez que a variedade copa influencia a resposta à tolerância. A esse respeito, Brito (2010) constatou que copas de limeira ácida 'Tahiti' induzem maior sensibilidade à salinidade em comparação com copas de pomeleiro 'Star Ruby'.

Brito (2018) estudou a tolerância à salinidade de 62 porta-enxertos de citros após a enxertia com limeira ácida 'Tahiti', aplicando águas com condutividade elétrica de $0,3$ e de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ em plantas cultivadas em vasos de $3,7 \text{ L}$, preenchido com substrato comercial, com o início da aplicação da água salina aos 180 dias após a semeadura, o que correspondeu a 21 dias após a enxertia, perdurando até os 360 dias após a semeadura, ou seja, 180 dias de estresse. Os porta-enxertos provieram de três progênies, relacionadas a cruzamentos tendo a tangerineira 'Sunki' como parental feminino, a saber: TSKC ou TSKFL x (LCR x TR), TSKFL x TRBK (*P. trifoliata* 'Benecke') e TSKC x CTSW. Como testemunhas foram utilizados os porta-enxertos limoeiro 'Cravo Santa Cruz', híbrido LVK x LCR - 038 (inscrito no RNC/MAPA com a denominação BRS Ary S) e tangerineira 'Sunki BRS Tropical', em razão de sua tolerância à salinidade na fase de formação do porta-enxerto, anterior à enxertia, sendo os dois primeiros tolerantes e a última moderadamente tolerante (Tabela 1). As mudas em formação foram submetidas à irrigação com águas de $0,3$ e $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ de condutividade elétrica, avaliando-se características de crescimento, fisiológicas e bioquímicas.

Na Tabela 5 são apresentados os genótipos avaliados, cujas classificações de tolerância à salinidade foram identificadas pela aplicação do método de rendimento relativo (Soares Filho et al., 2016), que tem por base a formação de fitomassa total das plantas, comparando os resultados obtidos nas plantas irrigadas com águas de $0,3$ e $3,0 \text{ dS m}^{-1}$.

Constatou-se, em todas as progênies, que a maioria dos indivíduos se comportou como moderadamente tolerante a tolerante à salinidade, cabendo destacar, também, que as testemunhas limoeiro 'Cravo Santa Cruz' e LVK x LCR - 038, em combinação com a limeira ácida 'Tahiti', confirmaram sua tolerância à salinidade, enquanto que a tangerineira 'Sunki BRS Tropical' mostrou-se moderadamente sensível. Assim, analisando o cruzamento TSKFL x TRBK, tem-se que todos os indivíduos estudados apresentaram comportamento entre moderadamente tolerante a tolerante à salinidade da água de irrigação, à exceção de TSKFL x TRBK - 041, que se comportou como moderadamente sensível à salinidade de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$. Semelhantemente, os híbridos da progênie TSKC x CTSW foram classificados como moderadamente tolerantes a tolerantes ao estresse salino, sendo TSKC x CTSW - 018 considerado moderadamente suscetível. Deu-se o mesmo com respeito aos híbridos da progênie TSKC/

TSKFL x (LCR x TR), onde somente TSKC x (LCR x TR) - 001 e TSKFL x (LCR x TR) - 059 apresentaram-se como moderadamente sensíveis. Desse modo, considerando que a limeira ácida 'Tahiti' é muito sensível à salinidade (Brito, 2010; Brito et al., 2014b), tem-se que as mencionadas progênies possuem grande potencial de geração de porta-enxertos promissores para condições de estresse salino.

Cabe destacar que, dentre os híbridos que se mostraram tolerantes ou moderadamente tolerantes, alguns, por seu elevado valor agrônomo como porta-enxertos, foram inscritos no RNC-MAPA, a saber: TSKC x (LCR x TR) - 016 (BRS Amaro), 017 (BRS Stuchi), 040 (BRS Tabuleiro) e 059 (BRS Bravo), TSKC x CTSW - 028 (BRS Pompeu) e 041 (BRS Cunha Sobrinho).

É importante reforçar, conforme já mencionado, que o efeito da salinidade em plantas de citros é resultante de uma combinação de fatores (Syvertsen & Garcia-Sanchez, 2014), entre eles o tempo, os tipos e a concentração de sais aos quais os porta-enxertos são expostos, podendo esse comportamento diferir quando o porta-enxerto é avaliado per se e em combinação com uma dada variedade copa. A título de exemplo, os híbridos TSKC x CTSW - 028 e 041 foram considerados moderadamente sensíveis quando expostos à salinidade da água de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ na fase de formação do porta-enxerto (Tabela 4), ao passo que, quando enxertados com limeira ácida Tahiti' (Tabela 5), comportaram-se como tolerantes à salinidade da água de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$, cabendo esclarecer que, neste caso, houve um maior período de exposição ao estresse, que pode ter induzido uma aclimatização à salinidade.

Alguns dos genótipos descritos nas Tabelas 4 e 5, em estudos que envolveram fases de formação do porta-enxerto ou após a enxertia, levaram à identificação de indivíduos promissores, os quais foram estudados durante a fase de prefloração e produção inicial nos dois primeiros anos por Almeida (2019) e Silva (2021). Nesses trabalhos, dez porta-enxertos foram enxertados com a limeira ácida 'Tahiti' e submetidos à irrigação com águas de $0,3$ e $3,0 \text{ dS m}^{-1}$, este último nível de salinidade escolhido por ser uma concentração de sal comum nas águas da região Semiárida da Paraíba, usando um sistema de lisimetria de drenagem. No trabalho de Almeida (2019), onde se estudou o crescimento e aspectos ecofisiológicos de dez porta-enxertos na fase de prefloração e no primeiro ano de produção de frutos, foi identificada maior tolerância à salinidade nas combinações de 'Tahiti' com os híbridos TSKC x (LCR x TR) - 017, TSKFL x (LCR x TR) - 018 e TSKFL x TRBK - 011, em relação aos quais se observou uma maior eficiência instantânea de carboxilação, assim como um maior crescimento em diâmetros de caule e dos frutos sob salinidade. Em sequência ao estudo de Almeida (2019), Silva (2021), considerando os mesmos dez porta-enxertos, focando aspectos de crescimento, fisiológicos e de produção de frutos sob irrigação com águas salinas, propôs uma classificação dos porta-enxertos com base modelos mistos, determinando componentes genéticos, além de análises de componentes principais e de eficiência no uso da água ou de produtividade da água, tendo por base dados de dois anos de cultivo em lisímetro. Silva (2021) verificou que os maiores ganhos genéticos, sendo as plantas irrigadas com águas de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$, foram relacionados aos híbridos TSKC x (LCR x TR) - 017, TSKFL x (LCR x TR) - 018, TSKFL x TRBK - 011, TSKFL x TRBK - 017 e TSKFL x TRBK - 030.

Tabela 5. Classificação, com base no rendimento relativo em formação de fitomassa (RRFST), em estádios jovens de desenvolvimento de planta, da tolerância à salinidade de copas de limeira ácida ‘Tahiti’ [*Citrus ×latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] em combinação com diferentes porta-enxertos obtidos dos cruzamentos TSKC/TSKFL x (LCR x TR), TSKFL x TRBK e TSKC x CTSW, irrigadas com dois níveis de salinidade da água, CEA de 0,3 e 3,0 dS m⁻¹. Adaptado de Brito (2018).

Genótipo ¹	RRFST (%)	Classe ²	Genótipo ¹	RPFST (%)	Classe ²	Genótipo ¹	RPFST (%)	Classe ²
TSKC x (LCR x TR) - 017	0,00	T	TSKFL x TRBK - 028	0,00	T	TSKC x CTSW - 033	0,00	T
TSKC x (LCR x TR) - 020	0,00	T	TSKFL x TRBK - 026	0,00	T	TSKC x CTSW - 028	0,00	T
TSKC x (LCR x TR) - 029	0,00	T	TSKFL x TRBK - 038	0,00	T	TSKC x CTSW - 058	0,00	T
TSKFL x (LCR x TR) - 025	0,00	T	LVK x LCR - 038	0,00	T	LVK x LCR - 038	0,00	T
TSKFL x (LCR x TR) - 062	0,00	T	TSKFL x TRBK - 019	0,00	T	TSKC x CTSW - 017	0,00	T
LVK x LCR - 038	0,00	T	TSKFL x TRBK - 030	4,82	T	TSKC x CTSW - 031	8,45	T
TSKC x (LCR x TR) - 010	4,38	T	TSKFL x TRBK - 043	7,05	T	TSKC x CTSW - 019	9,53	T
TSKFL x (LCR x TR) - 049	11,36	T	TSKFL x TRBK - 053	7,83	T	TSKC x CTSW - 064	10,00	T
LCRSTC	12,88	T	TSKFL x TRBK - 016	8,24	T	LCRSTC	12,88	T
TSKC x (LCR x TR) - 073	13,41	T	TSKFL x TRBK - 056	10,28	T	TSKC x CTSW - 057	13,46	T
TSKFL x (LCR x TR) - 069	15,63	T	TSKFL x TRBK - 039	11,53	T	TSKC x CTSW - 041	17,14	T
TSKFL x (LCR x TR) - 018	15,79	T	LCRSTC	12,88	T	TSKC x CTSW - 053	19,18	T
TSKC x (LCR x TR) - 016	17,38	T	TSKFL x TRBK - 055	14,75	T	TSKC x CTSW - 038	19,50	T
TSKFL x (LCR x TR) - 044	22,89	MT	TSKFL x TRBK - 012	19,93	T	TSKC x CTSW - 022	20,75	MT
TSKC x (LCR x TR) - 040	27,28	MT	TSKFL x TRBK - 029	23,49	MT	TSKC x CTSW - 025	21,34	MT
TSKC x (LCR x TR) - 018	29,89	MT	TSKFL x TRBK - 024	23,84	MT	TSKC x CTSW - 055	23,96	MT
TSKFL x (LCR x TR) - 038	30,06	MT	TSKFL x TRBK - 011	26,23	MT	TSKC x CTSW - 042	25,09	MT
TSKC x (LCR x TR) - 032	31,64	MT	TSKFL x TRBK - 017	26,45	MT	TSKC x CTSW - 047	26,68	MT
TSKFL x (LCR x TR) - 012	36,34	MT	TSKFL x TRBK - 013	33,70	MT	TSKC x CTSW - 006	30,11	MT
TSKC x (LCR x TR) - 059	39,83	MT	TSKFL x TRBK - 058	38,67	MT	TSKC x CTSW - 015	32,09	MT
TSKFL x (LCR x TR) - 059	52,35	MS	TSKFL x TRBK - 041	49,98	MS	TSKC x CTSW - 036	40,88	MS
TSKTR	52,51	MS	TSKTR	52,51	MS	TSKC x CTSW - 018	46,46	MS
TSKC x (LCR x TR) - 001	74,70	S				TSKTR	52,51	MS

TSKC: tangerineira ‘Sunki’ [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka] comum; LCR: limoeiro ‘Cravo’ (*C. ×limonia* Osbeck); TR: *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.; TSKFL: tangerineira ‘Sunki da Flórida’; LVK: limoeiro ‘Volkameriano’ (*C. ×volkameriana* V. Ten. & Pasq.); LCRSTC: limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’; TSKTR: tangerineira ‘Sunki BRS Tropical’; TRBK: *P. trifoliata* ‘Benecke’; CTSW: citrumelo (*C. ×paradis* Macfad. x *P. trifoliata*) ‘Swingle’; ¹Classificação quanto à tolerância à salinidade: S - Sensível; MS - Moderadamente sensível; MT - Moderadamente tolerante e T - Tolerante, conforme critério de rendimento relativo descrito em Soares Filho et al. (2016).

Com base em estudo de Brito (2018), conclui-se que a salinidade afeta negativamente aspectos morfológicos das mudas de citros, especialmente a área foliar e a fitomassa seca. Já as trocas gasosas e a fluorescência da clorofila são minimamente afetadas pelo estresse salino nas combinações copa/porta-enxerto, com ausência de danos nas células e no aparato fotossintético. Presume-se, conforme dito no parágrafo anterior, que esse comportamento seja devido à aclimatização das plantas ao estresse, possivelmente por meio de ajuste osmótico.

É importante esclarecer que as plantas da pesquisa de Brito (2018), por ocasião de sua classificação, encontravam-se ao longo de 180 dias sob estresse salino, sendo cultivadas em substrato comercial com alto teor de matéria orgânica e porosidade, o que permitiu a lixiviação de sais, verificando-se, no substrato, as concentrações de sais presentes na Tabela 6. Com isso, a aplicação de águas com 3,0 dS m⁻¹ proporcionou uma concentração de sais no extrato de saturação de 5,24 dS m⁻¹, obtendo-se uma fração de lixiviação média de 12,9%, com base na expressão de Keller & Bliesner (1990).

Tabela 6. Características químicas do substrato utilizado pelas combinações copa/porta-enxerto de citros, em três experimentos, sob dois níveis de salinidade da água (CE_a) (dS m⁻¹), aos 180 dias após estresse salino. Adaptada de Brito (2018).

CEa (dS m ⁻¹)	pH	C.E. (dS m ⁻¹)	%S	Ca	Mg	K	Na	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	S	RAS
----- cmolc kg ⁻¹ -----													
0,3	4,38	2,66	58,54	6,52	10,97	7,20	12,86	0,00	6,39	17,93	0,42	37,55	6,21
3,0	4,12	5,24	57,25	8,84	13,39	16,42	21,13	0,00	6,27	56,85	0,37	59,78	9,00

Tem-se, assim, que a variabilidade genética, presente em *Citrus* e em gêneros afins, permite a geração de híbridos com potencial de uso como porta-enxertos, em áreas com problemas de sais. Isso acontece, mesmo em plantios tendo a limeira ácida ‘Tahiti’ como variedade copa, considerada sensível à salinidade (Brito, 2010; Brito et al., 2014b). Portanto, é importante ter cuidados no sentido de manter o solo com teores de sais adequados às plantas.

Com base nas informações apresentadas, as variedades porta-enxerto, tolerantes à salinidade, selecionadas durante a fase de formação do porta-enxerto e após a enxertia, são promissoras para estudos em condições de campo, em áreas com problemas leves de salinidade. Tal comentário se baseia no fato de alguns porta-enxertos tolerarem o uso de águas de 3,0 dS m⁻¹ naquelas fases, o que pode aumentar a disponibilidade hídrica para a cultura, uma vez que muitos poços, em especial na região semiárida, possuem níveis de salinidade similares a este. Salientamos, contudo, que estudos envolvendo fases de campo, por maior tempo, devem ser realizados, para que se tenha maior segurança no uso dos porta-enxertos e se tenha o nível de salinidade da água passível de uso, específica para cada condição e combinação copa/porta-enxerto.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De grande importância econômica mundial, nas Américas e no Brasil, os citros são responsáveis pela produção de frutas de grande valor alimentar e social, notadamente em áreas tropicais e subtropicais. Entre as principais espécies cultivadas estão as laranjeiras-doces, as tangerineiras, as limeiras-ácidas, especialmente a 'Tahiti', os limoeiros e os pomeleiros.

A salinidade é limitante à produção de frutas cítricas, sendo observados efeitos de ordem iônica e osmótica nas plantas cultivadas sob esse estresse abiótico, principalmente em regiões de clima árido e semiárido, o que torna importante a seleção de indivíduos tolerantes, particularmente porta-enxertos, assim como o entendimento do comportamento fisiológico das plantas sob salinidade, de modo a garantir a sustentabilidade da citricultura em ambientes onde predominam águas salinas ou salobras e solos salinos e sódicos.

O efeito inicial da salinidade no crescimento das plantas cítricas é o da redução do potencial hídrico, inibindo as trocas gasosas e alterando a atividade fotoquímica, dificultando a divisão e a expansão celulares. A reação a esse estresse varia entre genótipos e fases de desenvolvimento da planta, observando-se em indivíduos tolerantes, que mantêm o crescimento mesmo sob salinidade, a presença de mecanismos que possibilitam a preservação, em níveis adequados, das trocas gasosas e da atividade fotoquímica, dirimindo os efeitos deletérios que se avolumam com a progressão do estresse.

A intensificação do estresse salino ocasiona efeitos de ordem iônica nas plantas cítricas, alterando a homeostase celular e, assim, o balanço de íons e nutrientes, provocando efeitos tóxicos nas folhas, particularmente em razão do acúmulo de cloro, que reduz a eficiência fotoquímica e gera alterações bioquímicas, como a diminuição da concentração de clorofila. Essas respostas à salinidade variam em função do genótipo a ela exposto, podendo-se identificar indivíduos, em especial porta-enxertos, mais tolerantes ao estresse.

A variabilidade genética presente em *Citrus* e em gêneros afins, como *Poncirus*, permite a geração de híbridos, notadamente porta-enxertos, com potencial de tolerância à salinidade, possibilitando o desenvolvimento da citricultura em ambientes onde a água e o solo apresentam problemas de sais leves.

A elevada variabilidade genética, associada à alta heterozigosidade, presente em *Citrus* e em gêneros afins a este, permite a geração, em cruzamentos controlados, de indivíduos bastante distintos com respeito ao seu comportamento fenotípico, a exemplo da reação ao estresse salino, sendo necessária, muitas vezes, a avaliação de grande número de híbridos de forma a permitir a seleção daqueles dotados das características que se deseja explorar. Os resultados altamente positivos obtidos em indivíduos das progênies TSKFL x TRBK, TSKC x CTSW e TSKC/TSKFL x (LCR x TR) devem-se, em grande parte, à utilização da tangerineira 'Sunki' como parental feminino, em razão de: (1) elevado nível de homozigosidade dessa tangerineira (Cornélio et al., 2003; Moraes et al., 2007), implicando em maior previsibilidade de resultados em cruzamentos; (2) baixa taxa de poliembrionia de suas sementes, que permite a geração de elevado número de indivíduos zigóticos; (3) boa capacidade de combinação

com os parentais masculinos utilizados, relativamente à obtenção de indivíduos tolerantes à salinidade.

A seleção de genótipos tolerantes à salinidade deve compreender várias etapas de desenvolvimento da planta e considerar a combinação copa/porta-enxerto, uma vez que a planta cítrica comercial é composta por dois indivíduos, que interagem entre si: a variedade copa e a variedade porta-enxerto. A seleção de genótipos tolerantes à salinidade tem possibilitado a identificação de variedades porta-enxerto que podem viabilizar o cultivo dos citros, em condições com disponibilidade de águas com problemas leves de salinidade. Entretanto, são necessários estudos em campo e a cuidadosa escolha da combinação copa/ porta-enxerto, de modo a possibilitar o aumento da disponibilidade hídrica para a cultura e o uso de áreas passíveis de salinização, desde que se tenha um adequado plano de manejo dos pomares.

LITERATURA CITADA

- Adams, S. N.; Ac-Pangan, W. O.; Rossi, L. Effects of soil salinity on citrus rootstock 'US-942' physiology and anatomy. *HortScience*, v.54, n.5, p.787-792, 2019.
- Alam, A.; Ullah, H.; Attia, A.; Datta, A. Effects of salinity stress on growth, mineral nutrient accumulation and biochemical parameters of seedlings of three citrus rootstocks. *International Journal of Fruit Science*, v.20, n.4, p.786-804, 2020.
- Almeida, J. F. Ecofisiologia de 'Tahiti' em novos porta-enxertos de citros sob salinidade da água. Dissertação (mestrado em Horticultura Tropical), Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, PB. 2019. 58f.
- Ayers, R. S.; Westcot, D. W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPB. Estudos da FAO Irrigação e Drenagem, 29 revisado, 1991. 218p.
- Barbosa, R. C. A.; Brito, M. E. B.; Sá, F. V. S.; Soares Filho, W. S.; Fernandes, P. D.; Silva, L. A. Gas exchange of citrus rootstocks in response to intensity and duration of saline stress. *Semina: Ciências Agrárias*, v.38, n.2, p.725-738. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n2p725>
- Brito, K. S. A. Seleção de híbridos de citros tolerantes ao estresse salino enxertados com limeira ácida 'Tahiti'. Tese (doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande. 2018. 189f.
- Brito, M. E. B.; Brito, K. S. A.; Fernandes, P. D.; Gheyi, H. R.; Suassuna, J. F.; Soares Filho, W. S.; Melo, A. S.; Xavier, D. A. Growth of ungrafted and grafted citrus rootstocks under saline water irrigation. *African Journal of Agricultural Research*, v.9, n.50, p.3600-3609, 2014a.

- Brito, M. E. B.; Fernandes, P. D.; Gheyi, H. R.; Melo, A. S.; Cardoso, J. A. F.; Soares Filho, W. S. Sensibilidade de variedades e híbridos de citrange à salinidade na formação de porta-enxertos. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.3, n.4, p.343-353, 2008.
- Brito, M. E. B.; Fernandes, P. D.; Gheyi, H. R.; Melo, A. S.; Soares Filho, W. S.; Santos, R. T. Sensibilidade à salinidade de híbridos trifoliados e outros porta-enxertos de citros. *Revista Caatinga*, v.27, n.1, p.17-27, 2014b.
- Brito, M. E. B.; Fernandes, P. D.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. dos A.; Soares Filho, W. S.; Suassuna, J. F. Screening of citrus scion-rootstock combinations for tolerance to water salinity during seedling formation. *Acta: Scientiarum-Agronomy*, v.43, p.e48163, 2021.
- Brito, M. E. B. Tolerância de genótipos de citros ao estresse salino. Tese (doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande. 2010. 182f.
- Brito, M. E. B. Tolerância de porta-enxertos de citros à salinidade. Dissertação (mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande. 2007.
- Brito, M. E. B.; Sá, F. V. S.; Soares Filho, W. S.; Silva, L. A.; Fernandes, P. D. Gas exchange and fluorescence of citrus rootstocks varieties under saline stress. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.38, n.2, e-951, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452016951>
- Brito, M. E. B.; Silva, E. C. B. da; Fernandes, P. D.; Soares Filho, W. dos S.; Coelho Filho, M. A.; Sá, F. V. S.; Melo, A. S.; Barbosa, R. C. A. Salt balance in substrate and growth of 'Tahiti' acid lime grafted onto Sunki mandarin hybrids under salinity stress. *Australian Journal of Crop Science*, v.9, n.10, p.954-961, 2015.
- Brito, M. E. B.; Soares, L. A. A.; Fernandes, P. D.; Lima, G. S. de; Sá, F. V. S.; Melo, A. S. de. Comportamento fisiológico de combinações copa/porta-enxerto de citros sob estresse hídrico. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.7, p.857-865 Suplemento, 2012.
- Brito, M. E. B.; Soares, L. A. A.; Soares Filho, W. dos S., Fernandes, P. D.; Silva, E. C. B., Sá, F. V. S.; Silva, L. A. Emergence and morphophysiology of Sunki mandarin and other citrus genotypes seedlings under saline stress. *Spanish Journal of Agricultural Research*, v.16, n. 1, p.e0801, 2018. <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2018161-9400>
- Cimen, B.; Yesiloglu, T. Rootstock breeding for abiotic stress tolerance in citrus. In: Shanker, A.; Shanker, C. *Abiotic and biotic stress in plants: recent advances and future perspectives*, Londres: IntechOpen, 2016. Cap. 10, p.527-563. <https://doi.org/10.5772/62047>

- Cornélio, M. T. M. N.; Figueirôa, A. R. S.; Santos, K. G. B.; Carvalho, R.; Soares Filho, W. S.; Guerra, M. Chromosomal relationships among cultivars of *Citrus reticulata* Blanco, its hybrids and related species. *Plant Systematics and Evolution*, v.240, p.149-161, 2003.
- Demmig-Adams, B.; Garab G, Adams III, W. W.; Govindgee. Non-photochemical quenching and energy dissipation in plants, algae and cyanobacteria. 1ªed. Springer Science+Business Media Dordrecht, 2014. 649p.
- Dias, T. J.; Cavalcante, L. F.; Nunes, J. C.; Freire, J. L. O.; Nascimento, J. A. M. Qualidade física e produção do maracujá amarelo em solo com biofertilizante irrigado com águas salinas. *Semina: Ciências Agrárias*, v.33, p.2905-2918, Suplemento 1. 2012.
- Fernandes, P. D.; Brito, M. E. B.; Gheyi, H. R.; Soares Filho, W. S.; Melo, A. S.; Carneiro, P. T. Crescimento de híbridos e variedades porta-enxerto de citros sob salinidade. *Acta Scientiarum-Agronomy*, v.33, n.2, p.259-267, 2011. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i2.5582>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and Intergovernmental Technical Panel on Soils (ITPS). Status of the World's Soil Resources - Main Report. FAO, Rome. 2015.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Statistical yearbook. FAO, Rome. 2021. <http://www.fao.org/docrep/0S5/i2490e/i2490e00>
- Gardi, C.; Angelini, M.; Barceló, S.; Comerma, J.; Cruz Gaistardo, C.; Encina Rojas, A., Jones, A.; Krasilnikov, P.; Mendonça-Santos, M. L.; Montanarella, L.; Muniz Ugarte, O.; Schad, P.; Vara Rodríguez, M. I.; Vargas, R.; Ravina da Silva, M. Atlas de solos da América Latina e do Caribe, Comissão Europeia – Serviço das Publicações da União Europeia, L-2995 Luxembourg. 2015. 176p.
- Garcia-Sanchez, F.; Carvajal, M.; Cerda, A.; Martinez, V. Response of ‘Star Ruby’ grapefruit on two rootstocks to NaCl salinity. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, v.78, n.6, p.859–865, 2003. <https://doi.org/10.1080/14620316.2003.11511710>
- Hussain, S.; Luro, F.; Costantino, G.; Ollitrault, P.; Morillon, R. Physiological analysis of salt stress behavior of citrus species and genera: low chloride accumulation as an indicator of salt tolerance. *South African Journal of Botany*, v.81, p.103-112, 2012.
- Hussain, S.; Morillon, R.; Anjum, M. A.; Ollitrault, P.; Costantino, G.; Luro, F. Genetic diversity revealed by physiological behavior of citrus genotypes subjected to salt stress. *Acta Physiology Plantarum*, v.37, n.1, p.1740-1750, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1740-4>

- Keller, J.; Bliesner, R. D. Sprinkle and trickle irrigation. New York: Blackburn Press, 1990. 672p.
- Krause, G. H.; Weis, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. Annual review of plant biology, v.42, p.313-349, 1991.
- Maas, E. V. Salinity and citriculture. Tree Physiology, v.12, p.195-216, 1993.
- Mattos Júnior, D.; Negri, J. D.; Pio, R. S.; Pompeu Junior, J. Citros: principais informações e recomendações de cultivo. Boletim técnico 200 (IAC), Instituto Agronômico de Campinas. 2005. <http://www.centrodecitricultura.br>.
- Moraes, A. P.; Lemos, R. R.; Brasileiro-Vidal, A. C.; Soares Filho, W. S.; Guerra, M. Chromosomal markers distinguish hybrids and non-hybrid accessions of mandarin. Cytogenet Genome Research, v.119, p.275-281, 2007. <https://doi.org/10.1159/000112074>
- Murkute, A. A.; Sharma, S.; Singh, S. K. Citrus in terms of soil and water salinity: a review. Journal of Scientific and Industrial Research, v.64, n.6, p.393-402, 2005.
- Paudel, I.; Bar-Tal, A.; Raveh, E.; Bernstein, N.; Cohen, S. Tolerance of citrus rootstocks to poor water quality is improved by root zone aeration via selective uptake of ions, higher photosynthesis and carbon storage. Scientia Horticulturae, v.251, p.9-19, 2019.
- Rebequi, A. M.; Cavalcante, L. F.; Nunes, J. C.; Diniz, A. A.; Brehm, M. A. D. S.; Beckmann-Cavalcante, M. Z. Produção de mudas de limão Cravo em substrato com biofertilizante bovino irrigado com águas salinas. Revista de Ciências Agrárias, v.32, n.2, p.219-228, 2009.
- Ribeiro, M. S. S.; Brito, M. E. B.; Lacerda, C. F.; Silva, L. A.; Soares Filho, W. dos S.; Neves, A. L. R.; Araújo, I. C. S.; Gadelha, C. G. Toxicity indicators and biochemical responses in leaves of 'Tahiti' acid lime grafted on ten citrus rootstocks under salt stress. Theoretical and Experimental Plant Physiology, v.21, n.1, 2021. <https://doi.org/10.1007/s40626-021-00226-w>
- Ruban, A. V. Non-photochemical chlorophyll fluorescence quenching: mechanism and effectiveness in protecting plants from photodamage. Plant Physiology, v.170, n.4, p.1903-1916, 2016. <https://doi.org/10.1104/pp.15.01935>
- Ruban, A. The photosynthetic membrane: molecular mechanisms and biophysics of light harvesting. Wiley-Blackwell, Chichester. 2013. 302p.
- Sá, F. V. S.; Brito, M. E. B.; Silva, L. A.; Moreira, C. L.; Fernandes, P. D.; Figueiredo, L. C. Physiology of perception of saline stress in 'Common Sunki' mandarin hybrids under saline hydroponic solution. Comunicata Scientiae, v.6, n.4, p.463-470, 2015.

- Sá, F. V. S.; Brito, M. E. B.; Figueiredo, L. C. de; Melo, A. S. de; Silva, L. de A.; Moreira, R. C. L. Biochemical components and dry matter of lemon and mandarin hybrids under salt stress. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.21, n.4, p.249-253, 2017.
- Silva, L. A. Tolerância ao estresse salino e eficiência biofísica da água em combinações da limeira-ácida ‘Tahiti’ com diferentes porta-enxertos. Tese (doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande. 2021. 131f.
- Silva, T. A. da; Brito, M. E. B.; Conceição, I. H. da; Nunes, E. D. S.; Souza, D. S.; Oliveira, G. M. Photochemical quenching is indicative of ionic stress on ‘Tahiti’ acid lime grafted on citrus genotypes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 25, n.6, p.409-414, 2021.
- Silva, L. A.; Brito, M. E. B.; Sá, F. V. da S; Moreira, R. C. L.; Soares Filho, W. dos S.; Fernandes, P. D. Mecanismos fisiológicos em híbridos de citros sob estresse salino em cultivo hidropônico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.1-17, Suplemento, 2014.
- Simpson, C. R.; Nelson, S. D.; Melgar, J. C.; Jifon, J.; King, S. R.; Schuster, G.; Volder, A. Growth response of grafted and ungrafted citrus trees to saline irrigation. *Scientia Horticulturae*, v. 169, p.199-205, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.02.020>
- Singh, A.; Saini, M. L.; Behl, R. K. Screening of citrus rootstocks for salt tolerance in semi-arid climates: a review. *Tropics*, v.13, n.1, p.53-66, 2003. <https://doi.org/10.3759/tropics.13.53>
- Soares, T. M.; Duarte, S. N.; Graf, C. C. D.; Zanetti, M.; Zocchi, S. S. Irrigação de porta-enxertos cítricos com águas salinas. *Irriga*, v.11, n.3, p.428-440, 2006.
- Soares Filho, W. S.; Gheyi, H. R.; Brito, M. E. B.; Nobre, R. G.; Fernandes, P. D.; Miranda, R. S. Melhoramento genético e seleção de cultivares tolerantes à salinidade. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. 2.ed. Fortaleza: INCT Sal, 2016. Cap. 17, p.259-274.
- Storey, R. Salt tolerance, ion relations and the effect of root medium on the response of citrus to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology*, v.22, n.1, p.101-114, 1995.
- Storey, R.; Walker, R. R. Citrus and salinity. *Scientia Horticulturae*, v.78, p39-81, 1999.
- Syvertsen, A. J. P.; Garcia-Sanchez, F. Multiple abiotic stresses occurring with salinity stress in citrus. *Environmental and Experimental Botany*, v.103, p.128-137, 2014.

Taiz, L.; Zeiger, E.; Møller, I. M.; Murphy, A. Fisiologia vegetal e desenvolvimento. 6.ed. Porto Alegre: Artimed, 2016. 888p.

Walker, R. R.; Blackmorg, D. H.; Qing, S. Carbon dioxide assimilation and foliar ion concentrations in leaves of lemon (*Citrus limon* L.) trees irrigated with NaCl or Na₂SO₄. Australian Journal of Plant Physiology, v.20, n.1, p.85-173, 1993.

DWARF GREEN COCONUT

Miguel Ferreira-Neto^{1}, José Simplicio de Holanda², Hans Raj Gheyi³, Francisco José Loureiro Marinho⁴, Elton Camelo Marques⁵, Pedro Dantas Fernandes³, Claudivan Feitosa de Lacerda⁶, Jorge Freire da Silva Ferreira⁷, Breno Leonan de Carvalho Lima⁸, Francisco Vanies da Silva Sá⁹*

ABSTRACT: The coconut palm is a salt-tolerant crop, with economic importance worldwide. However, the degree of salt tolerance of coconut palms varies among cultivars and between the juvenile and adult stages. In this chapter, we focused on studies that investigated the viability of using saline water in coconut irrigated at different stages of crop development, contextualizing its importance and tolerance based on the degree of soil and irrigation-water salinity. Thus, we present the effects of salinity on germination and seedling establishment, including stages of stress recovery and stress induction in the post-seedling stages. The impacts of salinity on initial fruit production

¹ Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFRSA, Mossoró, RN, Brasil

² EMBRAPA/EMPARN, Natal, RN, Brasil

³ Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande, PB, Brasil

⁴ Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, Lagoa Seca, PB, Brasil

⁵ Secretaria de Educação do Estado do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil

⁶ Universidade Federal do Ceará - UFC, Fortaleza, CE, Brasil

⁷ Agricultural Water Efficiency and Salinity Research Unit (US Salinity Laboratory/USDA, Riverside-CA, USA)

⁸ Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Recife, PE, Brasil

⁹ Universidade Estadual da Paraíba - UFCG, Campina Grande-PB, Brasil

* Corresponding author: miguel@ufersa.edu.br

are also presented and discussed. The tolerance and adaptation mechanisms are discussed at the end of this chapter, concluding that a water salinity of 20 dS m⁻¹ in the germination phase can be tolerated, but the electrical conductivity of the water of 10.0 dS m⁻¹ may cause reductions of more than 35% in seedling growth (biomass production). The overall evaluation of the data indicates that coconut is a salt-tolerant crop. Water with a salinity of up to 5.0 dS m⁻¹ can be used in all phases of plant development (germination, seedling establishment, and fruit production), with little or no harmful effect. Eventually, waters with salinity of up to 10 dS m⁻¹ can be used for the irrigation of adult coconut plants in sandy soils. It should be noted that the use of brackish water in irrigation must be associated with management practices that prevent soil degradation by salts and that guarantee the sustainability of production in the long term.

Key words: *Cocos nucifera* L.; seedling establishment; fruit production; brackish water; salt tolerance.

COQUEIRO ANÃO VERDE

RESUMO: O coqueiro é uma cultura de importância econômica, com elevado grau de tolerância à salinidade. No entanto, seu grau de tolerância à salinidade é variável entre cultivares e nas fases de juvenil e adulta. Assim, reunimos estudos que investigaram a viabilidade do uso de águas salinas na irrigação do coqueiro nos diferentes estágios de desenvolvimento da cultura, contextualizando sua importância e tolerância em função do grau de salinidade ambiente. Esse capítulo apresenta os efeitos da salinidade na germinação e estabelecimento da plântula, incluindo etapas de recuperação do estresse e indução do estresse em fase posterior à formação da muda. Também são apresentados e discutidos os impactos da salinidade na produção inicial de frutos. Os mecanismos de tolerância e adaptação são discutidos no final desse capítulo, concluindo-se que, a água de salinidade de 20 dS m⁻¹ na fase de germinação pode ser tolerado, porém, a condutividade elétrica da água de 10,0 dS m⁻¹, pode acarretar reduções superiores a 35% no crescimento da plântula (produção de biomassa). A avaliação geral dos dados indica que o coco é uma cultura tolerante à salinidade. Águas com salinidade de até 5,0 dS m⁻¹ podem ser utilizadas em todas as fases de desenvolvimento da planta (germinação, estabelecimento da plântula e produção de frutos), com pouco ou nenhum efeito nocivo. Eventualmente, águas com salinidade de até 10 dS m⁻¹ podem ser utilizadas na irrigação de plantas adultas de coqueiro, em solos arenosos. Ressalte-se que o uso das águas salobras na irrigação deve ser associado a práticas de manejo que previnam a degradação do solo pelos sais e que garantam a sustentabilidade da produção no longo prazo.

Palavras-chave: *Cocos nucifera* L.; estabelecimento de mudas; produção de frutos; água salobra; tolerância à salinidade.

1 INTRODUCTION

Coconut palm (*Cocos nucifera* L.) is an important tropical fruit crop cultivated in more than 90 countries, whether for in natura fruit consumption or for industrial purposes (FAO, 2018). Brazil is the fourth largest producer of coconut in the world, accounting for about 5% of total production, and the largest producer of green coconuts for coconut water consumption, with emphasis on the Northeast of Brazil, which accounts for 82% of the national production, in an area of approximately 152.000 ha (IBGE, 2021). Although the climate of this region is favorable for coconut palm cultivation, rainfall irregularity is a limiting factor for the expansion of the crop, which is therefore dependent on irrigation.

Agriculture is the major consumer of water in the world, and the use of water of marginal quality, including saline water, has been adopted to increase the availability of good quality water for other purposes (Gupta & Gupta, 2015). Irrigation with saline water is a challenge that is being overcome in several regions of the world with the use of tolerant crop species and appropriate management of crops, soil, and water (Assouline et al., 2015; Silber et al., 2015).

Irrigation with saline water has adverse effects on soil and plants, severely restricting the normal physiological activity and productive capacity of the crops (Assouline et al., 2015; Kim et al., 2016). Under high salinity, plant growth, leaf surface expansion, and primary carbon metabolism of many plant species are negatively affected due to osmotic effects, water deficit, nutritional imbalance, and specific ion toxicities. In addition to the effects on growth and water relations, salinity also causes structural changes, which vary with plant species and type of salinity (Munns & Tester, 2008; Acosta-Motos et al., 2017).

Studies to identify the crop tolerance to salinity are very important and the coconut palm should be included in this approach. The coconut palm is considered a salt-tolerant crop probably because of its natural occurrence in coastal areas. Soils used for coconut cultivation in coastal areas of Brazil are sandy and deep. Thus, excess salts from saline waters used to irrigate the crop can be leached during the rainy season, decreasing their effects on plants and soil. Maas & Grattan (1999) and Grieve et al. (2012) considered coconut palms as moderately tolerant to salinity, based on preliminary studies carried out by Kulkarni et al. (1973) on groundwater quality in coconut growth and yield. However, they did not mention the cultivar, a factor currently known to directly affect the salt tolerance of any crop. In recent years, some studies have been carried out to evaluate the effect of salinity on coconut palm (Lima et al., 2017; Silva et al., 2016), but none of them have evaluated irrigation with saline water at different stages of development, especially at the fruit production stage.

Considering the potential for expansion of the coconut crop and the scarcity of good quality water in the Northeast of Brazil, this chapter shows the effect of saline water in the irrigation of Dwarf Green coconut, at different development stages.

2 GERMINATION AND SEEDLING ESTABLISHMENT OF COCONUT PALM UNDER SALT STRESS

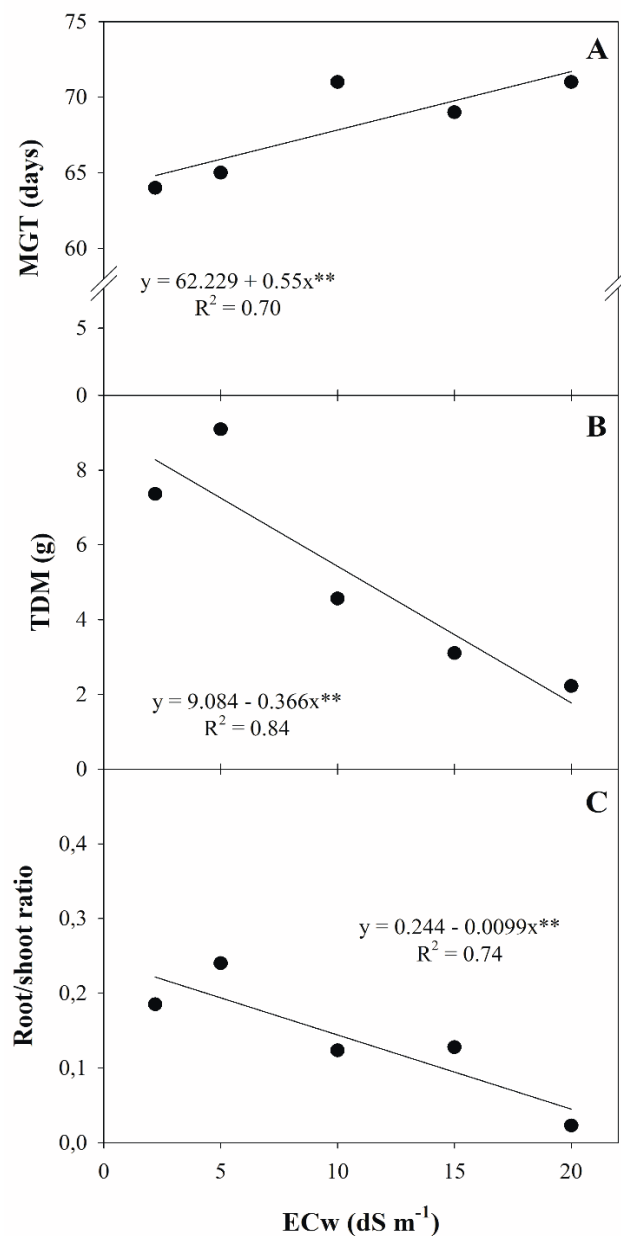
The germination and establishment of the plant both play fundamental roles in the success of agricultural enterprises, notably under saline stress conditions. Salinity stress can be defined as the salinity, after the threshold salinity, under which the crop yield is reduced significantly when compared to a control treatment, even if visual signs of salinity toxicity are not evident. In the case of fruit crops, the reduction may be evaluated according to the number and/or size of the fruits. Marinho et al. (2005a) performed two experiments to evaluate the effects of salinity on germination (Experiment I) and on growth and survival (Experiment II) of coconut seedlings irrigated with waters of increasing salinities. In the first study, the effects of five irrigation-water salinities were evaluated at the germination stage, in a completely randomized design (CRD) with four replicates of four seedlings each, totaling 80 experimental units (Marinho et al., 2005a). Ten seeds of Dwarf Green coconut were sown in a vertical position with two-thirds buried into the substrate contained by masonry plots filled with sandy soil, measuring 0.5m W × 1.0m L × 0.25 m D, and with a 5% slope to facilitate drainage. The treatments included irrigation with water of electrical conductivity (EC_w) of 2.2, 5.0, 10.0, 15.0, and 20.0 dS m⁻¹. These salinity levels were obtained by dissolving NaCl in well water (EC_w = 2.2 dS m⁻¹). The irrigation was manually performed three times a day, with a depth corresponding to 5 mm day⁻¹. The number of germinated seeds was counted daily; a seed was considered germinated when the shoot emerged. The mean germination time (MGT) and the germination percentage (GP) was calculated at 120 days after sowing (DAS). At this time, four seedlings from each plot were harvested and separated into shoots and roots. After drying in a forced air oven at 60 °C for 72 h, the total dry mass (TDM) and root/shoot ratio were determined.

The results showed that the GP was not affected by the EC_w ($p > 0.05$), and that GP values were higher than 80% in all treatments. On the other hand, MGT increased from 63.4 days to 73.2 days ($p < 0.01$) when the EC_w increased from 2.2 to 20.0 dS m⁻¹ (Figure 1A). Salinity increase had an inverse linear relation to TDM and to root/shoot ratio of coconut seedlings at 120 DAS ($p < 0.01$). There was a decrease of 4.03 and 4.05% in TDM and root/shoot ratio, respectively, per unit increase of EC_w (Figure 1B and Figure 1C). At 120 DAS, the TDM of seedlings at 20.0 dS m⁻¹ was equivalent to 21.38% of the TDM at 2.2 dS m⁻¹ (Figure 1B). Also, at low salinity (2.2 dS m⁻¹), the root mass was equivalent to 22.17% of the shoot mass, while this percentage decreased to only 4.50% in seedlings irrigated with water of 20.0 dS m⁻¹ (Figure 1C).

In a second study, Marinho et al. (2005a) evaluated the growth of coconut seedlings germinated under irrigation with water of different EC_w. Plants were subjected to irrigation with low salinity water (EC_w = 2.2 dS m⁻¹) for 120 days (Marinho et al., 2005a). The experimental design was a CRD with four replicates of four seedlings each, totaling 80 experimental units. Four 120-day-old coconut seedlings from each masonry plot (0.5m W × 1.0m L × 0.25m D) were transplanted into individual polyethylene bags (0.55 m × 0.45 m)

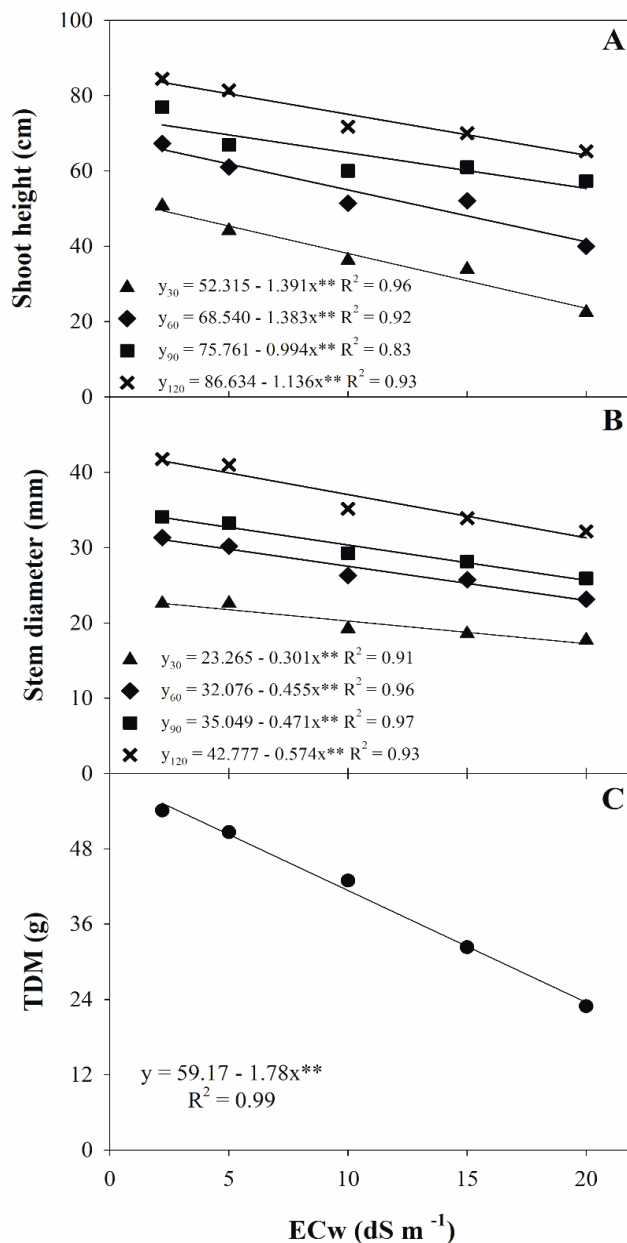
filled with sandy loam soil, washed sand, and humus (1:1:1 volume ratio). The application of fertilizers followed the recommendation of Sobral & Nogueira (2008). Irrigation was performed manually twice a day, early morning, and late afternoon, with a depth corresponding to 7 mm day⁻¹, including rainfall events. At 30-day intervals, the survival rate (number of seedlings with at least one leaf), shoot height, and stem diameter were evaluated. The seedlings were harvested at 120 days after transplanting (DAT; 240 DAS) and their TDM was determined after drying material in a forced air oven at 60 °C, for 72 h.

Figure 1. Mean germination time - MGT (A), total dry mass - TDM (B), and root/shoot ratio (C) at 120 days after sowing of coconut as a function of the electrical conductivity of irrigation water (ECw). Source (Marinho et. al., 2005a).



The survival rate of coconut seedlings at 120 DAT was 100% in all treatments. However, the irrigation-water salinity to which seedlings were exposed at the germination stage (Experiment I) continued to affect their growth significantly, even after 120 days of irrigation with low salinity water (Figure 2).

Figure 2. Mean shoot height (A) and stem diameter (B) at 30, 60, 90, and 120 days after transplanting and total dry mass (C) at 120 days after transplanting of coconut seedlings irrigated with low salinity water (residual effect). Source (Marinho et. al., 2005a).



At all times, the shoot height of coconut seedlings was reduced due to increased irrigation-water salinity during the germination stage. Thirty days after transplanting, there was

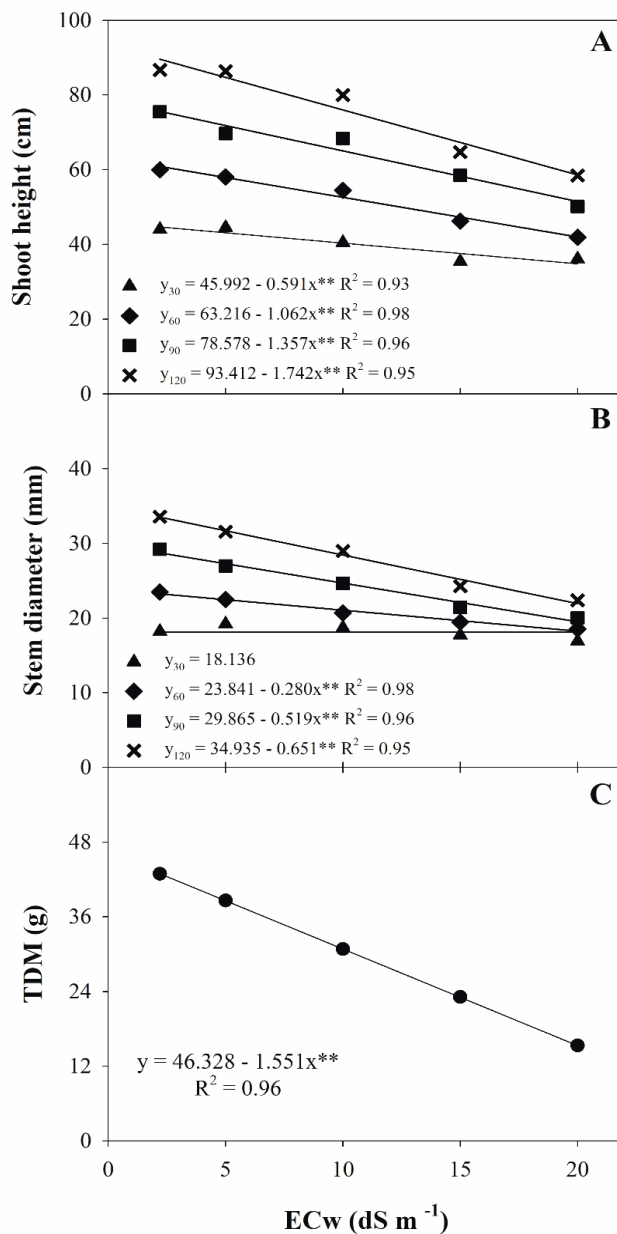
a 2.66% reduction in seedling shoot height per unit increase of EC_w , while this reduction corresponded to 2.02, 1.31, and 1.31% at 60, 90, and 120 DAT, respectively (Figure 2A). The stem diameter of coconut seedlings also decreased linearly with increasing irrigation-water salinity applied at the germination stage; there were reductions of 1.29, 1.42, 1.34 and 1.34% per unit increase of EC_w at 30, 60, 90 and 120 DAT, respectively, in seedling stem diameter (Figure 2B). The TDM of coconut seedlings at 120 DAT also decreased linearly with increasing irrigation-water salinity applied at the germination stage. The TDM decreased by 3.01% per unit increase of EC_w with an average TDM reduction of 57.3% at 20.0 dS m^{-1} compared to 2.2 dS m^{-1} (Figure 2C). This TDM reduction above 50% indicates that EC_w of 20 dS m^{-1} can be a good salinity level to screen coconut cultivars for salinity tolerance. It also indicates that the seedlings were absorbing less water (and mineral fertilizers) at each increased salinity level. As an example, consider that the salinity of 20 dS m^{-1} caused a 50% TDM loss and the water requirement at that salinity was reduced by 30%. In this case, a 20% decrease in water application under the $EC_w = 20.0 \text{ dS m}^{-1}$ would not cause water stress to the seedlings (Ferreira et al., 2024).

3 MORPHOPHYSIOLOGICAL CHANGES IN COCONUT SEEDLINGS UNDER SALINE STRESS AFTER GERMINATION USING LOW SALINITY WATER

Often salinity problems appear only when the seedlings are transplanted to the field, with no salinity problems in the nurseries during germination and seedling production. In this context, Marinho et al. (2005b) conducted another study to assess the growth of coconut seedlings that had germinated under irrigation with low salinity water ($EC_w = 2.2 \text{ dS m}^{-1}$) and were then subjected to irrigation with water of increasing salinities, for 120 days. The experimental design was a CRD with four replicates of six seedlings each, totaling 120 experimental units. The sowing and irrigation conditions during germination were similar to those described in Experiment I (Marinho et al., 2005a). At 120 DAS, the seedlings were transplanted into polyethylene bags ($0.55 \text{ m} \times 0.45 \text{ m}$) and then irrigated with saline water (EC_w of 2.2, 5.0, 10.0, 15.0, and 20.0 dS m^{-1}). The substrate, application of fertilizers, preparation of saline waters, and irrigation were as previously described for Experiment I. At 30-day intervals, the survival rate, the shoot height, and the stem diameter were evaluated. The seedlings were harvested at 120 DAT (240 DAS), and their TDM was determined after drying plant samples in a forced-air oven at $60 \text{ }^\circ\text{C}$ for 72 h.

The results showed that the survival rate of coconut seedlings was 100% in all treatments, as in Experiment II. The analysis of variance indicated a significant effect of irrigation-water salinity on seedling shoot height. There was a negative and linear effect on this variable, with a reduction of 1.29, 1.68, 1.73, and 1.86% per unit increase of EC_w at 30, 60, 90, and 120 DAT, respectively (Figure 3A).

Figure 3. Mean shoot height (A) and stem diameter (B) at 30, 60, 90, and 120 days after transplanting and total dry mass (C) at 120 days after transplanting of coconut seedlings irrigated with salinity water (after germination using low salinity water). Source (Marinho et al., 2005a).



At 30 DAT, the salinity of the irrigation water did not affect ($p > 0,05$) the stem diameter of coconut seedlings. With time, the salt effects intensified; there were reductions of 1.17, 1.74, and 1.86% per unit increase of ECw in stem diameter at 60, 90, and 120 DAT, respectively (Figure 3B). The TDM of coconut seedlings was reduced by 3.35% per unit increase of EC_w at 120 DAT (Figure 3C). Irrigation with high salinity water, such of 10.0 dS m⁻¹, still

produced more than 70% of the seedling dry mass of plants irrigated with low salinity water (2.2 dS m^{-1}) (Figure 3C).

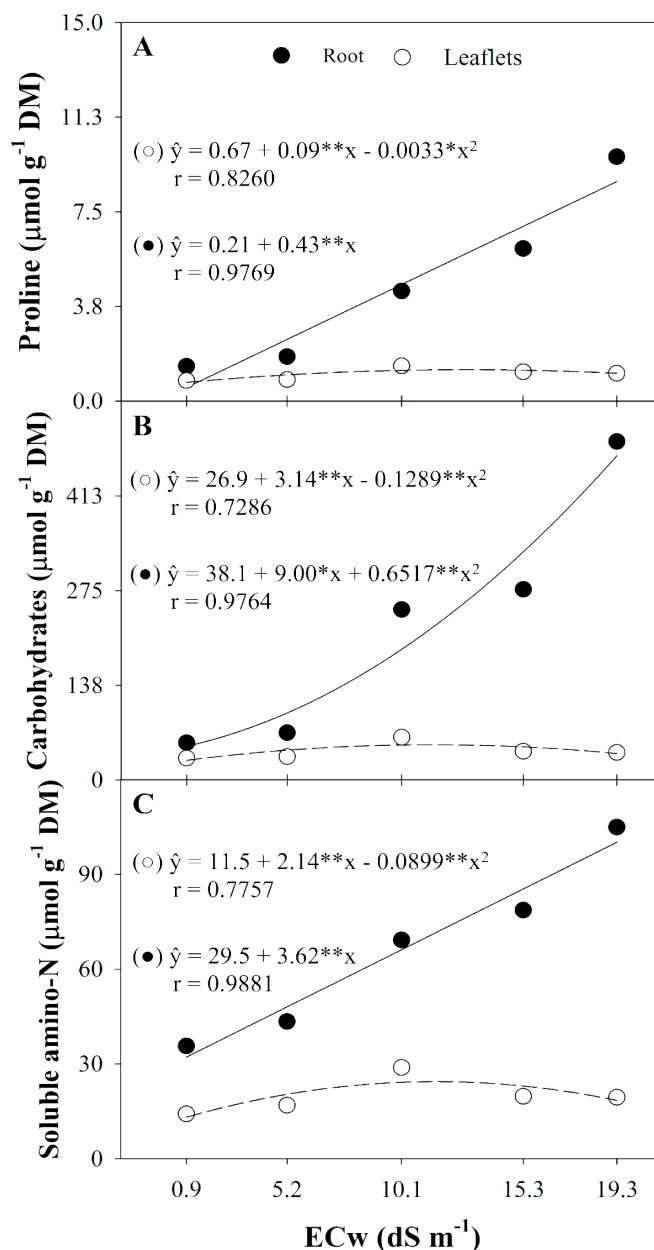
Along the same line, Lima et al. (2017) carried out another study under the greenhouse at the Center of Teaching and Research of Urban Agriculture of Federal University of Ceará - NEPAU/CCA/UFC, Fortaleza, Ceará, Brazil. This study evaluated the effects of irrigation-water salinity on the physiological and biochemical responses for 120 days in seedlings of the Dwarf Green coconut. The adopted experimental design was a CRD with four replications, each consisting of four plants (one per pot), totaling 80 pots. The treatments consisted of five levels of irrigation-water salinity, which were expressed by the electrical conductivity of the water (EC_w): 0.9 (control treatment), 5.2, 10.1, 15.3, and 19.3 dS m^{-1} . The seedlings were placed in a vertical position in flexible pots with a capacity of 25 L. The saline waters were prepared by dissolving salts of sodium chloride (NaCl), calcium chloride ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), and magnesium chloride ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) in the equivalent proportion 7:2:1 of Na:Ca:Mg, respectively, using the water from the urban supply network ($\text{EC}_w = 0.9 \text{ dS m}^{-1}$). Irrigation with saline waters started when the seedlings were four months old (120 DAS) with three live leaves and a height of 56 cm. At this stage, the applied depth was 7 mm day^{-1} . Plants were fertilized following the recommendations of Fontes et al. (1998), with top-dressing applications until the 4th month, and monthly applications of 10 g of single superphosphate, 3.3 g of urea, and 1.6 g of potassium chloride per plant.

After 120 days of irrigation with saline water, two plants of each treatment were collected to determine the dry mass of the seedlings. The extracts for determination of organic solutes were obtained according to Oliveira et al. (2013). The concentrations of proline were determined following the method of Bates et al. (1973), the concentrations of soluble amino-N according to Yemm et al. (1955), and the concentrations of carbohydrates through the method of DuBois et al. (1956). Additionally, salt tolerance was determined based on the methodology described by Soares-Filho et al. (2016), using data from dry biomass production considering its percent reductions under different saline treatments related to the control: tolerant (reduction of 0-20%), moderately tolerant (20-40%), moderately sensitive (40-60%), and sensitive (reduction above 60%).

The salinity of the irrigation water increased ($p < 0.05$) the concentrations of organic solutes in the roots of Dwarf Green coconut seedlings. However, the concentrations of organic solutes in leaflets showed a quadratic effect with the increase of saline stress (Figure 4).

The relative reductions in the biomass of coconut seedlings irrigated with saline water indicate that the seedlings, in general, were tolerant and moderately tolerant at the levels of 5.2 and 10.1 dS m^{-1} , respectively. Shoot dry mass and TDM results indicated that the Dwarf Green coconut is moderately sensitive to sensitive to irrigation-water salinities of 15.3 and 19.3 dS m^{-1} , respectively. For these salinity levels, the reductions in root dry mass indicated that the roots were tolerant to moderately tolerant to salinity with the leaves being approximately two-fold more affected by salinity than the roots from 10 to 19 dS m^{-1} (Table 1).

Figure 4. Concentrations of proline (A), soluble carbohydrates (B), and soluble amino-N (C) in Dwarf Green coconut seedlings at 120 days after treatment as a function of irrigation water salinity. Source (Lima et al., 2017).



In a study evaluating the accumulation of ions in ‘Jiqui do Brasil Green Dwarf’ coconut seedlings grown for 121 days in soils with electrical conductivity of 1.7, 6.2, 25.8, and 40.7 dS m^{-1} , the authors (Silva et al., 2018) reported that roots had a significant decrease in K with increased salinity, although they always had above the critical level of 8 g kg^{-1} of dry matter. However, leaves had a significant increase in Na, ranging from 6.64 (at $\text{ECe} = 1.7 \text{ dS m}^{-1}$) to 9.10 g kg^{-1} (a 1.4-fold increase) at the soil salinity of 40.7 dS m^{-1} , while roots ranged from 12.65 to 16.8 g kg^{-1} of Na (a 1.3-fold increase) at the same range of soil salinity. However, the

average Cl leaf concentration ranged from 5.19 to 32.54 g kg⁻¹ (a 6.4-fold increase) between 1.7 and 40.7 dS m⁻¹ soil salinity, while the average root Cl ranged from 12 to 37.3 g kg⁻¹ (a 3-fold increase) for the same extremes of soil salinity. These values indicate that the Dwarf Green coconut has a fairly good mechanism to control Na accumulation in its roots and the transport of Na ions from roots to leaves but is not as effective in controlling the accumulation of Cl in roots or the transport of Cl ions to the shoots. Thus, the significant increase of Cl in the roots would explain the significant increase in proline, carbohydrates, and amino-N reported in Figure 4 but does not explain why these parameters did not increase in the leaves, which accumulate two-fold more Cl than roots in this cultivar.

Table 1. Percent reduction of biomass production, mean photosynthetic rate (A_{mean}), and salt tolerance classification for coconut seedlings (120 days old) irrigated with saline water for 120 days (Source: Lima et al. (2017))

Variables	Percent reduction (%) compared to water salinity of 0.9 dS m ⁻¹			
	5.2 dS m ⁻¹	10.1 dS m ⁻¹	15.3 dS m ⁻¹	19.3 dS m ⁻¹
RDM	12.27 ^T	15.88 ^T	21.56 ^{MT}	29.74 ^{MT}
SDM	15.45 ^T	33.02 ^{MT}	51.75 ^{MS}	66.12 ^S
TDM	14.69 ^T	31.43 ^{MT}	49.19 ^{MS}	62.85 ^S
A_{mean}	20.57 ^{MT}	39.49 ^{MT}	54.32 ^{MS}	62.04 ^S

T, MT, MS, and S - Tolerant, moderately tolerant, moderately sensitive, and sensitive, respectively; RDM - Root dry mass; SDM - Shoot dry mass; TDM - Total dry mass.

4 VIABILITY OF THE USE OF SALINE WATER IRRIGATION IN THE INITIAL STAGE OF FRUIT PRODUCTION OF DWARF GREEN COCONUT

Because coconut is a long-life perennial crop, studies with adult coconut plants to assess the effects of salt stress on fruit production are scarce. In this context, a study was performed to evaluate fruit production components of 3.5-year-old Dwarf Green coconut plants and soil properties under irrigation with water of different salinities for 19 months (Ferreira Neto et al., 2002; Marinho et al., 2006). The soil of the experimental area was sandy (956 g of sand kg⁻¹), with a low water-retention capacity (10 kPa = 50 g kg⁻¹), low cation-exchange capacity (1.74 cmol_c kg⁻¹), 16.4 mg kg⁻¹ of P, pH 5.9, and an electrical conductivity of the soil saturation extract (ECe) equal to 0.3 dS m⁻¹.

Treatments consisted of irrigation with water of four salinity levels: 0.1, 5.0, 10.0, and 15.0 dS m⁻¹. The saline waters with 5.0, 10.0, and 15.0 dS m⁻¹ of EC_w were prepared adding commercial NaCl in the water of lower salinity (0.1 dS m⁻¹). The experiment was conducted in a completely randomized block design, with five replicates of four plants each, totaling 80 experimental units. A microsprinkler system was used for irrigation with 120 L of water applied per day to each plant (Miranda et al., 1999). Crop management practices, such as fertilization, pest control, and removal of dry leaves followed the recommendations of Sobral & Nogueira (2008).

As the production of the Dwarf Green coconut is intended for the consumption of coconut water, the fruits were harvested green, approximately 6 months after the anthesis (opening) of inflorescence, and the number of fruits per plant was recorded. The interval between the appearance of an inflorescence and the next one, from the 4th to the 20th inflorescence, and the number of female flowers per inflorescence were also determined.

Among the coconuts harvested for each replicate, two fruits were randomly selected to determine their mass and the volume of coconut water. Also, the soluble solids concentration (°Brix) of the coconut water was measured by the method of the Adolfo Lutz Institute (IAL, 1985).

Soil samples of the 0-20, 20-40, 40-60, and 60-80 cm layers were collected and analyzed for sodium adsorption ratio (SAR) and ECe at the beginning of the experiment, as well as at 12 and 24 months later.

Salinity of irrigation water increased ($p < 0.05$) the time between flower anthesis in the 7th-8th, 8th-9th, 9th-10th, 11th-12th, 14th-15th, and 15th-16th intervals (Figure 5). In all of them, irrigation with water of 15 dS m⁻¹ resulted in a higher difference in anthesis time related to the control treatment ($EC_w = 0.1$ dS m⁻¹), increasing by 21.59, 25.83, and 38.53% on average the time between flower anthesis in the 7th-10th, 11th-12th and 14th-16th intervals, respectively (Figure 5). The number of female flowers per inflorescence increased according to salinity from the 5th to the 11th inflorescence emitted after the beginning of the experiment, and there was no significant ($p > 0.05$) difference among saline treatments (Figure 6).

Figure 5. Interval of flowering in coconut palm in the first 19 months of fruit production irrigated with saline waters. Source: Marinho et al. (2006).

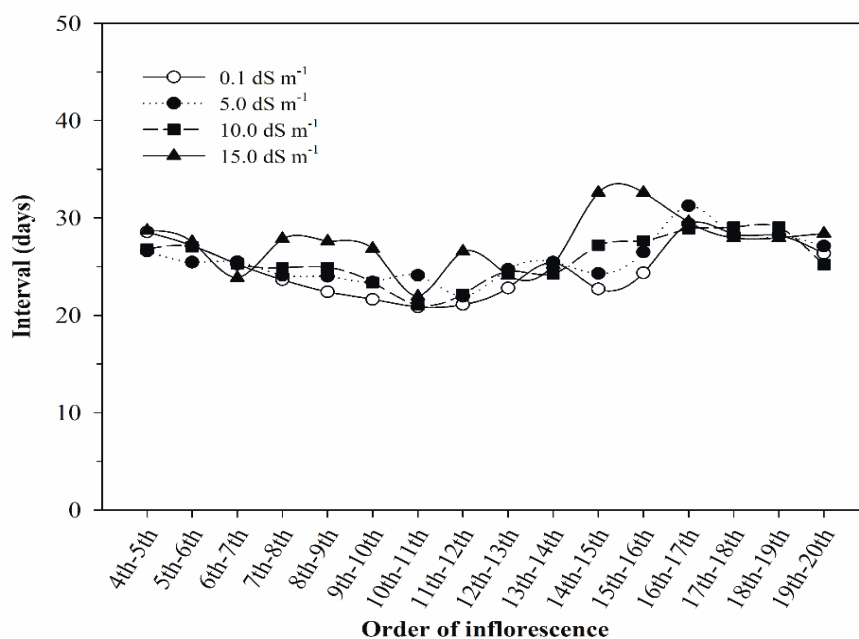
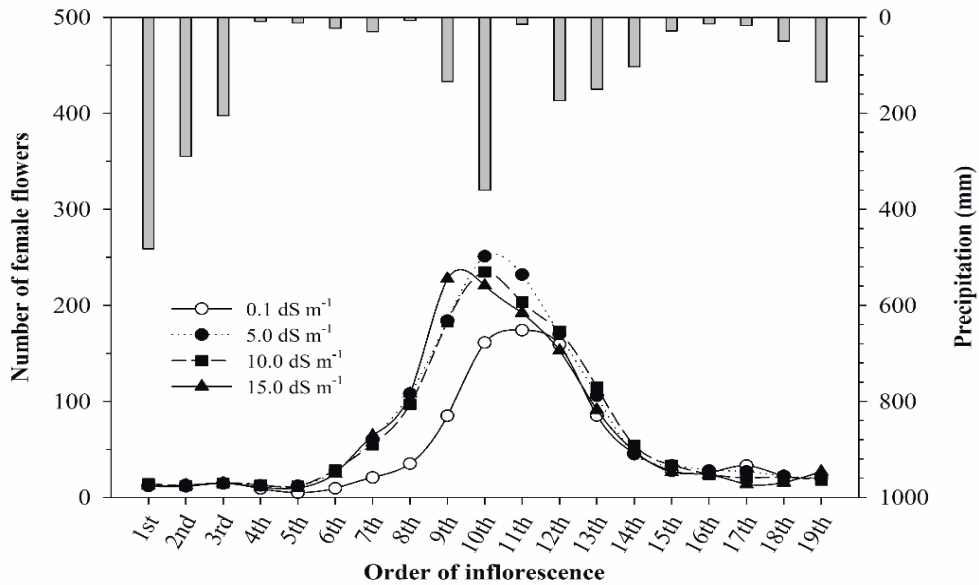


Figure 6. Number of female flowers in coconut palm in the first 19 months of fruit production irrigated with saline waters. Each harvest was approximately 30 days apart in trees that were 3.5 years old. Source: Marinho et al. (2006).



The number of fruits was also affected significantly by irrigation-water salinity from the 8th harvest onwards, except for the 11th and 13th harvests (Figure 7). Between the 8th and 12th harvests, the number of fruits per plant irrigated with 5.0 and 10.0 dS m⁻¹ tended to be higher than that of the control (0.1 dS m⁻¹), whereas from the 14th harvest onwards, there was no significant ($p>0.05$) difference between the fruit number for control plants and the remaining treatments with saline water, but the number of fruits was significantly reduced after the 11th harvest, regardless of irrigation-water salinity (Figure 7).

From the 5th harvest, the coconut fruit mass was significantly reduced by the irrigation-water salinity, especially for the EC_w of 15.0 dS m⁻¹ (Figure 8). A similar response was observed when the effect of salinity on the volume of coconut water was evaluated (Figure 9). In addition, coconut water showed an increase in the soluble solid concentration in the presence of irrigation with saline water from 3rd to 6th, from 11th to 14th, 16th, and 17th harvests, compared to control (0.1 dS m⁻¹) (Figure 10).

Figure 7. Number of fruits in coconut palm in the first 19 months of fruit production irrigated with saline waters. Each harvest was approximately 30 days apart in trees that were 3.5 years old. Source: Marinho et al. (2006).

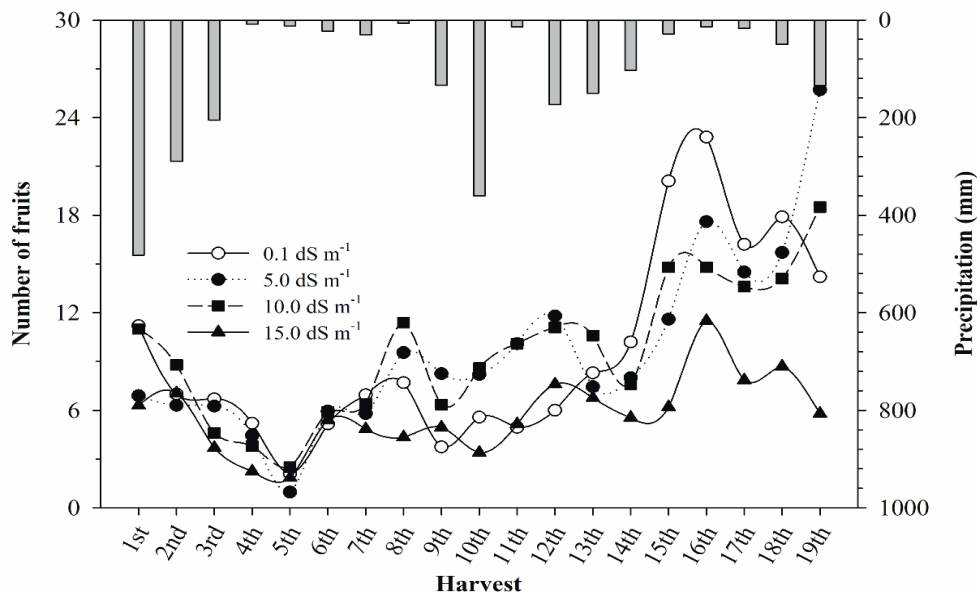


Figure 8. Mass of coconut fruits during the first 19 months of fruit production in plants irrigated with saline waters. Source: Marinho et al. (2006).

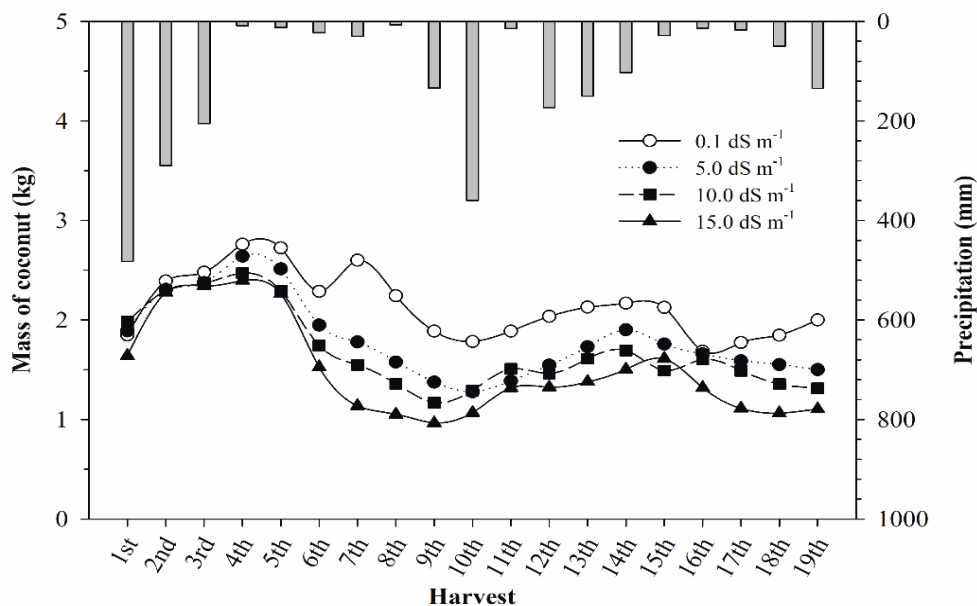


Figure 9. Volume of coconut water in coconut fruits in the first 19 months of fruit production in plants irrigated with saline waters. Source: Ferreira Neto et al. (2002).

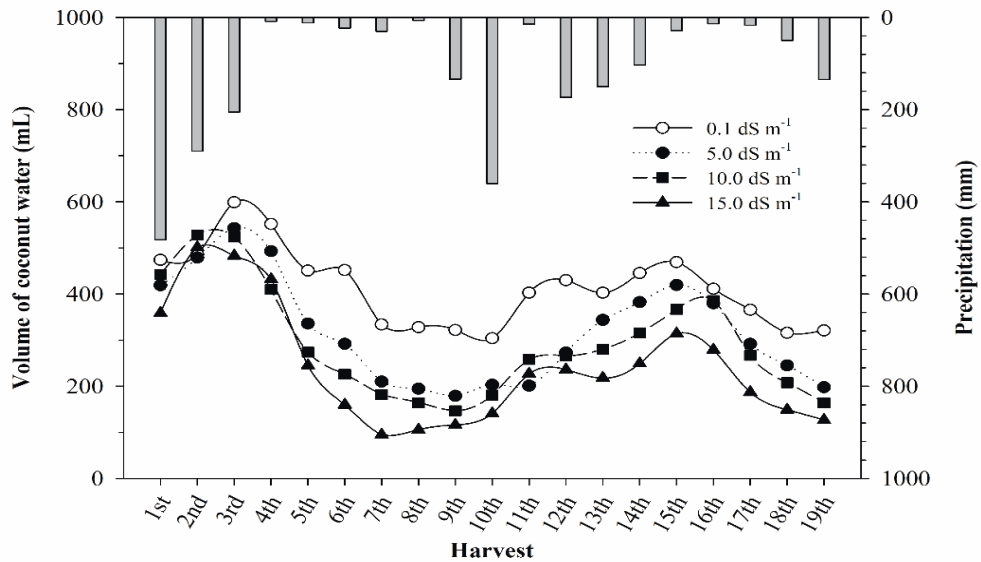
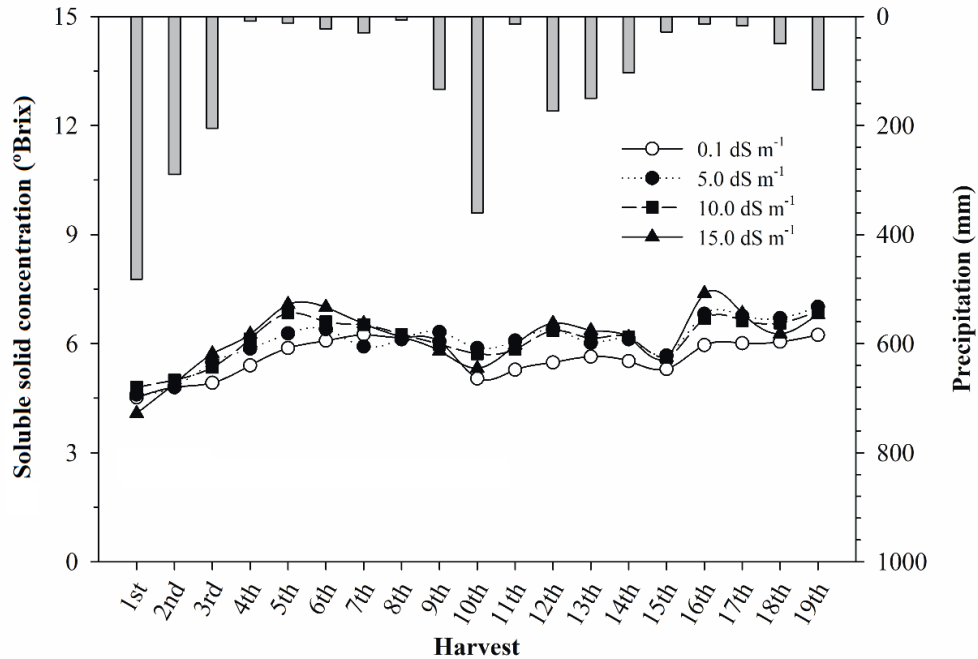


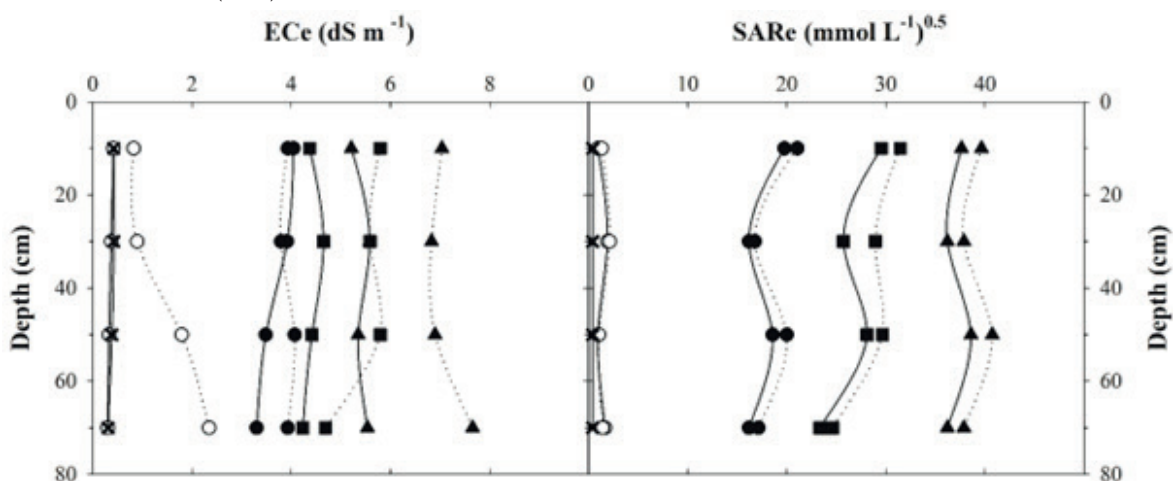
Figure 10. Soluble solid concentrations in coconut fruits during the first 19 months of fruit production in plants irrigated with saline waters. Source: Ferreira Neto et al. (2002).



Soil analysis revealed that irrigation with saline water increased the E_c in all soil sampled layers after 12 months of experiment, with values ranging from 0.37 to 5.39 dS m⁻¹. After 24 months of experiment, the E_c increased even more, showing a maximum value of

7.98 dS m⁻¹ in the 60-80 cm layer under irrigation with water of 15.0 dS m⁻¹ (Figure 11). The salinity of the irrigation water also increased the SARE, and the most conspicuous effect was observed when irrigating with water of 15.0 dS m⁻¹, in which SARE reached values close to 40 (mmol L⁻¹)^{0.5} (Figure 11).

Figure 11. Electrical conductivity (ECe) and sodium adsorption ratio (SARE) of soil saturation extract cultivated with coconut palm in the initial stage of fruit production irrigated with saline waters. Source: Ferreira Neto et al. (2002).



5 SALT TOLERANCE OF COCONUT AT DIFFERENT GROWTH STAGES

The results of the studies presented in this chapter first reported the effect of irrigation water salinity on the germination and the initial growth of coconut seedlings (Marinho et al., 2005a; Marinho et al., 2005b). Although the coconut germination was not affected by salinity, there was a delay in germination. This delay is a common response of plants germinating under saline conditions, and this occurs even when the percentage of germination is not affected by stress (Marques et al., 2011; Patanè et al., 2013). This may be attributed to a reduced water uptake by the seed, a determining step for germination to begin, and to an increased content of toxic ions in the developing seedlings, leading to the inhibition or delay in the mobilization of reserves from the endosperm to the embryonic axis (Alencar et al., 2015; Marques et al., 2013).

Despite the limited effect of salinity on germination of coconut seeds, the effects were severe at the initial growth stage (seedling establishment), given the intense reduction of growth in coconut seedlings at 120 DAS, primarily the root growth (Figure 1C). The total dry mass of seedlings irrigated with water of 10.0 dS m⁻¹, generally considered of no agricultural value, was reduced by only 35% compared to seedlings irrigated with low-salinity water. Otherwise, waters with salinity of up to 5.0 dS m⁻¹ can be used without impacting seed germination and with little harmful effect on seedling growth and initial fruit production.

This overall assessment indicates that coconut is a salt-tolerant crop, as has also been pointed out by Lacerda et al. (2024).

After the seedling transplanting, the salt effects on the coconut growth were attenuated (Marinho et al., 2005a). Although the irrigation with high salinity water at the germination stage had a significant effect on the coconut seedlings, the cessation of stress and consequent irrigation with low salinity water (2.2 dS m^{-1}) allowed the resumption of growth. In Dwarf Green coconut, therefore, the salt effects verified at the initial growth stage were reversible, and the growth was restored when the plants were irrigated with low-salinity water (2.2 dS m^{-1}). Similar results were observed in melons plants by Medeiros et al. (2014).

When irrigation with saline water was started after seedling stage (Marinho et al., 2005b), the salt effects on coconut seedlings were more intense. In general, the seedlings obtained by this approach had lower quality than those in which salinity was present only at the germination and initial growth stages. Thus, to obtain high quality coconut seedlings, irrigation with saline water is suitable only during the germination and initial growth stages. However, seedlings produced with saline water with up to 5.2 dS m^{-1} maintain the commercialization pattern in this nursery stage, indicating the feasibility of using these waters. In addition, where only low-quality water is available, sowing and subsequent germination may be started 2-3 months before the rainy season in order to make full use of rainwater. Therefore, irrigation water of up to 5.2 dS m^{-1} can replace the use of fresh water without loss of seedling quality.

Understanding the mechanisms of salt tolerance is another important task for researchers to unveil. Study with coconut seedlings under salt stress showed high levels of organic solutes in the roots and the retention of Na^+ in the roots promote low Na/K values in the leaflets (Lima et al., 2017), as well as percentage of roots dry mass reduction below 40% at high salinity levels (19.3 dS m^{-1}). These results show that the accumulation of solutes in the roots is essential for salt tolerance in Dwarf Green coconut.

Fruit production is also affected by salt stress (Ferreira Neto et al., 2002; Santos et al., 2022), as confirmed by the study showed in this chapter (Marinho et al., 2006). The first one, the interval between the appearances of inflorescences had delays varying from 4 to 9 days because of salinity, compared to control. Seasonal variations and the nutritional status of plants may influence the flowering, but in the present study the temperature and relative humidity did not vary much, and the coconut plants of all treatments received the same fertilization, therefore the effects observed seems to be more associated to salinity.

The first useful inflorescence of each plant was emitted on average five months after the beginning of irrigation with saline water, and the effects of salinity were only observed after nine months of experiment (5th harvest). The increased number of female flowers, due to salinity, had a strong relationship with rainfall; the highest number of female flowers coincided with the highest precipitation of the period. In addition, the salinity anticipated the appearance of female flowers in the inflorescences.

Considering the entire period of study, consisting of 19 harvests at 30-day intervals, the mean production per plant was 182.4, 185.1, 184.2, and 109.2 fruits, which corresponds to

115.2, 116.9, 116.3, and 68.9 fruits per plant per year, respectively for irrigation water salinity of 0.1, 5.0, 10.0 and 15.0 dS m⁻¹. Results indicate virtually no difference in number of fruits harvested up to EC_w = 10 dS m⁻¹, but in case of EC_w = 15 dS m⁻¹, it decreased by approximately 40%. However, mass of coconut fruit and the volume of coconut water per fruit decreased when salinity of irrigation water was higher than 5.0 dS m⁻¹ (Ferreira Neto et al., 2002). This fact may be related to the reduction in water uptake by plant roots because of low osmotic potential in the soil induced by increased salinity, and to physiological changes that restrict the accumulation of water and assimilates in fruits, under unfavorable water conditions (Silber et al., 2012). These variables also showed seasonal changes because of the influence of rainfall; an intense precipitation resulted in a higher volume of coconut water in the fruits. According Jayalekshmy et al. (1988), the volume of coconut water per green fruit can reach up to 600 mL, decreasing considerably after this point, and occasional variations in volume are common even in plants conducted with no salt stress.

Pires et al. (2004) reported an annual production of 134 fruits per plant for Dwarf Green coconut; on the other hand, Cuenca & Siqueira (2003) considered 80 to 100 fruits per year as a good yield after 4-5 years of planting. Under rainfed conditions, according to these authors, the annual production is 15 to 30 fruits per plant. In the present study, the mean number of fruits obtained in plants irrigated with EC_w of 10 dS m⁻¹, although is lower than that obtained by Pires et al. (2004), it was higher than the means referred by Cuenca & Siqueira (2003), for plants of similar age. In the 15.0 dS m⁻¹ treatment, the number of fruits harvested was more than double the production obtained in a rainfed plantation, which shows the viability of irrigation for Dwarf Green coconut with high salinity water. However, the production data and the accumulation of salts in the soil need to be evaluated for a longer time.

The variations observed in the number of fruits along the 19 months of the experiment were probably influenced by rainfall pattern (Marinho et al., 2006); the increased number of fruits for EC_w of 5.0 and 10.0 dS m⁻¹, in relation to the control treatment, was observed in the rainy season (between the 8th and 13th harvest). However, during the dry season (14th to 18th harvest), irrigation with saline water had negative effects on fruit production. These results are evidence that the irrigation of coconut palms in the rainy season with water of up to 10 dS m⁻¹ provides beneficial effects on fruit production.

Coconut water showed an increase in total soluble solids under irrigation with saline water (Ferreira Neto et al., 2002). This is highly valued by the market of raw fruits. According to Jayalekshmy et al. (1988), in fruits at this stage, the °Brix of coconut water typically ranges from 5.39 to 6.55, values consistent with those observed in this study. Although just the Brix% per se cannot attest to the best taste of coconut water (a balance between sugars and salts is preferable), it is a simple and reliable way to evaluate salinity responses on coconut water.

Soil analysis revealed values of SAR_e in the 5.0 dS m⁻¹ treatment was over 13 (mmol L⁻¹)^{0.5} at the end of the experiment, corresponding to limit for the exchangeable sodium percentage (ESP), normally used for classification of sodic soils (Ferreira Neto et al., 2002). In the EC_w of 15.0 dS m⁻¹, the values of SAR_e were above 35 (mmol L⁻¹)^{0.5}; even then the permeability of the soil was not affected due to the sandy texture and the high EC_e. These

results are consistent with Rhoades et al. (2000), who reported no risk of reduction of the soil permeability when the EC_w is higher than 5 dS m⁻¹, even with high SAR of the irrigation water. According to these authors, the loss of soil productivity is among the greatest risks of the use of saline water in irrigation, resulting from the accumulation of excess salts in the root zone of crops. At the end of the experiment, in the highest EC_w (15.0 dS m⁻¹), the salinity in the soil saturation extract of the soil was around 7 dS m⁻¹, within the limits for the crops tolerant to salinity (Rhoades et al., 2000). These results indicate that the use of brackish water in irrigation must be associated with management practices and the use of soil conditioners, in order to avoid soil degradation by salts and guarantee sustainable production, particularly of perennial crops such as coconut (Gheyi et al., 2022).

6 FINAL REMARKS

Our results showed that the Dwarf Green coconut may be irrigated with water up to 20 dS m⁻¹ at the germination stage, but the electrical conductivity of the water of 10.0 dS m⁻¹ already lead to reductions of more than 35% in seedling growth (biomass production). This salinity level also caused significant reductions in fruit size and volume of coconut water per fruit. The overall evaluation of the data indicates that coconut is a salt tolerant crop, and irrigation water of up to 5.0 dS m⁻¹ can be used in all phases of plant development (germination, seedling establishment, and fruit production), with little or no harmful effect. Eventually, waters with salinity of up to 10 dS m⁻¹ can be used in the irrigation of adult plants, cultivated in sandy soils. It should be noted that the use of brackish water in irrigation must be associated with management practices that prevent soil degradation by salts and that guarantee the sustainability of production in the long term. As it is a long-lived perennial crop, long-term studies should be encouraged to obtain more representative results for the regional soil and climate conditions.

ACKNOWLEDGMENTS

The financial support for this study was received from National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) of Brazil is thankfully acknowledged by the authors.

REFERENCES

Acosta-Motos, J. R.; Ortuño, M.; Bernal-Vicente, A.; Diaz-Vivancos, P.; Sanchez-Blanco, M.; Hernandez, J. Plant responses to salt stress: Adaptive mechanisms. *Agronomy*, v.7., p.1-38, 2017.

- Alencar, N. L. M.; Gadelha, C. G.; Gallão M. I.; Dolder, M. A. H.; Prisco, J. T.; Gomes-Filho, E. Ultrastructural and biochemical changes induced by salt stress in *Jatropha curcas* seeds during germination and seedling development. *Functional Plant Biology*, v.42, p.865-874, 2015.
- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Moraes Gonçalves, J. L.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, p.711-728, 2014.
- Assouline, S.; Russo, D.; Silber, A.; Or, D. Balancing water scarcity and quality for sustainable irrigated agriculture. *Water Resources Research*, v.51, p.3419-3436, 2015.
- Bates, L. S.; Waldren, R. P.; Teare, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, v.39, p.205-207, 1973. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Cuenca, M. A. G.; Siqueira, L. A.. Aspectos econômicos da cocoicultura., In: Fontes, H. R.; Ribeiro, F. E.; Fernandes, M. F. (eds.), *Coco, produção: aspectos técnicos*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, Aracajú: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2003, 106p.
- Dias, N. S.; Ferreira, J. F. S.; Liu, X.; Suarez, D. L., Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*, L.) maintains high inulin, tuber yield, and antioxidant capacity under moderately-saline irrigation waters. *Industrial Crops and Products*, v.94, p.1009-1024. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.029>
- Dubois, M.; Gilles, K. A.; Hamilton, J. K.; Rebers, P. A.; Smith, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, v.28, p.350-356, 1956. <https://doi.org/10.1021/ac60111a017>
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAOSTAT (2018). Available on: <<http://www.fao.org/faostat>>. Accessed on: June 2018.
- Ferreira, J.F.S.; Suarez, D.L.; Sandhu, D. Critical questions about the origins and plant responses to soil salinity and sodicity, In: DeSutter; Clay, D.; Ganjegunte, G.; Oster, J. (eds.). *A growing global challenge to food security, environmental quality, and soil resilience*, 2024. Cap 16, p. 1-28. American Society of Agronomy (in press).
- Ferreira Neto, M.; Gheyi, H. R.; Holanda, J. S.; Fernandes, P. D. Qualidade do fruto verde de coqueiro em função da irrigação com água salina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, p.69-75, 2022.

- Fontes, H. R.; Cintra, F. L. D.; Carvalho-Filho, O. M. Implantação e manejo da cultura do coqueiro, In: Ferreira, J. M. S.; Warwick, D. R. N.; Siqueira, L. A. (eds.). *A Cultura do coqueiro no Brasil*. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1998. Cap.5, p.99-128.
- Gheyi, H.R.; Lacerda, C.F.; Freire, M.B.G.; Costa, R.N.T.; Souza, E.R.; Silva, A.O.; Fracetto, G.G.M.; Cavalcante, L.F. Management and reclamation of salt-affected soils: general assessment and experiences in the Brazilian semiarid region. *Revista Ciência Agronômica*, v. 53, e20217917, 2022. Doi:
- Grieve, C.M.; Grattan, S.R.; Maas, E.V. Plant salt tolerance. In: Wallender, W.W., Tanji, K.K. (eds.) *Agricultural Salinity Assessment and Management*. 2.ed. Reston: ASCE, 2012. Cap. 13, p.405–459.
- Gupta, S. K.; Gupta, I. C. *Management of saline water and wastewater in agriculture*. Jodhpur: Publishers Scientific, 2015. 316p.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.. Produção agrícola municipal. Available on < <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=resultados>>. Accessed on: Mar 2023
- Jayalekshmy, A.; Arumughan, C.; Narayanan, C. S.; Mathew, A. G. Changes in the chemical composition of coconut water during maturation. *Oleagineux*, v.43, p.409–414, 1988.
- Kim, H.; Jeong, H.; Jeon, J.; Bae, S.; Effects of Irrigation with saline water on crop growth and yield in greenhouse cultivation. *Water* v.8, p.127-137, 2016. <https://doi.org/10.3390/w8040127>
- Kulkarni, D. S.; Saranmath, P. A.; Shanthappa, P. B. Preliminary studies on quality of underground waters on growth and yield of coconut (*Cocos nucifera*). *Mysore Journal Agriculture Science*. v.7, p.122–124, 1973.
- Lacerda, C. F.; Kong, E.; Ferreira-Neto, M.; Cave, R.; Bezerra, M.A.; Gheyi, H. R. Coconut ecophysiology. In: Adkins, S. et. Al. (eds.). *The coconut: botany, production and uses*. Charm: CABI, 2024. Cap.2, p.14–30 (in press).
- Lima, B. L. C.; Lacerda, C. F.; Ferreira Neto, M.; Ferreira, J. F. S.; Bezerra, A. M. E.; Marques, E. C. Physiological and ionic changes in dwarf coconut seedlings irrigated with saline water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.21, p.122-127, 2017.
- Maas, E. V.; Grattan, S. R. Crop yields as affected by salinity, In: Skaggs, W.; Schilfgaarde, J. van (eds.). *Agricultural Drainage*. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1999. Cap.3, p. 55–108.

- Marinho, F. J. L.; Ferreira Neto, M.; Gheyi, H. R.; Fernandes, P. D.; Viana, S. B. A. Uso de água salina na irrigação do coqueiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.359-364, 2005b.
- Marinho, F. J. L.; Gheyi, H. R.; Fernandes, P. D. Germinação e formação de mudas de coqueiro irrigadas com águas salinas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.3, p.334-340, 2005a.
- Marinho, F. J. L.; Gheyi, H. R.; Fernandes, P. D.; Holanda, J. S.; Ferreira Neto, M. Cultivo do coco 'Anão Verde' irrigado com águas salinas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, p.1277-1284, 2006.
- Marques, E. C.; Freitas, P. A. F.; Alencar, N. L. M.; Prisco, J. T.; Gomes-Filho, E. Increased Na⁺ and Cl⁻ accumulation induced by NaCl salinity inhibits cotyledonary reserve mobilization and alters the source-sink relationship in establishing dwarf cashew seedlings. *Acta Physiologicae Plantarum*, v.35, p.2171-2182, 2013 <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1254-5>
- Marques, E. C.; Freitas, V. S.; Bezerra, M. A.; Prisco, J. T.; Gomes-Filho, E. Efeitos do estresse salino na germinação, emergência e estabelecimento da plântula de cajueiro anão precoce. *Revista Ciência Agronômica* v.42, p.993-999, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000400023>
- Medeiros, J.F.; Terceiro Neto, C. P. C.; Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Souza, M. S. M.; Souza, R. O. Management strategies of saline water on morphometric characteristics of melon cultivars. *Engenharia Agrícola*, v.34, p.649-659, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000400005>
- Miranda, F. R.; Oliveira, V. H.; Montenegro, A. A. T. Desenvolvimento e precocidade de produção do coqueiro anão (*Cocos nucifera* L.) sob diferentes freqüências de irrigação. *Agrotropica*, v.11, p.71-76, 1999.
- Munns, R.; Tester, M. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Reviews of Plant Biology*, v.59, p.651-681,2008. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Oliveira, V. P.; Marques, E. C.; Lacerda, C. F.; Prisco, J. T.; Gomes-filho, E. Physiological and biochemical characteristics of *Sorghum bicolor* and *Sorghum sudanense* subjected to salt stress in two stages of development. *African Journal of Agricultural Research*, v.8, p.660-670, 2013.
- Patanè, C.; Saita, A.; Sortino, O. Comparative effects of salt and water stress on seed germination and early embryo growth in two cultivars of sweet sorghum. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v.199, p.30-37,2013. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2012.00531.x>

- Pires, M. M.; Costa, R. S.; São José, A. R.; Midlej, M. M. B. C.; Alves, J. M.; A cultura do coco: uma análise econômica. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.26, p.173–176, 2004.
- Rhoades, J. D.; Kandiah, A.; Mashali, A. M. Uso de águas salinas para produção agrícola. Campina Grande: UFPB, 2000. 117p.
- Santos M. M. S.; Lacerda, C. F.; Neves, A. L. R.; Sousa, C. H. C.; Ribeiro, A. A.; Bezerra, M. A.; Araújo, I. C. S.; Gheyi, H. R. Ecophysiology of the tall coconut growing under different coastal areas of northeastern Brazil. *Agricultural Water Management*, v.232, p.1-10, 2020.
- Silber, A.; Israeli, Y.; Elingold, I.; Levi, M.; Levkovitch, I.; Russo, D.; Assouline, S. Irrigation with desalinated water: A step toward increasing water saving and crop yields. *Water Resources Research*, v.51, p.450–464, 2015. <https://doi.org/10.1002/2014WR016398>
- Silber, A.; Israeli, Y.; Levi, M.; Keinan, A.; Shapira, O.; Chudi, G.; Golan, A.; Noy, M.; Levkovitch, I.; Assouline, S. Response of ‘Hass’ avocado trees to irrigation management and root constraint. *Agricultural Water Management*, v.104, p.95–103, 2012.
- Silva, A.R.A.; Bezerra, F. M. L.; Lacerda, C. F.; Araújo, M. E. B.; Lima, R. M. M.; Souza, C. H. C. Establishment of young “dwarf green” coconut plants in soil affected by salts and under water deficit. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.38, p.1–12, 2016. <https://doi.org/10.1590/0100-29452016>
- Silva, A.R.A.; Bezerra, F.M.L.; Lacerda, C.F.; Miranda, R.S.; Marques, E.C. Ion accumulation in young plants of the ‘green dwarf’ coconut under water and salt stress. *Revista Ciência Agrônômica*, v.49, p.249-258, 2018. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20180028>
- Soares Filho, W. S.; Gheyi, H. R.; Brito, M. E. B.; Nobre, R. G.; Fernandes, P. D.; Miranda, R. S. Melhoramento genético e seleção de cultivares tolerantes à salinidade. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes-Filho, E. (eds.), *Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados*. Fortaleza: INCTSal, 2016. Cap.17, p.259–274.
- Sobral, L. F.; Nogueira, L. C. Influência de nitrogênio e potássio, via fertirrigação, em atributos do solo, níveis críticos foliares e produção do coqueiro-anão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1675–1682, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400032>
- Yemm, E. W.; Cocking, E. C.; Ricketts, R. E. The determination of amino-acids with ninhydrin. *Analyst*, v.80, p.192-202, 1955. <https://doi.org/10.1039/an9558000209>

CUCURBITÁCEAS

MELÃO, MELANCIA E ABOBRINHA

Tayd Dayvison Custódio Peixoto¹, Francisco Vanies da Silva Sá^{2},
Miguel Ferreira Neto¹, Rômulo Carantino Lucena Moreira¹,
Francisco de Assis de Oliveira¹, Nildo da Silva Dias¹*

RESUMO: A família *Cucurbitaceae* é formada por 120 gêneros e 960 espécies, possuindo culturas de relevante importância econômica em muitos países tropicais. As cucurbitáceas são cultivadas principalmente na região nordeste, onde está situada a maior parte da região semiárida do Brasil. Pesquisas com cultivos biossalinos de cucurbitáceas são fundamentais, pois a salinidade influencia negativamente na fisiologia e no desenvolvimento das culturas. Os padrões elaborados revelam as alterações dos parâmetros ecofisiológicos que o estresse salino causa nestas culturas, sendo essenciais para estabelecer metas de mitigação desse estresse abiótico. No meloeiro e na melancieira, a redução da fotossíntese se deve à restrição estomática, de modo que a eficiência fotoquímica é indiferente para a irrigação com água salina de 5,0 e 5,5 dS m⁻¹, respectivamente. Na abobrinha irrigada com água salina de 5,0 dS m⁻¹, a redução da fotossíntese se deve à diminuição da eficiência fotoquímica e aumento do quenching fotoquímico. Pesquisas com meloeiro, melancieira e abobrinha indicam que a aplicação de bioestimulantes, manejo da adubação nitrogenada, potássica e fosfatada, de forma isolada ou combinada,

¹ Universidade Federal Rural do Semiárido - UFERSA, Mossoró, RN, Brasil

² Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, Catolé do Rocha, PB, Brasil

* Autor correspondente: vanies_agronomia@hotmail.com

nas diferentes fases de desenvolvimento das culturas, resultam em maior tolerância das cucurbitáceas ao estresse salino.

Palavras-chave: Estresse salino, eficiência fotoquímica, quenching fotoquímico, Trocas gasosas foliares.

CUCURBITACEAE - MELON, WATERMELON AND ZUCCHINI

ABSTRACT: The *Cucurbitaceae* family is formed by 120 genera and 960 species, and it has crops of great economic importance in many tropical countries. Cucurbits are cultivated mainly in the northeast region, where most of the Brazilian semi-arid region is located. Research with biosaline cultivations of cucurbits is essential, as salinity negatively influences the physiology and development of crops, resulting in reductions in production. The developed patterns reveal the alterations of the ecophysiological parameters that the saline stress causes in these crops, essential to establishing goals of mitigation of this abiotic stress. In melon and watermelon, the reduction of photosynthesis is due to stomatal restriction, so the photochemical efficiency is indifferent to irrigation with saline water of 5.0 and 5.5 dS m⁻¹, respectively. In zucchini irrigated with 5.0 dS m⁻¹ saline water, the reduction in photosynthesis is due to a decrease in photochemical efficiency and an increase in photochemical quenching. Research with melon, watermelon and zucchini indicates that the application of biostimulants and management of nitrogen, potassium, and phosphate fertilization, alone or in combination, at different stages of crop development, resulting in greater tolerance of cucurbits to saline stress. **Key words:** Saline stress, photochemical efficiency, photochemical quenching, Leaf gas exchange.

1 INTRODUÇÃO

A família Cucurbitaceae é composta por 120 gêneros e 960 espécies. No Brasil, a família Cucurbitaceae representa cerca de 30 gêneros, abrangendo 200 espécies (Resende et al., 2013). Entre as culturas de relevante importância econômica em países tropicais, destacam-se o pepino (*Cucumis sativus* L.), o melão (*Cucumis melo* L.), a melancia (*Citrullus lanatus*), a abóbora (*Cucurbita moschata*) e a abobrinha (*Cucurbita pepo* L.) (Bhowmick & Jha, 2015).

O meloeiro (*Cucumis melo* L.) é uma espécie originária de regiões de clima tropical da Índia e do Irã (Filgueira, 2008). Seus frutos são bagas grandes, polimórficas, glabras ou pubescentes, podendo apresentar diversas cores. Além disso, os frutos podem ser encontrados nos formatos redondo, oval ou alongado, com casca lisa, enrugada ou rendilhada e ricos em vitaminas, além de possuírem diversos minerais, como o cálcio, fósforo e ferro, e propriedades antioxidantes (Melo et al., 2008).

A produção mundial de melão em 2021 foi de 28,617 milhões de toneladas, com área colhida de aproximadamente 1,077 milhão de hectares (FAO, 2021). No Brasil, os estados do Rio Grande do Norte, Ceará e Bahia, todos na região nordeste, são os principais produtores, com mais de 80% da área cultivada, destacando-se a produção do Rio Grande do Norte e do Ceará, as quais são destinadas à exportação (Kist et al., 2021).

Além de promover a diversificação, o cultivo do melão desempenha função socioeconômica muito importante nas áreas de produção, contribuindo significativamente para a melhoria da condição social das pessoas envolvidas (Silva et al., 2014). A produção de melão é responsável pela geração de diversos empregos diretos e indiretos, pois necessita de muita mão de obra em todas as suas etapas de cultivo (Dalastra et al., 2016).

A melancia [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum & Nakai] tem origem na África tropical e possui um centro de diversificação secundário no Sul da Ásia (Almeida, 2003). É uma cultura anual, herbácea, hábito de crescimento rasteiro, possuindo ramificações sarmentosas. O sistema radicular é do tipo pivotante com desenvolvimento mais acentuado no sentido horizontal, o caule contém ramos primários e secundários, assumindo disposição radial. As folhas são alternas, apresentam limbo com contorno triangular, recortado em três ou quatro pares de lóbulos, de 15 a 20 cm de comprimento e de margens arredondadas, possui também gavinhas que auxiliam na fixação ao solo (EMBRAPA, 2010).

Um tipo de melancia que está ganhando espaço expressivo no mercado é a minimelancia, como, por exemplo, a cultivar “Sugar baby”, com peso variando de 1,0 a 3,0 kg. É preferida por pequenas famílias devido às características de ser compacta, proporcionar um rápido consumo e ocupar pouco espaço na geladeira (Campagnol et al., 2012). Os frutos atraem consumidores mais exigentes e com maior poder de compra. Algumas cultivares, além de possuírem o tamanho reduzido, produzem frutos de polpa amarela e outras não apresentam sementes, o que é mais um diferencial para as minimelancias (Campagnol et al., 2016).

A minimelancia apresenta alta precocidade, além de permitir o maior adensamento no plantio, o que aumenta sua produção por área, além de facilitar o transporte, visto que, os

frutos são menores. Também alcançam ótimos preços no mercado interno e externo, oferecendo bom retorno financeiro ao produtor (Grangeiro & Cecílio Filho, 2004; Barros et al., 2017). A escolha do material para o plantio deve ser feita levando-se em consideração o tipo de fruto requisitado pelo mercado, sua resistência ao transporte, adaptação às condições climáticas da região, bem como ao modo de cultivo das plantas e aos distúrbios fisiológicos (Campagnol et al., 2012).

A abobrinha (*Cucurbita pepo* L.) é conhecida popularmente no Brasil como “abóbora de moita”, “abobrinha italiana” e “abobrinha de tronco” (Filgueira, 2012). Apresenta um ciclo com duração de 50 a 80 dias, produzida em campo, tanto no verão quanto na primavera (Carpes et al., 2008), e sua importância relaciona-se, principalmente, ao valor alimentício dos frutos e versatilidade culinária (Ramos et al., 2010).

A cultura da abobrinha tem se destacado entre as olerícolas pelo grande potencial para comercialização, pois, além de representar opção produtiva o ano todo, possui boa aceitação no mercado consumidor (Klosowski et al., 1999; Azambuja et al., 2015). A produtividade média no país oscila em torno de 8,0 a 10,0 t ha⁻¹ (Filgueira, 2012), todavia essa produtividade é muito variável em função do nível de tecnologias aplicadas (Puiatti & Silva, 2005). A abobrinha é cultivada nas regiões Nordeste e, em maior proporção, nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil; entre as cultivares comerciais do tipo italiana, destacam-se: Caserta, Clarita e Clarinda, os híbridos F1 Novita, Novita plus, Samira, Yasmim e Mazourka, além das abobrinhas de tronco, Branca e Clara. No grupo da abobrinha brasileira, as principais são: Menina-brasileira, Minipaulista, Brasileirinha, Menina-brasileira precoce e Vitória, além dos híbridos F1 Daine e Sandy (Amaro, 2018).

A região Nordeste do Brasil tem se destacado pela produção de melão e melancia, além de apresentar um potencial promissor para a expansão da produção de abobrinha. Contudo, existe um desafio significativo devido ao déficit hídrico anual, tornando a utilização da irrigação indispensável para a produção agrícola na região.

Os cultivos bioassalinos de cucurbitáceas são uma realidade na região Nordeste do Brasil, uma localidade que enfrenta grande risco de salinização do solo devido às características dos reservatórios subterrâneos onde a água é armazenada e, posteriormente, utilizada para a irrigação. No entanto, é preciso considerar que a água disponível na região possui níveis de salinidade que podem prejudicar o crescimento e produção de algumas culturas. Portanto, faz-se necessário a investigação dos efeitos que a irrigação com águas salobras e salinas causa no desempenho dessas culturas.

Pesquisas são desenvolvidas para determinar estratégias de manejo que auxiliem a produção de cucurbitáceas como o melão, melancia e abobrinha. Em relação à fisiologia, objetiva-se desenvolver padrões ecofisiológicos dessas culturas sob estresse salino, e assim avaliar as alterações fisiológicas que o efeito do estresse salino causa no desenvolvimento das culturas.

2 METODOLOGIA ADOTADA PARA IDENTIFICAÇÃO DA TENDÊNCIA DOS PARÂMETROS ECOFISIOLÓGICOS

Nesta seção está descrita a metodologia adotada para a compilação dos dados de parâmetros ecofisiológicos das cucurbitáceas em seus estádios reprodutivos, especificamente, melão, minimelancia e abobrinha, cultivadas em ambiente protegido e submetidas à irrigação com água salina.

Os dados dos parâmetros ecofisiológicos para o meloeiro foram coletados entre 50 e 60 dias após a semeadura (DAS). As variedades estudadas foram: McLaren (Gália), SV1044MF (Cantaloupe), Caribbean Gold (Cantaloupe) e Acclaim (Cantaloupe). A cultivar de minimelancia estudada foi a Sugar Baby. A medição dos parâmetros da minimelancia ocorreu aos 47 DAS. Os dados dos parâmetros ecofisiológicos da aboboreira foram coletados durante a fase de reprodução da abobrinha italiana, cultivar Caserta, aos 35 DAS.

Os parâmetros relacionados às trocas gasosas foram mensurados com um analisador de gás infravermelho ("LCPro +" - ADC Bio Scientific Ltd.), entre a terceira e quinta folha totalmente expandida contada a partir do ápice da planta, operado com controle de temperatura a 25 °C, irradiação de 1200 μmol de fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e vazão de ar de 200 mL min^{-1} no nível atmosférico de CO_2 , para obter as seguintes variáveis: Taxa de assimilação de CO_2 - AN ($\mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração - E ($\text{mmol} (\text{H}_2\text{O}) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática - gs ($\text{mol} (\text{H}_2\text{O}) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 - C_i ($\mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{mol}^{-1}$). Estes dados foram utilizados para quantificar a eficiência instantânea do uso da água - AN/E [$(\mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}) / (\text{mmol} (\text{H}_2\text{O}) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$], eficiência intrínseca do uso da água - AN/g_s [$(\mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}) / (\text{mol} (\text{H}_2\text{O}) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$] e eficiência de carboxilação instantânea - AN/C_i [$(\mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}) / (\mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{mol}^{-1})^{-1}$].

Posteriormente, tomando-se como referência as mesmas folhas empregadas para a avaliação das trocas gasosas, procedeu-se à determinação da fluorescência da clorofila *a*, com o auxílio do equipamento fluorômetro de pulso modulado ("OS5p" - Opti Science). Utilizou-se como protocolo o F_v/F_m para determinações em condições de escuro. O protocolo foi realizado após adaptação das folhas ao escuro por um período de 30 min, usando-se de o clipe do equipamento, de modo a garantir que todos os aceptores estivessem oxidados, ou seja, para que os centros de reação estivessem abertos.

Nessas condições, determinou-se os seguintes parâmetros de indução de fluorescência: fluorescência inicial - F_0 (μmol (fótons) $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), fluorescência máxima - F_m (μmol (fótons) $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), fluorescência variável - F_v ($F_v = F_m - F_0$) (μmol (fótons) $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), máxima eficiência quântica do FS II (F_v/F_m), rendimento quântico basal dos processos fotoquímicos no FSII (F_0/F_m) e a eficiência fotoquímica no FS II (F_v/F_0) (Genty et al., 1989).

Ainda com o fluorômetro de pulso modulado, procedeu-se às avaliações em condições de claro, usando-se do protocolo Yield e, aplicando uma fonte de iluminação actínica com pulso multi flash saturante, acoplado a um clipe de determinação da radiação fotossinteticamente ativa (PAR-Clip), em que determinou-se: fluorescência inicial antes do pulso de saturação

- F' (μmol (fótons) $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), fluorescência máxima após adaptação à luz saturante - Fm' (μmol (fótons) $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa de transporte de elétrons - ETR (μmol (fótons) $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), radiação fotosinteticamente ativa - PAR (μmol (fótons) $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e eficiência quântica do fotossistema II - Y . De posse desses dados, foram calculados os seguintes parâmetros: fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado - Fo' (μmol (fótons) $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Eq. 1); o coeficiente de extinção fotoquímico pelo modelo lake - qL (Eq. 2); o rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada - $YNPQ$ (Eq. 3); e o rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada - YNO (Eq. 4).

$$Fo' = [Fo/(Fm - Fo)/Fm + (Fo/Fm')] \quad \text{Oxborough \& Baker (1997)} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$qL = (Fm' - F')/(Fm' - Fo') * (Fo')/(F') \quad \text{Kramer et al. (2004)} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$Y (NPQ) = (F'/Fm') - (F'/Fm) \quad \text{Kramer et al. (2004)} \quad (\text{Eq. 3})$$

$$Y (NO) = F'/Fm \quad \text{Kramer et al. (2004)} \quad (\text{Eq. 4})$$

A variância dos dados foi avaliada pelo cálculo do erro padrão da média amostral. Além disso, foi realizada uma análise da tendência dos parâmetros ecofisiológicos das plantas, como também foram observadas as alterações decorrentes do estresse salino nas culturas. O efeito do estresse salino foi classificado em três aspectos: diminui, aumenta ou é indiferente, visto que a porcentagem máxima para o critério “indiferente” é de variação de até 2,00%, comparando-se os dados médios do estresse salino com os dados da condição controle, sem estresse salino.

3 CUCURBITÁCEAS

3.1 Meloeiro

3.1.1 Risco de estresse salino para o cultivo do meloeiro

O meloeiro é uma cultura adaptada às regiões com condições de clima áridos e semiáridos (Botía et al., 2005), como é o caso do Nordeste brasileiro. No entanto, as elevadas concentrações de sais da água e do solo, bastante comuns nessas regiões, são os principais fatores limitantes para um desenvolvimento satisfatório das plantas e, conseqüentemente, para obtenção de uma produção agrícola rentável.

De acordo com a classificação, o meloeiro é considerado por Ayers & Westcot (1999) como uma cultura moderadamente sensível à salinidade, pois a condutividade elétrica (CE) do extrato de saturação de até 2,2 dS m^{-1} não afeta o rendimento da cultura, porém o rendimento cai em torno de 50% quando a salinidade é elevada a 10,4 dS m^{-1} , além de haver perda de 100% da produtividade sob CE de 16 dS m^{-1} . Medeiros et al. (2008) verificaram que, dependendo da cultivar de melão, a produtividade total pode diminuir a partir de uma CE

da água de irrigação de $1,1 \text{ dS m}^{-1}$ (Cantaloupe, híbrido Trusty), e a partir de $2,96 \text{ dS m}^{-1}$ (Honey Dew, cultivar Orange flesh), evidenciando a variabilidade de tolerância à salinidade.

A tolerância à salinidade é relativamente baixa na maioria das espécies cultivadas, podendo ser alterada de acordo com a grande variabilidade genética, não exclusivamente entre as espécies, como também entre as cultivares de uma mesma espécie, como na cultura do melão (Terceiro Neto et al., 2013). Consequentemente, estudos possibilitando a seleção de cultivares adaptadas à salinidade são extremamente essenciais (Medeiros et al., 2014; Araújo et al., 2016; Pereira et al., 2017). Os principais problemas observados em genótipos sensíveis de meloeiro em solos salinos são: a inibição no crescimento (Dasgan & Koc, 2009; Kusvuran, 2010), distúrbios metabólicos (Yasar et al., 2006; Kusvuran et al., 2007) e redução na produção e qualidade dos frutos (Zong et al., 2011; Pereira et al., 2017).

Ao estudar o crescimento e a produção de frutos do meloeiro Orange Flesh, irrigado com águas salinas, em que a CE variou de $0,57$ a $4,5 \text{ dS m}^{-1}$, Freitas et al. (2014) verificaram que o crescimento das plantas foi decrescente com o incremento da salinidade. Mesmo sendo considerada uma cultura moderadamente tolerante à salinidade, em razão da variabilidade genética no germoplasma, têm sido observadas diferenças entre as cultivares (Kusvuran et al., 2007). Vários autores constataram diminuição em variáveis de crescimento em meloeiro cultivado sob salinidade, seja em substrato (Araújo et al., 2016; Lopes et al., 2017; Sarabi et al., 2017) ou em solo (Medeiros et al., 2012; Freitas et al., 2014; Costa et al., 2015).

O meloeiro possui grande variação genotípica em resposta aos efeitos da salinidade (Kusvuran, 2012). Por consequência, o crescimento, potencial osmótico, potencial hídrico das folhas e a condutância estomática diminuem com o estresse salino. Em trabalho com as cultivares de melão Sancho e Medellín, Terceiro Neto et al. (2013), estudando estratégias de manejo de irrigação, verificaram que o efeito da salinidade para as variáveis número de frutos comerciais e totais foi mais severo quando se utilizou água com CE mais elevada na irrigação, porém nas fases de crescimento e floração da cultura a produção total de frutos não diferiu significativamente entre as estratégias de manejo de irrigação. Dias et al. (2018) avaliaram cinco níveis de salinidade em parâmetros de qualidade dos frutos do melão cv. Néctar, em ambiente protegido, constatando que o aumento da salinidade da solução nutritiva diminuiu o peso médio dos frutos, ao passo que a produtividade só diminuiu com a CE superior a $3,5 \text{ dS m}^{-1}$; além disso, comprimento e diâmetro do fruto, bem como a espessura da polpa, diminuíram quando irrigados com a solução de CE acima de $3,8 \text{ dS m}^{-1}$.

Ao avaliar o efeito da água de irrigação salina ($4,5 \text{ dS m}^{-1}$) no crescimento, trocas gasosas e conteúdo de nutrientes minerais, em oito acessos de melão e duas cultivares com diferentes tolerâncias à salinidade, uma tolerante (Sancho) e uma suscetível (Caribbean Gold), Silva et al. (2021) constataram que a água de irrigação salina diminuiu a condutância estomática, diminuindo, consequentemente, a transpiração e a fotossíntese, assim como as plantas tornaram-se mais eficientes no uso da água sob salinidade e aumentaram o conteúdo K^+/Na^+ nas folhas como um mecanismo para mitigar o estresse iônico causado pelo Na^+ e Cl^- . Os autores encontraram acessos mais eficientes em usar a água, com maior relação K^+/Na^+ e maior fotossíntese do que a cv. Sancho, sob água de irrigação salina e não salina.

Estudos relatam alterações prejudiciais nos parâmetros fisiológicos de meloeiro cultivado sob condições de concentração maiores de sais (Lúcio et al., 2013; Sousa et al., 2018; Morais et al., 2018). Morais et al. (2018) relataram a ocorrência de alterações fisiológicas no melão sob o uso de água salina, ocorrendo diminuições na eficiência fotossintética, condutância estomática e transpiração. Sousa et al. (2018) verificaram que a fisiologia do meloeiro é prejudicada pelo aumento da concentração de sais no solo, relacionando tais alterações à provável ocorrência de danos fotoquímicos nas plantas.

3.1.2 Padrão ecofisiológico do meloeiro sob estresse salino

Na tabela 1 são apresentados os dados dos parâmetros ecofisiológicos para o meloeiro, na fase reprodutiva, que foram mensurados entre 50 e 60 dias após a semeadura (DAS), utilizando-se para o controle a condutividade elétrica da água de irrigação de 0,5 dS m⁻¹ e, para o estresse salino, a CE de 5,0 dS m⁻¹, com 14 repetições. Os dados do meloeiro foram obtidos das variedades McLaren (Gália), SV1044MF (Cantaloupe), Caribbean Gold (Cantaloupe) e Acclaim (Cantaloupe) (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros ecofisiológicos do meloeiro, considerando os grupos Gália e Cantaloupe, na fase reprodutiva, com cultivo em ambiente protegido, sob irrigação com água salina.

Parâmetros	Controle (0,5 dS m ⁻¹)	Estresse Salino (5,0 dS m ⁻¹)	Efeito do estresse	%
<i>Ci</i> (μmol (CO ₂) mol ⁻¹)	158,7857 ± 9,8824	170,9286 ± 6,6724	Aumentou	7,65
<i>E</i> (mmol (H ₂ O) m ⁻² s ⁻¹)	4,5007 ± 0,2329	4,0139 ± 0,2654	Diminuiu	10,82
<i>gs</i> (mol (H ₂ O) m ⁻² s ⁻¹)	0,1857 ± 0,0161	0,1564 ± 0,0150	Diminuiu	15,77
<i>AN</i> (μmol (CO ₂) m ⁻² s ⁻¹)	18,5536 ± 1,9318	15,4150 ± 1,6647	Diminuiu	16,92
<i>AN/E</i> [(μmol (CO ₂) m ⁻² s ⁻¹)(mmol (H ₂ O) m ⁻² s ⁻¹) ⁻¹]	4,0950 ± 0,3934	3,9543 ± 0,3389	Diminuiu	3,44
<i>AN/gs</i> [(μmol (CO ₂) m ⁻² s ⁻¹)(mol (H ₂ O) m ⁻² s ⁻¹) ⁻¹]	98,9725 ± 4,6081	97,6411 ± 3,5723	Indiferente	--
<i>AN/Ci</i> [(μmol (CO ₂) m ⁻² s ⁻¹)(μmol (CO ₂) mol ⁻¹) ⁻¹]	0,1306 ± 0,0192	0,1041 ± 0,0131	Diminuiu	20,33
<i>Fo</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	503,1429 ± 58,1491	497,5714 ± 58,0739	Indiferente	--
<i>Fm</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	2264,9286 ± 263,7152	2160,9286 ± 281,7575	Diminuiu	4,59
<i>Fv</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	1761,7857 ± 206,1630	1663,3571 ± 224,8774	Diminuiu	5,59
<i>Fv/Fm</i>	0,7769 ± 0,0037	0,7612 ± 0,0101	Diminuiu	2,02
<i>Fv/Fo</i>	3,5081 ± 0,0745	3,2816 ± 0,1544	Diminuiu	6,46
<i>Fo/Fm</i>	0,2226 ± 0,0038	0,2382 ± 0,0101	Aumentou	7,01
<i>Fs</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	134,9286 ± 13,0226	123,8571 ± 10,3700	Diminuiu	8,21
<i>Fms</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	342,7857 ± 51,6461	316,0714 ± 52,6922	Diminuiu	7,79
<i>Y</i>	0,5435 ± 0,0393	0,5088 ± 0,0481	Diminuiu	6,39
<i>ETR</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	80,5643 ± 9,3054	77,8000 ± 6,3620	Diminuiu	3,43
<i>PAR</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	396,5000 ± 53,8400	422,8571 ± 52,2457	Aumentou	6,65
<i>Fo'</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	2,5790 ± 0,2167	2,9925 ± 0,2800	Aumentou	16,03
<i>qL</i>	0,0115 ± 0,0012	0,0124 ± 0,0013	Aumentou	8,17

Parâmetros	Controle (0,5 dS m ⁻¹)	Estresse Salino (5,0 dS m ⁻¹)	Efeito do estresse	%
<i>Ynpq</i>	0,3916 ± 0,0357	0,4267 ± 0,0446	Aumentou	8,97
<i>Yno</i>	0,0645 ± 0,0068	0,0640 ± 0,0048	Indiferente	--
Média ± Erro padrão, n=14.				

Ci = concentração interna de CO₂; *E* = transpiração; *gs* = condutância estomática; *AN* = taxa de assimilação de CO₂; *AN/E* = eficiência instantânea do uso da água; *AN/gs* = eficiência intrínseca do uso da água; *AN/Ci* = eficiência instantânea de carboxilação; *Fo* = fluorescência inicial; *Fm* = fluorescência máxima; *Fv* = fluorescência variável; *Fv/Fm* = máxima eficiência quântica do PSII; *Fv/Fo* = eficiência fotoquímica no PSII; *Fo/Fm* = rendimento quântico basal dos processos fotoquímicos no PSII; *Fs* = fluorescência inicial antes do pulso de saturação; *Fms* = fluorescência máxima após adaptação à luz saturante; *Y* = eficiência quântica efetiva do PSII; *ETR* = taxa de transporte de elétrons; *PAR* = radiação fotossinteticamente ativa; *Fo'* = fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado; *qL* = coeficiente de extinção fotoquímico pelo modelo lake; *Ynpq* = rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada; *Yno* = rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada.

Conforme Tabela 1, observa-se que a irrigação com água de 5,0 dS m⁻¹ provoca a diminuição da maioria dos parâmetros de trocas gasosas, sendo 10,82% na transpiração (*E*), 15,77% na condutância estomática (*gs*), 16,92% na taxa de assimilação de CO₂ (*AN*), 3,44% na eficiência instantânea do uso da água (*AN/E*) e 20,33% na eficiência instantânea de carboxilação (*AN/Ci*).

As maiores diminuições ocorrem em *gs*, *AN* e *AN/Ci*, demonstrando ser uma estratégia para diminuir a perda de água para atmosfera com o fechamento dos estômatos, insuficiente, porém, para aumentar a eficiência intrínseca do uso da água (*AN/gs*), a qual apresentou efeito indiferente sob estresse. A diminuição da *gs* indica que os estômatos do meloeiro são sensíveis à salinidade e que o fechamento estomático ocorre, praticamente, na mesma proporção da queda na fotossíntese, em torno de 16,00%. Porém, a diminuição de *gs* não ocasionou diminuição no influxo de CO₂ para a câmara subestomática, o que foi indicado com o aumento da concentração interna de CO₂ (*Ci*), logo, não houve diminuição da disponibilidade de substrato para a enzima Ribulose-1,5 Bifosfato Carboxilase Oxigenase (RuBisCO). No entanto, a redução na *AN* foi de 16,92%, ao passo que a *Ci* aumentou apenas 7,65%, mostrando que, mesmo com a *Ci* aumentando, a eficiência de carboxilação não foi aumentada, pelo contrário, diminuiu em 20,33%.

A diminuição da *AN/Ci* corrobora com as diminuições em *AN*, indicando que, além de fatores estomáticos, fatores de ordem não estomática atuaram no processo fotostático, diminuindo a eficiência da RuBisCO. O fator que pode ter diminuído a eficiência da RuBisCO é a diminuição de poder redutor (ATP = Adenosina Trifosfato; NADPH = Fosfato de Dinucleótido de Nicotinamida e Adenina), proveniente da fase fotoquímica da fotossíntese. Na fase reprodutiva do meloeiro, ocorreu tanto a diminuição da *AN/Ci* quanto dos parâmetros de eficiência do fotossistema II (PSII), sendo eles: a máxima eficiência quântica do PSII (*Fv/Fm*) (2,02%) e a eficiência quântica efetiva do PSII (*Y*) (6,39%), indicando que a energia dos fótons que chegaram ao PSII em relação à energia que foi usada na produção de ATP e NADPH foi diminuída sob estresse salino.

Os parâmetros relacionados à dissipação de energia fotoquímica apresentaram um acréscimo, como a fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado (*Fo'*), rendimento quântico

de extinção fotoquímica regulada (*Ynpq*), com exceção do rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada (*Yno*), o qual foi indiferente ao estresse. A perda de eficiência fotosintética foi verificada na condição efetiva de exposição a luz (*Y*, *ETR*, *Fo'*, *Ynpq*), pelo protocolo "Yield". Portanto, o meloeiro dissipou, sob estresse salino, mais de 49% da energia luminosa por meio do quenching fotoquímico, resultando em perda de eficiência da fotossíntese (*Y*).

3.1.3 Avanços para aclimação do meloeiro ao estresse salino

Os principais avanços com aclimação de plantas de meloeiro à salinidade ocorreram a partir do manejo de adubação potássica, estratégias de manejo de irrigação, tipos de substratos e aplicação de compostos elicitores.

A absorção de nutrientes ao longo das fases de desenvolvimento é específica para cada hortaliça, sendo o meloeiro caracterizado por ser uma das mais exigentes em nutrientes, sobretudo o potássio (Silva Júnior et al., 2006). O potássio é o íon que predomina nos tecidos vegetais, sendo extraído da solução do solo em grandes quantidades pelas raízes na forma do íon K^+ . Nos tecidos vegetais, o K^+ é encontrado livre ou adsorvido, sendo este comumente trocável nas células ou nos tecidos com alta mobilidade intracelular (Torres & Pereira, 2008). Contudo, a concentração de potássio aplicada via adubação deve ser o mais próximo possível da requerida pela cultura, pois pode ocorrer perda expressiva de produtividade caso haja carência deste nutriente, podendo afetar a qualidade dos frutos (Gurgel et al., 2010a).

Em uma análise de natureza econômica, sobre a produção de melões da cv. Goldex, com água de CE de $2,41 \text{ dS m}^{-1}$ aliada a doses de K_2O , Gurgel et al. (2005) constataram que o K^+ possui a capacidade de melhorar a tolerância à salinidade, e a maior produção de frutos foi obtida com a dose de $324,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O . Corroborando, Preciado-Rangel et al. (2018) verificaram acréscimos na espessura da polpa com o aumento na concentração de K^+ . Outros autores relataram, no entanto, que o aumento na dose de K^+ nem sempre resulta em efeitos benéficos para as plantas sob estresse salino (Lacerda et al., 2003). Costa et al. (2015) constataram também para o meloeiro que o crescimento das plantas cultivadas sob estresse salino não sofreu influência dos níveis de potássio aplicados. Bardivieso et al. (2015), estudando o efeito das doses de potássio na espessura da polpa de melão, não observaram diferença significativa.

Avaliando o efeito do K^+ como atenuante do estresse salino no meloeiro, Oliveira et al. (2021) relataram que a adição de NaCl na solução nutritiva provocou diminuição nas variáveis de rendimento (peso médio de fruto, produção, diâmetro de fruto e espessura de polpa), bem como a adição extra de K^+ na solução nutritiva com maior concentração de sais não atenuou o efeito da salinidade sobre o rendimento do meloeiro.

A absorção radicular de K^+ é prejudicada com o aumento da salinidade da água ou da solução do solo, o que pode alterar os parâmetros fisiológicos das culturas (Aktas et al., 2006). Porém, a habilidade de alguns genótipos de plantas em manter os altos teores de K^+ e Ca^{2+} e baixos níveis de Na^+ dentro do tecido vegetal é um dos fatores que corroboram para expressar a maior tolerância aos efeitos prejudiciais da salinidade, portanto, em grande parte das situações os genótipos tolerantes a elevadas concentrações de sais são capazes de

manter altas relações K^+/Na^+ nos tecidos (Zeng et al., 2003). De acordo com Hasanuzzaman et al. (2018), quando a concentração de sais está elevada ocorre a diminuição da integridade da membrana, resultando no vazamento de K^+ . Logo, manter os teores de K^+ mais elevados e uma baixa relação Na^+/K^+ é fundamental para atingir tolerância à salinidade.

Pesquisas foram desenvolvidas para avaliar a absorção e acúmulo de nutrientes no meloeiro cultivado sob condição salina, em função do tempo do cultivo (Silva Júnior et al., 2006; Gurgel et al., 2008; Medeiros et al., 2008), no entanto, poucos estudos abrangeram o uso de águas salinas em função do aumento da dose de K^+ objetivando atenuar os problemas causados pela alta concentração de sais (Gurgel et al., 2005; Gurgel et al., 2010b; Prazeres et al., 2015).

O tipo de substrato pode influenciar em alterações fisiológicas provocadas pelo uso de água salobra via solução nutritiva. Morais et al. (2018) relataram, para o cultivo de melão cv. AF 015 em ambiente protegido com substrato de fibra de coco, que o aumento da CE da solução reduziu a eficiência da fotossíntese, a condutância estomática e a transpiração, contudo aumentou a concentração intracelular de CO_2 em plantas de melão, resultando na melhor eficiência do uso da água pela cultura alcançada com a CE de 2.5 dS m^{-1} .

Em avaliação de viabilidade econômica da produção de melão em função do manejo da irrigação de água salina, Terceiro Neto et al. (2018) constataram ser economicamente viável produzir a cv. Sancho, quando submetida à irrigação com água de CE igual a 0,5 e $4,3 \text{ dS m}^{-1}$, intercaladas a cada dois dias com água de baixa salinidade e a cada um dia com água salina, proporcionando economia de 33% de água de baixa salinidade sem diminuição significativa da produção.

Ao avaliar a produção e a qualidade do melão “Toad Skin” cv. Sancho submetido a dez estratégias de manejo de irrigação, com dois tipos de água de poços (CE igual a 0,57 e $4,33 \text{ dS m}^{-1}$), Terceiro Neto et al. (2021) verificaram que a irrigação com água de condutividade elétrica de $0,57 \text{ dS m}^{-1}$, nas fases de floração e frutificação, aliada à irrigação com água de $4,33 \text{ dS m}^{-1}$, nas fases de crescimento vegetativo e maturação, produziu mais frutos comerciais, inclusive com maior peso médio.

Dentre as novas estratégias que estão sendo investigadas para atenuar o efeito do estresse salino está o uso de compostos elicitores. Oliveira et al. (2022) verificaram que a aplicação foliar de concentrações de ácido salicílico não atenuou os efeitos deletérios do estresse salino sobre a morfofisiologia e produtividade do melão, bem como a concentração de $4,5 \text{ mM}$ de ácido salicílico intensificou os efeitos nocivos da salinidade da solução nutritiva nas trocas gasosas e na massa fresca de frutos. No entanto, Soares et al. (2023) relataram que a aplicação foliar de ácido salicílico atenuou os efeitos deletérios do estresse salino sobre o peso dos frutos de melão, assim como o ácido salicílico atenuou os efeitos da salinidade, atingindo produtividade máxima de frutos de melão de $23,82 \text{ t ha}^{-1}$, com aplicação foliar de $1,5 \text{ mM}$ e CE de $3,1 \text{ dS m}^{-1}$. O ácido salicílico, em todas as CE da solução nutritiva avaliadas, melhorou a síntese de clorofila total, a taxa de assimilação de CO_2 e a eficiência instantânea do uso da água do melão, até a concentração de $4,5 \text{ mM}$.

3.2 Melanciaira

3.2.1 Risco de estresse salino para o cultivo da melanciaira

Águas salinas usadas para irrigação podem representar riscos para a produção vegetal, promovendo alterações fisiológicas, no crescimento e no desenvolvimento da maioria das culturas. A presença de sais solúveis e/ou sódio trocável na zona radicular, causando redução na produção a níveis antieconômicos, constitui sério problema nas áreas irrigadas, principalmente em regiões semiáridas (Lima, 1997). Nessas áreas, os problemas que a salinidade gera sobre as culturas são responsáveis pela maioria das limitações, devido principalmente à diminuição do potencial osmótico da solução do solo, bem como da toxidez causada pela alta concentração de íons específicos, como, por exemplo, o sódio e o cloreto (Munns, 2002).

A melancia é uma espécie olerícola cultivada em quase todos os estados do país, sobretudo nos estados da região Nordeste. No entanto, a escassez de recursos hídricos e os problemas de salinidade provenientes do acúmulo de sais no solo e na água são alguns fatores que prejudicam o rendimento da cultura, reduzindo a eficiência e a produtividade do sistema agrícola (Silva, 2010). A salinização ocorre principalmente devido às condições naturais de baixa pluviosidade anual e elevada evapotranspiração, bem como à utilização excessiva de fertilizantes minerais, drenagem ineficiente, dentre outros fatores (Pedrotti et al., 2015).

As culturas possuem diversos níveis de tolerância à salinidade, sendo classificadas desde as sensíveis (glicófitas) até aquelas que são mais tolerantes ao ambiente salino (halófitas) (Santana et al., 2007). A melancia faz parte da classe de culturas moderadamente sensíveis à salinidade, quando irrigada com águas de 1,5 a 2,0 dS m⁻¹ não apresenta perdas no rendimento potencial da cultura (Ayers & Westcot, 1999). Porém, se submetida a CE da água de irrigação de 4,2 dS m⁻¹ ocorre redução em 50% do seu rendimento (Doorenbos & Kassam, 1994). Sousa et al. (2016) avaliaram a tolerância à salinidade da minimelancia cv. Smile, constatando que a cultivar tem características de ser moderadamente sensível à salinidade da água de irrigação, visto que a salinidade da água de irrigação acima de 1,0 até 5,0 dS m⁻¹ afetou negativamente a massa de frutos (rendimento relativo), diminuindo também o pH da polpa, a polpa e o diâmetro dos frutos.

Devido aos efeitos deletérios causados pela elevada concentração de sais, muitas culturas melhoraram seus mecanismos de tolerância (Esteves & Suzuki, 2008). Geralmente, culturas menos sensíveis a esses efeitos conseguem fazer ajustes osmóticos a partir do acúmulo e compartimentalização de solutos osmoticamente ativos, permitindo, dessa maneira, que a planta absorva água (Yamaguchi & Blumwald, 2005).

3.2.2 Padrão ecofisiológico da minimelanciaira sob estresse salino

Os parâmetros ecofisiológicos para a minimelanciaira cv. Sugar Baby, na fase reprodutiva, foram verificados aos 47 DAS, utilizando-se para o controle a condutividade elétrica

da água de irrigação de 0,5 dS m⁻¹ e, para a condição de estresse salino, a CE de 5,5 dS m⁻¹, com 16 repetições.

O comportamento que foi verificado na fase reprodutiva do meloeiro também foi constatado para a fase reprodutiva da minimelancieira, sob estresse salino, em que se verificou uma redução dos parâmetros das trocas gasosas (Tabela 2). Contudo, parâmetros relacionados à atividade fotoquímica apresentaram efeito contrário, ou até mesmo indiferente, o que pode ser um indicativo de uma possível aclimação dessa cultura ao estresse salino.

Tabela 2. Parâmetros ecofisiológicos da minimelancia cv. Sugar Baby, na fase reprodutiva, com cultivo em ambiente protegido sob irrigação com água salina.

Parâmetros	Controle (0,5 dS m ⁻¹)	Estresse Salino (5,5 dS m ⁻¹)	Efeito do estresse	%
<i>Ci</i> (μmol (CO ₂) mol ⁻¹)	214,2500 ± 5,6084	176,6875 ± 2,6983	Diminuiu	17,53
<i>E</i> (mmol (H ₂ O) m ⁻² s ⁻¹)	4,3744 ± 0,0970	5,0606 ± 0,1801	Aumentou	15,69
<i>gs</i> (mol (H ₂ O) m ⁻² s ⁻¹)	0,2450 ± 0,0097	0,1806 ± 0,0090	Diminuiu	26,28
<i>AN</i> (μmol (CO ₂) m ⁻² s ⁻¹)	17,4119 ± 0,5734	15,5219 ± 0,6313	Diminuiu	10,85
<i>AN/E</i> [(μmol (CO ₂) m ⁻² s ⁻¹)(mmol (H ₂ O) m ⁻² s ⁻¹) ⁻¹]	3,9995 ± 0,1457	3,0723 ± 0,0760	Diminuiu	23,18
<i>AN/gs</i> [(μmol (CO ₂) m ⁻² s ⁻¹)(mol (H ₂ O) m ⁻² s ⁻¹) ⁻¹]	71,8088 ± 2,2766	86,8729 ± 1,8536	Aumentou	20,98
<i>AN/Ci</i> [(μmol (CO ₂) m ⁻² s ⁻¹)(μmol (CO ₂) mol ⁻¹) ⁻¹]	0,0824 ± 0,0036	0,0884 ± 0,0042	Aumentou	7,24
<i>Fo</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	858,5000 ± 8,3342	883,2500 ± 17,1565	Aumentou	2,88
<i>Fm</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	3793,0000 ± 6,5051	3690,5625 ± 42,4029	Diminuiu	2,70
<i>Fv</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	2934,5000 ± 5,0067	2807,3125 ± 40,5611	Diminuiu	4,33
<i>Fv/Fm</i>	0,7731 ± 0,0019	0,7599 ± 0,0047	Indiferente	--
<i>Fv/Fo</i>	3,4233 ± 0,0355	3,1911 ± 0,0834	Diminuiu	6,78
<i>Fo/Fm</i>	0,2263 ± 0,0019	0,2400 ± 0,0046	Aumentou	6,04
<i>Fs</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	183,4375 ± 3,1596	179,5625 ± 3,8965	Diminuiu	2,11
<i>Fms</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	591,5000 ± 9,3622	581,3125 ± 12,9369	Indiferente	--
<i>Y</i>	0,6889 ± 0,0047	0,6898 ± 0,0056	Indiferente	--
<i>ETR</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	38,2750 ± 4,3401	60,3063 ± 6,1770	Aumentou	57,56
<i>PAR</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	133,5625 ± 15,8214	209,8750 ± 22,7118	Aumentou	57,14
<i>Fo'</i> (μmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹)	2,3142 ± 0,0627	2,5030 ± 0,0818	Aumentou	8,16
<i>qL</i>	0,0088 ± 0,0004	0,0098 ± 0,0005	Aumentou	10,83
<i>Ynpq</i>	0,2622 ± 0,0043	0,2608 ± 0,0050	Indiferente	--
<i>Yno</i>	0,0484 ± 0,0009	0,0489 ± 0,0013	Indiferente	--

Média ± Erro padrão, n=16.

Ci = concentração interna de CO₂; *E* = transpiração; *gs* = condutância estomática; *AN* = taxa de assimilação de CO₂; *AN/E* = eficiência instantânea do uso da água; *AN/gs* = eficiência intrínseca do uso da água; *AN/Ci* = eficiência instantânea de carboxilação; *Fo* = fluorescência inicial; *Fm* = fluorescência máxima; *Fv* = fluorescência variável; *Fv/Fm* = máxima eficiência quântica do PSII; *Fv/Fo* = eficiência fotoquímica no PSII; *Fo/Fm* = rendimento quântico basal dos processos fotoquímicos no PSII; *Fs* = fluorescência inicial antes do pulso de saturação; *Fms* = fluorescência máxima após adaptação à luz saturante; *Y* = eficiência quântica efetiva do PSII; *ETR* = taxa de transporte de elétrons; *PAR* = radiação fotossinteticamente ativa; *Fo'* = fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado; *qL* = coeficiente de extinção fotoquímico pelo modelo lake; *Ynpq* = rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada; *Yno* = rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada.

A diminuição da g_s foi mais expressiva que a diminuição ocorrida na AN . O fechamento estomático, conseqüentemente, influenciou a diminuição da concentração interna de CO_2 , no entanto, não foi suficiente para diminuir a transpiração, parâmetro que apresentou aumento (15,69%) sob condições de estresse salino (Tabela 2). O efeito apresentado na eficiência instantânea do uso da água (AN/E) foi de diminuição (23,18%), diferentemente do que ocorreu na eficiência intrínseca do uso da água (AN/g_s), pois a redução da condutância estomática foi bem mais acentuada do que a da fotossíntese líquida, afetando, diferentemente, o uso da água pela planta em condições de estresse salino. Com relação à eficiência de carboxilação (AN/C_i), houve um aumento (7,24%), indicando que a eficiência de carboxilação da RuBisCO melhorou, apesar da diminuição da g_s e AN da minimelancia sob estresse salino (Tabela 2).

Na atividade fotoquímica, houve tendência de aumento do F_o/F_m , portanto, um indicativo de que ocorreu fotoproteção. Um fato importante é que a máxima eficiência do fotossistema II (F_v/F_m), a eficiência quântica efetiva do PSII (Y), o quenching fotoquímico e os rendimentos de extinção fotoquímica regulado e não regulado (Y_{npq} e Y_{no}) apresentaram comportamentos indiferentes com relação à condição de estresse salino, o que indica, também, uma certa aclimação da minimelancia ao estresse salino.

3.2.3 Avanços para aclimação da melancieira ao estresse salino

Pesquisas têm sido desenvolvidas com o intuito de aclimação da melancieira ao estresse salino, por meio do cultivo em ambiente protegido, com estratégias de enxertias, de manejo de adubação nitrogenada, fosfatada e potássica, uso de diferentes tipos de substratos, bem como a aplicação de compostos elicitores.

O cultivo da minimelancia pode ser realizado na forma convencional ou em ambiente protegido. De acordo com Papadopoulos (1994), o cultivo em ambiente protegido, no sistema vertical, fornece melhores condições para o desenvolvimento das plantas, protegendo contra chuvas e baixas temperaturas, aumentando a eficiência da aplicação química e uso de água e fertilizantes. A minimelancia demonstra potencial de produção em ambiente protegido, seja na estação do verão ou no inverno. As plantas são conduzidas no sistema vertical, com manejos culturais específicos, como poda, condução das plantas e utilização de densidade de plantio, proporcionando, assim, melhor retorno econômico ao olericultor (Campagnol et al., 2016).

Nesse sentido, trabalhando com hidroponia para avaliar o crescimento e a fisiologia da minimelancieira 'Sugar Baby', com distintos tipos de substratos e combinações de rejeito salino na solução nutritiva, Silva et al. (2021) observaram que o uso da solução com CE acima de $4,00 \text{ dS m}^{-1}$ diminuiu expressivamente o crescimento das plantas, aumentando, por outro lado, a eficiência de carboxilação e da atividade na cadeia de transporte de elétrons, as quais atuaram como estratégias para equilibrar a fotossíntese em condições salinas. A fibra de coco gerou melhor desempenho do crescimento e da atividade fotossintética da minimelancieira, e o substrato com apenas areia lavada resultou no menor desempenho.

Em experimento conduzido em casa de vegetação, Silva et al. (2022) avaliaram o crescimento, as respostas fisiológicas, a produção e a qualidade dos frutos da minimelancia ‘Sugar Baby’, cultivada em sistema hidropônico, com diferentes misturas de efluente de rejeito salino e diversos substratos. Os autores verificaram que as plantas de minimelancia, cultivadas em substrato de fibra de coco, obtiveram o melhor crescimento e produção. Constataram, ainda, que as alterações nas trocas gasosas causadas pelo estresse salino na minimelancia foram de natureza estomática, visto que a estabilidade energética se manteve alta sob estresse salino. Alves et al. (2022) avaliaram a qualidade de sementes produzidas em substrato de areia e fibra de coco, cv. Sugar baby, com salinidade variando entre 0,5 e 6,9 dS m⁻¹, os autores não identificaram redução do peso de sementes por fruto em função do aumento da CE, no entanto, minimelancias cultivadas em fibra de coco obtiveram maior peso e espessura de sementes por fruto do que sementes produzidas em areia.

No que se refere à enxertia, pesquisando a minimelancia cv. Smile como enxerto e outras espécies de cucurbitáceas como porta-enxertos, Aumonde et al. (2011) verificaram que a produção de frutos de plantas enxertadas foi menor do que as cultivadas em pé-franco, porém as enxertias apresentaram maiores resultados de espessura de casca, coloração da polpa e fenóis totais. Avaliando minimelancias enxertadas, sob condições de salinidade de 2,0 e 5,2 dS m⁻¹, Colla et al. (2006) verificaram que na minimelancia ‘Tex’, não enxertada, houve redução de 240 g na massa do fruto com aumento da salinidade da água, das quais 17,4 g foram referentes à redução na massa de sementes. Observaram, também, uma maior massa de frutos na CE de 5,2 dS m⁻¹ nas enxertias de minimelancia Tex/Macis e Tex/Ercole, com médias de 1,48 e 1,54 kg fruto⁻¹, respectivamente, do que no controle (1,13 kg fruto⁻¹).

Em pesquisa com aplicação de melatonina em diferentes doses (0, 50, 150, e 500 µM), nas raízes de mudas de melancia, irrigadas com uma solução contendo 300 mM de NaCl, Li et al. (2017) constataram que o estresse salino inibiu a fotossíntese e aumentou o acúmulo de espécies reativas de oxigênio, além de causar danos à membrana em folhas de mudas de melancia, no entanto, o pré-tratamento com melatonina nas raízes aliviou a diminuição induzida pelo NaCl na taxa fotossintética e no estresse oxidativo, variando de acordo com cada dose. A proteção da fotossíntese pela melatonina foi intimamente associada à inibição do fechamento estomático, melhor absorção de energia luminosa e transporte de elétrons no fotossistema II.

A adubação nitrogenada foi investigada em experimento desenvolvido por Costa et al. (2013), foram avaliadas a produção e a qualidade dos frutos das cultivares de melancia (Leopard, Quetzali e Shadow) sob diferentes CE e doses de nitrogênio, constatou-se que as doses de nitrogênio não influenciaram estatisticamente na produção das cultivares Shadow e Quetzali, no entanto, a cultivar Leopard obteve maior rendimento de frutos (comercial e total) com N na dose de 96,0 kg ha⁻¹. Com relação à cv. Shadow, a CE não causou grande perda relativa da produção, demonstrando ser a cultivar mais tolerante à salinidade.

Quanto ao manejo da irrigação, avaliando as trocas gasosas e a produção da minimelancieira ‘Sugar Baby’, submetida a diferentes estratégias de irrigação, com água de elevada concentração de sais e adubação nitrogenada, Silva et al. (2019) relataram que a salinidade

de $3,2 \text{ dS m}^{-1}$ na fase vegetativa/floração e na maturação dos frutos afeta negativamente a transpiração, a condutância estomática e a taxa de assimilação de CO_2 , portanto, é mais sensível nestas fases. Além disso, a dose de metade de N (50 mg kg^{-1} de solo do vaso) resultou em maior fotossíntese líquida e produção.

Ao investigar adubação fosfatada e irrigação com água salina na cultura da minimelancia, Lima et al. (2020) avaliaram as trocas gasosas, o crescimento e a produção da cv. “Sugar Baby”, constatando que a cultivar foi sensível à salinidade da água a partir de $0,3 \text{ dS m}^{-1}$, destacando-se a inibição nas trocas gasosas, no crescimento e na produção. Observou-se, também, que doses de P_2O_5 variando de 60 a 120% da recomendação de adubação não amenizaram os efeitos deletérios do estresse salino.

No que diz respeito às alterações no rendimento quântico do fotossistema II e nos pigmentos fotossintéticos da minimelancia cv. Sugar Baby, submetidas a estratégias de uso de água com elevada concentração de sais e adubação potássica, Silva et al. (2021) constataram que a irrigação com água de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$, de forma ininterrupta, nas fases vegetativa e de floração, resultou em acréscimo da fluorescência inicial e redução da eficiência do fotossistema II quando as doses de K^+ foram equivalentes a 100 e 150% da recomendação. Silva et al. (2022) avaliaram a produção e a qualidade pós-colheita de frutos de minimelancia cv. Sugar Baby, sob estratégias de manejo de água salina na irrigação e adubação potássica, os resultados indicaram que a irrigação com água de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$, nas fases de floração e maturação dos frutos, não afetou a produção, assim como a adubação com metade da dose recomendada de K_2O não induziu à perda de rendimento.

O crescimento e a qualidade dos frutos pós-colheita da minimelancia foram analisados por Silva et al. (2022), de acordo com a salinidade da solução nutritiva e aplicação de peróxido de hidrogênio. Os autores constataram que a aplicação foliar de H_2O_2 a $20 \mu\text{M}$ melhorou a qualidade dos frutos pós-colheita, além da aplicação de H_2O_2 em combinação com a CE de $3,1 \text{ dS m}^{-1}$ ter resultado em maiores valores de pH, flavonoides, ácido ascórbico, massa seca de folhas e caules da minimelancia.

3.3 Aboboreira

3.3.1 Risco de estresse salino para o cultivo da aboboreira

A Abobrinha italiana é classificada como moderadamente tolerante à salinidade, suportando condutividade elétrica limiar da água de irrigação de $3,1 \text{ dS m}^{-1}$ (Maas & Hoffman, 1977).

Pesquisas utilizando a água salina em cucurbitáceas como mogango (*Cucurbita pepo*) apontam redução no número de sementes germinadas e ao final da germinação, comprimento de raiz e de parte aérea, assim como acréscimo no número de plântulas anormais (Harter et al., 2014). Em maxixe, constatou-se a diminuição do índice de velocidade de emergência, comprimento da parte aérea, área foliar, diâmetro do caule e massa seca da parte aérea (Alves et al., 2014).

Para as cultivares de abóboras e morangas (abóbora Xingó Jacarezinho “Casca Grossa”, abóbora Mini Paulista Isabela, Moranga Crioula Pataka e Moranga Coroa), Oliveira et al. (2014) verificaram que a salinidade da água de irrigação afetou o desenvolvimento inicial de abóboras e morangas, cuja resposta variou de acordo com a cultivar. Os autores constataram, ainda, que as cultivares Moranga Crioula Pataka e Moranga Coroa foram mais tolerantes à água de irrigação com maiores concentrações de sais.

As abóboras apresentam diferentes respostas à salinidade durante as fases de desenvolvimento. Neste sentido, Amorim (2015) verificou durante o desenvolvimento de mudas de abobrinha Italiana, cultivar La Belle F1, irrigadas com água salina de 0 a 4,0 dS m⁻¹, que a CE não afetou a emergência nem o crescimento das plântulas. Além disso, a salinidade apresentou diferença significativa somente para o diâmetro do caule e para a massa fresca da parte aérea das mudas, constatando que a abobrinha é tolerante à salinidade de até 4,0 dS m⁻¹ na fase de mudas. Carmo et al. (2011) pesquisaram o cultivo do híbrido F1 “Atlas” de abóbora (tipo Butternut Americana) irrigado com água salina, constataram que a salinidade afetou o acúmulo e a distribuição de nutrientes. Silva et al. (2014) constataram efeitos diretos da salinidade sobre as variáveis de produção da abóbora, a partir da diminuição do número de frutos e massa média de frutos.

3.3.2 Padrão ecofisiológico da aboboreira sob estresse salino

Os dados dos parâmetros ecofisiológicos da aboboreira foram coletados na fase de reprodução da abobrinha Italiana cv. Caserta, aos 35 DAS. Utilizou-se como controle uma condutividade elétrica da água de irrigação equivalente a 0,5 dS m⁻¹ e, para a condição de estresse salino, a CE de 5,0 dS m⁻¹, com 12 repetições (Tabela 3).

Nessa cultura, a irrigação com água de alta salinidade provocou diminuição drástica da maioria dos parâmetros de trocas gasosas e de eficiência fotoquímica, conseqüentemente, os parâmetros de dissipação de energia apresentaram acréscimos expressivos. As diminuições mais expressivas ocorrem na AN e gs, o que representa uma tática essencial da planta para diminuir a perda de água para a atmosfera, visto que, a eficiência intrínseca do uso da água (AN/gs) aumentou (11,80%), em condições de estresse. O aumento da AN/gs demonstra que os estômatos são sensíveis à salinidade, fazendo com que o fechamento estomático ocorra mais rapidamente do que a queda na fotossíntese. Contudo, a diminuição de gs também ocasionou diminuição no influxo de CO₂ para a câmara subestomática e, conseqüentemente, diminuições da AN, devido à menor disponibilidade de substrato para a RuBisCO. A eficiência de carboxilação (AN/Ci) foi afetada drasticamente pelo estresse salino, pois a diminuição, em comparação à condição controle, foi superior a 42%, sugerindo dano grave na RuBisCO devido ao efeito estomático, com conseqüências significativas na AN.

A atividade fotoquímica da aboboreira tornou-se menos eficiente sob estresse salino. Os parâmetros relacionados à eficiência fotossintética, como Fv/Fm, Y, e eficiência fotoquímica no PSII (Fv/Fo) diminuíram. Em contrapartida, parâmetros relacionados à dissipação de

energia fotoquímica aumentaram, como fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado (Fo'), rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada ($Ynpq$) e o rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada (Yno). Portanto, houve perda de eficiência fotossintética, a qual é constatada na condição efetiva de exposição à luz pelo protocolo "Yield". O protocolo de máxima eficiência (Fv/Fm) também foi afetado, corroborando constatações de danos causados pelo estresse salino ao aparato fotossintético.

Tabela 3. Parâmetros ecofisiológicos da aboboreira cv. Caserta Italiana, na fase reprodutiva, com cultivo em ambiente protegido sob irrigação com água salina.

Parâmetros	Controle (0,5 dS m ⁻¹)	Estresse Salino (5,0 dS m ⁻¹)	Efeito do estresse	%
Ci ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$)	241,5000 \pm 22,3347	228,0000 \pm 18,1191	Diminuiu	5,59
E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	2,4800 \pm 0,1815	1,6425 \pm 0,2416	Diminuiu	33,77
gs ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	0,1817 \pm 0,0179	0,1050 \pm 0,0285	Diminuiu	42,20
AN ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	12,8083 \pm 1,3570	7,0583 \pm 1,3086	Diminuiu	44,89
AN/E [$(\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1})(\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$]	4,8296 \pm 0,3263	3,9913 \pm 0,2499	Diminuiu	17,36
AN/gs [$(\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1})(\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$]	74,9927 \pm 8,2326	83,8423 \pm 9,5570	Aumentou	11,80
AN/Ci [$(\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1})(\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1})^{-1}$]	0,0519 \pm 0,0099	0,0299 \pm 0,0055	Diminuiu	42,33
Fo ($\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	888,0833 \pm 60,2864	968,8333 \pm 108,3604	Aumentou	9,09
Fm ($\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	3661,2500 \pm 98,6875	3553,8333 \pm 137,6703	Diminuiu	2,93
Fv ($\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	2773,1667 \pm 47,5710	2585,0000 \pm 79,6174	Diminuiu	6,79
Fv/Fm	0,7598 \pm 0,0111	0,7337 \pm 0,0227	Diminuiu	3,44
Fv/Fo	3,2751 \pm 0,2054	3,0532 \pm 0,3164	Diminuiu	6,78
Fo/Fm	0,2397 \pm 0,0111	0,2658 \pm 0,0227	Aumentou	10,88
Fs ($\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	137,3333 \pm 5,6533	150,6667 \pm 9,6510	Aumentou	9,71
Fms ($\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	416,5832 \pm 30,8330	418,5833 \pm 33,7391	Indiferente	--
Y	0,6523 \pm 0,0255	0,6233 \pm 0,0239	Diminuiu	4,45
ETR ($\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	60,6250 \pm 10,6538	50,2833 \pm 9,1310	Diminuiu	17,06
PAR ($\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	242,1667 \pm 52,0074	205,4167 \pm 41,0800	Diminuiu	15,18
Fo' ($\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	3,9452 \pm 0,5300	5,3777 \pm 1,2792	Aumentou	36,31
qL	0,0187 \pm 0,0024	0,0242 \pm 0,0060	Aumentou	29,52
$Ynpq$	0,3093 \pm 0,0261	0,3318 \pm 0,0247	Aumentou	7,26
Yno	0,0378 \pm 0,0018	0,0443 \pm 0,0051	Aumentou	17,09

Média \pm Erro padrão, n=12.

Ci = concentração interna de CO_2 ; E = transpiração; gs = condutância estomática; AN = taxa de assimilação de CO_2 ; AN/E = eficiência instantânea do uso da água; AN/gs = eficiência intrínseca do uso da água; AN/Ci = eficiência instantânea de carboxilação; Fo = fluorescência inicial; Fm = fluorescência máxima; Fv = fluorescência variável; Fv/Fm = máxima eficiência quântica do PSII; Fv/Fo = eficiência fotoquímica no PSII; Fo/Fm = rendimento quântico basal dos processos fotoquímicos no PSII; Fs = fluorescência inicial antes do pulso de saturação; Fms = fluorescência máxima após adaptação à luz saturante; Y = eficiência quântica efetiva do PSII; ETR = taxa de transporte de elétrons; PAR = radiação fotossinteticamente ativa; Fo' = fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado; qL = coeficiente de extinção fotoquímico pelo modelo lake; $Ynpq$ = rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada; Yno = rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada.

3.3.3 Avanços para aclimação da aboboreira ao estresse salino

Estratégias com objetivo de aclimação da aboboreira ao estresse salino estão sendo pesquisadas, como o emprego de bioestimulantes, manejo da adubação nitrogenada e a fonte de adubação nitrogenada mais apropriada, assim como o modo de aplicação de compostos elicitores como o peróxido de hidrogênio e ácido salicílico.

O bioestimulante é estudado como alternativa para mitigação de estresses abióticos, pois é capaz de acrescentar hormônios e nutrientes essenciais às culturas, promovendo aclimação às condições adversas. Reguladores de crescimento podem propiciar maior desenvolvimento do sistema radicular e tolerância ao estresse salino às culturas, quando utilizados nas fases iniciais de desenvolvimento das plântulas. Os bioestimulantes caracterizam-se por serem combinações de um ou mais reguladores de crescimento, e qualquer outra substância de diferente composição química, como, por exemplo, sais minerais (Castro & Pereira, 2008). Quando aplicados exogenamente, os bioestimulantes demonstram ações semelhantes aos grupos de reguladores vegetais, se aplicados em sementes, podem promover incrementos no comprimento do sistema radicular (Dantas et al., 2012). Portanto, uma das estratégias utilizadas para atenuar os efeitos deletérios da salinidade sobre as plantas é a aplicação de bioestimulantes.

Nesse sentido, avaliando duas condutividades elétricas da água de irrigação (0,5 e 5,0 dS m⁻¹) e seis modos de aplicação de um regulador de crescimento vegetal, nas sementes e nas folhas, na produção de abobrinha cv. Caserta Italiana, Souza et al. (2020) constataram que a CE da água de 5,0 dS m⁻¹ diminui a produtividade de plantas de abobrinha, no entanto, o tratamento de sementes com o bioestimulante (10 mL L⁻¹), durante oito horas, e a aplicação foliar (10 mL L⁻¹), resultou em mudas robustas, utilizando-se água salina de 5,0 dS m⁻¹, mitigando os problemas do estresse salino. Em relação aos frutos, a aplicação do bioestimulante não apresentou efeito sobre a qualidade dos frutos, independentemente da CE da água utilizada.

Pesquisas desenvolvidas por Elwan & El-shatoury (2012) avaliaram a aplicação foliar de ácido salicílico em abobrinha, sob estresse salino, constataram-se benefícios para o crescimento das plantas, aumento do peso da massa fresca e do conteúdo de clorofila, o que pode estar relacionado à absorção seletiva e acúmulo de mais K⁺ e menos Na⁺. O efeito benéfico do ácido salicílico também foi observado em plantas não estressadas, aumentando o acúmulo de potássio na parte aérea e os pigmentos fotossintéticos nas folhas, além de diminuir o acúmulo de sódio.

Avaliando a morfofisiologia de abobrinha em estresse salino (2,1; 3,1; 4,1 e 5,1 dS m⁻¹) e a aplicação exógena de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) (0; 20; 40 e 60 µM), Dantas et al. (2021) observaram que a concentração de 40 µM atenuou o estresse salino sobre a eficiência de carboxilação instantânea das aboboreiras, cultivadas em sistema hidropônico, sob salinidade da solução nutritiva de 2,1 dS m⁻¹. Além disso, a concentração de H₂O₂ de 60 µM reduziu o efeito dos sais na concentração interna de CO₂ e na condutância estomática, por sua vez, a AN de abobrinhas cultivadas em sistema hidropônico foi prejudicada com CE acima de 2,1

dS m⁻¹ e aplicação exógena de H₂O₂ acima de 40 µM. Estudando a aplicação foliar de H₂O₂ para amenizar o estresse salino nas trocas gasosas, na produção e na qualidade pós-colheita de frutos, de abobrinha italiana, Dantas et al. (2022) constataram que, em condições de CE acima de 2,1 dS m⁻¹, o H₂O₂ não conseguiu atenuar os efeitos do estresse salino, além da dose de 20 µM de H₂O₂ em CE de 2,1 dS m⁻¹ ter promovido maior peso total e diâmetro basal dos frutos.

Em condições de alta salinidade, ocorre a diminuição da absorção do nutriente nitrogenado pelas plantas, resultando em uma redução do crescimento vegetal. Pesquisas têm demonstrado que a absorção e a assimilação do nitrato são inibidas pela presença excessiva de cloreto (Dubey & Pessaraki, 2001; Drihem & Pilbeam, 2002). O nitrogênio desempenha função estrutural de diversos compostos metabólicos, inclusive os responsáveis pelo ajuste osmótico, portanto, a interação salinidade e fontes de adubos nitrogenados é abordada atualmente, na literatura, como estratégia importante para atenuar os efeitos da salinidade (Oliveira et al., 2010). Várias pesquisas mostraram que a disponibilidade de formas específicas de nitrogênio pode interagir com a sensibilidade da planta e tolerância ao estresse salino (Ehrling et al., 2007; Kant et al., 2007; Fernández-Crespo et al., 2012; Miranda et al., 2016), entretanto, o efeito varia de acordo com a espécie vegetal, a duração e intensidade do estresse (Siddiqi et al., 2002; Hessini et al., 2013).

Nessa perspectiva, estudando a forma de nitrogênio aplicada na adubação, em sistema hidropônico, da abobrinha italiana cv. Caserta, sob estresse salino, Fernandes et al. (2022a) avaliaram como os íons nitrato e amônio agem no acúmulo de nutrientes e produção. Os autores constataram que a irrigação com CE acima de 2,0 dS m⁻¹ afeta negativamente o acúmulo de nutrientes, assim como a toxicidade do NH₄⁺ sobrepõe-se aos efeitos da elevada concentração de sais, pois a adubação exclusiva com NH₄⁺ inibiu a produção, sendo o NO₃⁻ a forma mais indicada para cultivar abobrinha. Em outra pesquisa, avaliando os efeitos dos íons nitrato e amônio no crescimento, respostas fisiológicas e produção da abobrinha italiana, sob condições de estresse salino, Fernandes et al. (2022b) constataram que o NH₄⁺ causa aborto de flores e impede a formação de frutos, independentemente das condições de estresse salino, além disso, o crescimento, fotossíntese e produção das plantas cultivadas com NO₃⁻ foi superior àquelas produzidas com NH₄⁺. Os autores concluem que a CE da solução nutritiva acima de 3,5 dS m⁻¹ afeta negativamente o crescimento, os parâmetros ecofisiológicos da fotossíntese e das relações hídricas, bem como a produção, logo, o nitrato é indicado para cultivar abobrinha italiana em condições de estresse salino até o limiar de 3,5 dS m⁻¹.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme as condições das águas disponíveis, o cultivo bioassalino revela-se indispensável, uma vez que a irrigação com água salina se transformou em realidade na produção de culturas da família Cucurbitaceae. Em particular, no caso do meloeiro e da melancia, constatou-se que a redução da taxa fotossintética está associada a restrições estomáticas, e a

eficiência fotoquímica não é afetada significativamente pela irrigação com água de 5,0 e 5,5 dS m⁻¹. Contudo, para a abobrinha irrigada com água salina de 5,0 dS m⁻¹, observou-se que a diminuição da taxa fotossintética ocorreu por causa da redução da eficiência fotoquímica e consequente aumento do quenching fotoquímico.

Esses resultados apontam para a necessidade de estratégias de manejo adequadas, a fim de minimizar os efeitos adversos da irrigação com água salina nas cucurbitáceas e garantir uma produção sustentável. Entre as principais estratégias adotadas estão: o manejo da adubação nitrogenada, fosfatada, potássica, de forma isolada ou combinada. No caso específico da adubação nitrogenada, destaca-se a recomendação da forma de nitrato para a fertilização de aboboreiras. Adicionalmente, são utilizadas estratégias de manejo da irrigação e a aplicação de compostos elicitores, objetivando melhorar a tolerância das culturas ao estresse salino. No entanto, os avanços alcançados até o momento em relação às respostas fisiológicas e aclimatação das cucurbitáceas ao estresse salino requerem aprimoramentos.

LITERATURA CITADA

- Aktas, H.; Abak, K.; Cakmak, I. Genotypic variation in the response of pepper to salinity. *Scientia horticulturae*, v.110, n.3, p.260-266, 2006.
- Almeida, P. F. D. Cultura da melancia. Porto, Portugal: Universidade do Porto, 2003.
- Alves, C. Z.; Lourenço, F. M. S.; Silva, J. B.; Silva, T. R. B. Efeito do estresse hídrico e salino na germinação e vigor de sementes de maxixe. *Interciencia*, v.39, n.5, p.333-337, 2014.
- Alves, T. R. C.; Torres, S. B.; Paiva, E. P.; Oliveira, R. R.; Oliveira, R. R. T.; Freires, A. L. A.; Pereira, K. T. O.; Brito, D. L.; Alves, C. Z.; Dutra, A. S.; Benedito, C. P.; Melo, A. S.; Ferreira Neto, M.; Dias, N. S.; Sá, F. V. S. Production and Physiological Quality of Seeds of Mini Watermelon Grown in Substrates with a Saline Nutrient Solution Prepared with Reject Brine. *Plants*, v.11, n.2534, p.1-13, 2022.
- Amaro, G. B. Como plantar abobrinha. *Globo Rural*, 2018. Available on: <<https://globo.com/vida-na-fazenda/como-plantar/noticia/2018/04/como-plantar-abobrinha.html>>. Accessed on: Jul 2022.
- Amorim, Y. F. Produção de mudas de abobrinha híbrida em diferentes substratos e níveis de estresse salino. *Revista Ciência Agrícola*, v.13, n.1, p. 27-32, 2015.
- Araújo, E. B. G.; Sá, F. V. S.; Oliveira, F. A.; Souto, L. S.; Paiva, E. P.; Silva, M. K. N.; Mesquita, E. F.; Brito, M. E. B. Crescimento inicial e tolerância de cultivares de meloeiro à salinidade da água. *Revista Ambiente & Água*, v.11, n.2, p.462-471, 2016.

- Aumonde, T. Z.; Lopes, N. F.; Peil, R. M. N.; Moraes, D. M.; Pedó, T.; Prestes, S. L. C.; Nora, L. Enxertia, produção e qualidade de frutos do híbrido de mini melancia Smile. *Revista Brasileira de Agrociência*, v.17, n.1, p.42-50, 2011.
- Ayers, R. S.; Westcot, D. W. A qualidade da água na agricultura. "Water Quality for Agriculture" FAO 29. Tradução de Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F. Campina Grande: UFPB, 1999.
- Azambuja, L. O.; Benett, C. G. S.; Benett, K. S. S.; Costa, E. Produtividade da abobrinha 'Caserta' em função do nitrogênio e gel hidrorretentor. *Científica*, v.43, n.4, p.353-358, 2015.
- Bardivieso, D. M.; Maruyama, W. I.; Pessato, L. E.; Pereira, A. C. B.; Modesto, J. H. Adubação potássica na produção de duas cultivares de meloeiro. *Revista de Agricultura Neotropical*, v.2, n.1, p.32-40, 2015.
- Barros, D. T. S.; Souza, A. G.; Albuquerque Neto, J. C.; Santos, W. M.; Cavalcanti, L. S.; Santos Neto, A. L.; Souza, A. A. Desempenho de mini melancias tutoradas sob diferentes densidades de semeadura. *Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa - Congrega*, v.1, n.1, p.1-15, 2017.
- Bhowmick, B. K.; Jha, S. Dynamics of sex expression and chromosome diversity in Cucurbitaceae: a story in the making. *Journal of genetics*, v.94, n.4, p.793-808, 2015.
- Botía, P.; Navarro, J. M.; Cerdá, A.; Martínez, V. Yield and fruit quality of two melon cultivars irrigated with saline water at different stages of development. *European Journal of Agronomy*, v.23, n.3, p.243-253, 2005.
- Campagnol, R.; Mello, S. C.; Barbosa, J. C. Vertical growth of mini watermelon according to the training height and plant density. *Horticultura Brasileira*, v.30, n.4, p.726-732, 2012.
- Campagnol, R.; Matsuzaki, R. T.; Mello, S. C. Condução vertical e densidade de plantas de minimelancia em ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*, v.34, n.1, p.137-143, 2016.
- Carmo, G. A.; Oliveira, F. R. A.; Medeiros, J. F.; Oliveira, F. A.; Campos, M. S.; Freitas, D. C. Teores foliares, acúmulo e partição de macronutrientes na cultura da abóbora irrigada com água salina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.5, p.512-518, 2011.
- Carpes, R. H.; Lúcio, A. D.; Storck, L.; Lopes, S. J.; Zanardo, B.; Paludo, A. L. Ausência de frutos colhidos e suas interferências na variabilidade da fitomassa de frutos de abobrinha italiana cultivada em diferentes sistemas de irrigação. *Revista Ceres*, v.55, n.6, p.590-595, 2008. <http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/view/3377>

- Castro, P. R. C.; Pereira, M. A. Bioativadores na agricultura. In: Gazzoni, D. L. Tiametoxam: uma revolução na agricultura brasileira. Petrópolis: Vozes, 2008. p.115-122.
- Colla, G.; Roupahel, Y.; Cardarelli, M.; Rea, E. Effect of salinity on yield, fruit quality, leaf gas exchange, and mineral composition of grafted watermelon plants. HortScience, v.41, n.3, p.622-627, 2006.
- Costa, A. R. F. C.; Medeiros, J. F.; Porto Filho, F. Q.; Silva, J. S.; Costa, F. G. B.; Freitas, D. C. Produção e qualidade de melancia cultivada com água de diferentes salinidades e doses de nitrogênio. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.17, n.9, p.947-954, 2013.
- Costa, A. R.; Rezende, R.; Freitas, P. S. L.; Gonçalves, A. C. A.; Frizzzone, J. A. A cultura da abobrinha italiana (*Cucurbita pepo* L.) em ambiente protegido utilizando fertirrigação nitrogenada e potássica. Irriga, v.20, n.1, p.105-127, 2015.
- Dalastra, G. M.; Echer, M. M.; Klosowski, É. S.; Hachmann, T. L. Produção e qualidade de três tipos de melão, variando o número de frutos por planta. Revista Ceres, v.63, n.4, p.523-531, 2016.
- Dantas, A. C. V. L.; Queiroz, J. M. O.; Vieira, E. L.; Almeida, V. O. Effect of gibberellic acid and the biostimulant Stimulate® on the initial growth of tamarind. Revista Brasileira de Fruticultura, v.34, n.1, p.8-14, 2012.
- Dantas, M. V.; Lima, G. S.; Gheyi, H. R.; Pinheiro, F. W. A.; Silva, L. A.; Fernandes, P. D. Summer squash morphophysiology under salt stress and exogenous application of H₂O₂ in hydroponic cultivation. Comunicata Scientiae, v.12, n.e3464, p.1-9 2021.
- Dantas, M. V.; Lima, G. S.; Gheyi, H. R.; Pinheiro, F. W. A.; Silva, P. C. C.; Soares, L. A. A. Gas exchange and hydroponic production of zucchini under salt stress and H₂O₂ application. Revista Caatinga, v.35, n.2, p.436-449, 2022.
- Dasgan, H. Y.; Koc, S. Evaluation of salt tolerance in common bean genotypes by ion regulation and searching for screening parameters. Journal of Food, Agriculture Environment, v.7, n.2, p.363-372, 2009.
- Dias, N. S.; Morais, P. L. D.; Sarmiento, J. D. A.; Sousa Neto, O. N.; Palácio, V. S.; Freitas, J. J. R. Nutrient solution salinity effect of greenhouse melon (*Cucumis melon* L. cv. Néctar). Acta Agronómica, v.67, n.4, p.517-524, 2018.
- Dooremboos, J.; Kassam, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. Tradução de Gheyi, H. R.; Souza, A. A.; Medeiros, J. F.; Damasceno, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p.

- Drihem, K.; Pilbeam, D. J. Effects of salinity on accumulation of mineral nutrients in wheat grown with nitrate-nitrogen or mixed ammonium: nitrate-nitrogen. *Journal of plant nutrition*, v.25, n.10, p. 2091-2113, 2002.
- Dubey, R. S.; Pessaraki, M. Physiological Mechanisms of Nitrogen Absorption and Assimilation in Plants under Stressful Conditions. In: Pessaraki, M. *Handbook of Plant and Crop Physiology*. 2ed. New York: Marcel Dekker Inc, 2001. p.637-656.
- Ehltling, B.; Dluzniewska, P.; Dietrich, H.; Selle, A.; Teuber, M.; Hansch, R.; Nehls, U.; Polle, A.; Schnitzler, J.-P.; Rennenberg, H.; Gessler, A. Interaction of nitrogen nutrition and salinity in Grey poplar (*Populus tremula* × *alba*). *Plant, cell & environment*, v.30, n.7, p.796-811, 2007.
- Elwan, M. W. M.; El-Shatoury, R. S. A. Salicylic acid positively affected plant growth, photosynthetic leaf pigments and fruit yield of summer squash (*Cucurbita pepo* L.) grown under different N-levels. *Journal of Plant Production*, v.3, n.7, p.2123-2138, 2012.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema de produção de melancia. 2010. Available on: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Melancia/SistemaProducaoMelancia/index.htm>>. Accessed on: Jul. 2022.
- Esteves, B. S.; Suzuki, M. S. Efeito da salinidade sobre as plantas. *Oecologia brasiliensis*, v.12, n.4, p. 662-679, 2008. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2883337.pdf>
- FAO - Food and Agriculture Organization of The United Nations - FAOSTAT (2021) Crops. Available on: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>>. Accessed on: Jun. 2023.
- Fernandes, C. S.; Sá, F. V. S.; Ferreira Neto, M.; Dias, N. S.; Reges, L. B. L.; Gheyi, H. R.; Paiva, E. P.; Silva, A. A.; Melo, A. S. Ionic homeostasis, biochemical components and yield of Italian zucchini under nitrogen forms and salt stress. *Brazilian Journal of Biology*, v.82, n. e233567, 2022a.
- Fernandes, C. S.; Ferreira Neto, M.; Dias, N. S.; Reges, L. B. L.; Silva, L. A.; Moreira, R. C. L.; Silva, A. A.; Paiva, E. P.; Fernandes, P. D.; Sá, F. V. S. The Appropriate Source of Nitrogen for Italian Zucchini under Salt Stress Conditions. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v.22, n.1, p.560-570, 2022b.
- Fernández-Crespo, E.; Camañes, G.; García-Agustín, P. Ammonium enhances resistance to salinity stress in citrus plants. *Journal of plant physiology*, v.169, n.12, p.1183-1191, 2012.
- Filgueira, F. A. R. *Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. 3ed. Viçosa: Editora UFV, 2008.

- Filgueira, F. A. R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3ed., rev. e ampl. Viçosa: Editora UFV, 2012.
- Freitas, L. D. A.; Figueirêdo, V. B.; Porto Filho, F. Q.; Costa, J. C.; Cunha, E. M. Crescimento e produção do meloeiro cultivado sob diferentes níveis de salinidade e nitrogênio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, suplemento, p.20-26, 2014.
- Genty, B.; Briantais, J.-M.; Baker, N. R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, v.990, n.1, p.87-92, 1989.
- Grangeiro, L. C.; Cecílio Filho, A. B. Exportação de nutrientes pelos frutos de melancia em função de épocas de cultivo, fontes e doses de potássio. *Horticultura Brasileira*, v.22, n.4, p.740-743, 2004.
- Gurgel, M. T.; Gheyi, H. R.; Oliveira, F. H. T.; Uyeda, C. A.; Fernandes, P. D.; Almeida Filho, F. D. Análise econômica do uso de água salina no cultivo de meloeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, suplemento, p.258-262, 2005.
- Gurgel, M. T.; Gheyi, H. R.; Oliveira, F. H. T.; Fernandes, P. D.; Silva, F. V. Nutrição de cultivares de meloeiro irrigadas com águas de baixa e alta salinidade. *Revista Caatinga*, v.21, n.5, p.36-43, 2008.
- Gurgel, M. T.; Oliveira, F. H. T.; Gheyi, H. R.; Fernandes, P. D.; Uyeda, C. A. Qualidade pós-colheita de variedades de melões produzidos sob estresse salino e doses de potássio. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.5, n.3, p.398-405, 2010a.
- Gurgel, M. T.; Uyeda, C. A.; Gheyi, H. R.; Oliveira, F. H. T.; Fernandes, P. D.; Silva, F. V. Crescimento de meloeiro sob estresse salino e doses de potássio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.1, p.3-10, 2010b.
- Harter, L. S. H.; Harter, F. S.; Deuner, C.; Meneghello, G. E.; Villela, F. A. Salinidade e desempenho fisiológico de sementes e plântulas de mogango. *Horticultura Brasileira*, v.32, n.1, p.80-85, 2014.
- Hasanuzzaman, M.; Bhuyan, M. H. M.; Nahar, K.; Hossain, M. S.; Mahmud, J. A.; Hossen, M. S.; Masud, A. A. C.; Moumita; Fujita, M. Potassium: a vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. *Agronomy*, v.8, n.31, p.1-29, 2018.

- Hessini, K.; Hamed, K. B.; Gandour, M.; Mejri, M.; Abdelly, C.; Cruz, C. Ammonium nutrition in the halophyte *Spartina alterniflora* under salt stress: evidence for a priming effect of ammonium? *Plant and Soil*, v.370, n.1, p.163-173, 2013.
- Kant, S.; Kant, P.; Lips, H.; Barak, S. Partial substitution of NO_3^- by NH_4^+ fertilization increases ammonium assimilating enzyme activities and reduces the deleterious effects of salinity on the growth of barley. *Journal of Plant Physiology*, v.164, n.3, p.303-311, 2007.
- Kist, B. B.; Carvalho, C.; Beling, R. R. Melão. In: Kist, B. B.; Carvalho, C.; Beling, R. R. Anuário Brasileiro de hort&fruti 2021. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2021. p.92-95.
- Klosowski, E. S.; Lunardi, D. M. C.; Sandanielo, A. Determinação do consumo de água e do coeficiente de cultura da abóbora na região de Botucatu, SP. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.3, n.3, p.409-412, 1999.
- Kramer, D. M.; Johnson, G.; Kiirats, O.; Edwards, G. E. New fluorescence parameters for the determination of Q_A redox state and excitation energy fluxes. *Photosynthesis research*, v.79, p. 209-218, 2004.
- Kusvuran, S.; Ellialtioglu, S.; Yasar, F.; Abak, K. Effects of salt stress on ion accumulation and activity of some antioxidant enzymes in melon (*Cucumis melo* L.). *Journal of food agriculture and Environment*, v.5, n.2, p.351-354, 2007.
- Kusvuran, S. Relationships between physiological mechanisms of tolerances to drought and salinity in melons. PhD Thesis - Institute of Natural and Applied Sciences, University of Çukurova, Turkey, 2010. 356p.
- Kusvuran, S. Effects of drought and salt stresses on growth, stomatal conductance, leaf water and osmotic potentials of melon genotypes (*Cucumis melo* L.). *African Journal of Agricultural Research*, v.7, n.5, p.775-781, 2012.
- Lacerda, C. F.; Cambraia, J.; Oliva, M. A.; Ruiz, H. A.; Prisco, J. T. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, v.49, n.2, p.107-120, 2003.
- Li, H.; Chang, J.; Chen, H.; Wang, Z.; Gu, X.; Wei, C.; Zhang, Y.; Ma, J.; Yang, J.; Zhang, X. Exogenous melatonin confers salt stress tolerance to watermelon by improving photosynthesis and redox homeostasis. *Frontiers in plant science*, v.8, n.295, p.1-9, 2017.
- Lima, G. S.; Féliz, C. M.; Silva, S. S.; Soares, L. A. A.; Gheyi, H. R.; Soares, M. D. M.; Sousa, P. F. N.; Fernandes, P. D. Gas exchange, growth, and production of mini-watermelon under

- saline water irrigation and phosphate fertilization. *Semina: Ciências Agrárias*, v.41, n.6, p.3039-3052, 2020.
- Lima, L. A. Efeitos de sais no solo e na planta. In: Gheyi, H. R.; Queiroz, J. E.; Medeiros, J. F. Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB, 1997. p.113-133.
- Lopes, M. Â. C.; Muniz, R. V. S.; Alves, S. S. V.; Ferreira, A. C.; Sá, F. V. S.; Silva, L. A. Água salina e substratos no crescimento inicial do meloeiro. *Irriga*, v.22, n.3, p.469-484, 2017.
- Lúcio, W. S.; Lacerda, C. F.; Mendes Filho, P. F.; Hernandez, F. F. F.; Neves, A. L. R.; Gomes-Filho, E. Crescimento e respostas fisiológicas do meloeiro inoculado com fungos micorrízicos arbusculares sob estresse salino. *Semina: Ciências Agrárias*, v.34, n.4, p.1587-1602, 2013.
- Maas, E. V.; Hoffman, G. J. Crop salt tolerance - current assessment. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, v.103, n.2, p.115-134, 1977.
- Medeiros, J. F.; Duarte, S. R.; Fernandes, P. D.; Dias, N. S.; Gheyi, H. R. Crescimento e acúmulo de N, P e K pelo meloeiro irrigado com água salina. *Horticultura Brasileira*, v.26, n.4, p.452-457, 2008.
- Medeiros, D. C.; Medeiros, J. F.; Barbosa, M. A. G.; Queiroga, R. C. F.; Oliveira, F. A.; Freitas, W. E. S. Crescimento do melão Pele de Sapo, em níveis de salinidade e estágio de desenvolvimento da planta. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.6, p.647-654, 2012.
- Medeiros, J. F.; Terceiro Neto, C. P. C.; Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Souza, M. S. M.; Souza, R. O. Management strategies of saline water on morphometric characteristics of melon cultivars. *Engenharia Agrícola*, v.34, n.4, p.649-659, 2014.
- Melo, E. A.; Maciel, M. I. S.; Lima, V. L. A. G.; Nascimento, R. J. Capacidade antioxidante de frutas. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, v.44, n.2, p.193-201, 2008.
- Miranda, R. S.; Gomes-Filho, E.; Prisco, J. T.; Alvarez-Pizarro, J. C. Ammonium improves tolerance to salinity stress in *Sorghum bicolor* plants. *Plant growth regulation*, v.78, n.1, p.121-131, 2016.
- Morais, P. L. D.; Dias, N. S.; Oliveira, A. M.; Sousa Neto, O. N.; Sarmiento, J. D. A.; Gonzaga, M. I. S. Effects of nutrient solution salinity on the physiological performance of melon cultivated in coconut fiber. *Revista Caatinga*, v.31, n.3, p.713-718, 2018.

- Munns, R. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, cell & environment*, v.25, n.2, p.239-250, 2002.
- Oliveira, F. R. A.; Oliveira, F. A.; Medeiros, J. F.; Sousa, V. F. L.; Freire, A. G. Interação entre salinidade e fósforo na cultura do rabanete. *Revista Ciência Agronômica*, v.41, n.4, p. 519-526, 2010.
- Oliveira, F. A.; Martins, D. C.; Oliveira, M. K. T.; Souza Neta, M. L.; Ribeiro, M. S. S.; Silva, R. T. Desenvolvimento inicial de cultivares de abóboras e morangas submetidas ao estresse salino. *Revista Agro@ambiente On-line*, v.8, n.2, p.222-229, 2014.
- Oliveira, G. B. S.; Oliveira, F. A.; Santos, S. T.; Oliveira, M. K. T.; Aroucha, E. M. M.; Almeida, J. G. L.; Menezes, P. V.; Costa, M. J. V.; Pinto, F. F. B.; Alves, F. A. T. Potassium nutrition as a strategy to mitigate salt stress in melon grown under protected cultivation. *Semina: Ciências Agrárias*, v.42, n.6, p.3219-3234, 2021.
- Oliveira, V. K. N.; Lima, G. S.; Soares, M. D. M.; Soares, L. A. A.; Gheyi, H. R.; Silva, A. A. R.; Paiva, F. J. S.; Mendonça, A. J. T.; Fernandes, P. D. Salicylic acid does not mitigate salt stress on the morphophysiology and production of hydroponic melon. *Brazilian Journal of Biology*, v.82, n.e262664, p.1-10, 2022.
- Oxborough, K.; Baker, N. R. An instrument capable of imaging chlorophyll a fluorescence from intact leaves at very low irradiance and at cellular and subcellular levels of organization. *Plant, Cell & Environment*, v.20, n.12, p.1473-1483, 1997
- Papadopoulos, A. P. *Growing greenhouse seedless cucumbers in soil and in soilless media*. Ottawa: Agriculture and Agri-Food Canada, 1994.
- Pedrotti, A.; Chagas, R. M.; Ramos, V. C.; Prata, A. P. N.; Lucas, A. A. T.; Santos, P. B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v.19, n.2, p.1308-1324, 2015.
- Pereira, F. A. L.; Medeiros, J. F.; Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Preston, W.; Vasconcelos, C. B. L. Tolerance of melon cultivars to irrigation water salinity. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.21, n.12, p.846-851, 2017.
- Prazeres, S. S.; Lacerda, C. F.; Barbosa, F. E. L.; Amorim, A. V.; Araujo, I. C. S.; Cavalcante, L. F. Crescimento e trocas gasosas de plantas de feijão-caupi sob irrigação salina e doses de potássio. *Revista Agro@ambiente On-line*, v.9, n.2, p.111-118, 2015.

- Preciado-Rangel, P.; Salas-Pérez, L.; Gallegos-Robles, M. A.; Ruiz-Espinoza, F. H.; Ayala-Garay, A. V.; Fortis-Hernández, M.; Murillo-Amador, B. Increasing doses of potassium increases yield and quality of muskmelon fruits under greenhouse. *Horticultura Brasileira*, v.36, n.2, p.184-188, 2018.
- Puiatti, M.; Silva, D. J. H. Abóboras e morangas. In: Fontes, P. C. R. Olericultura: teoria e prática. Viçosa: DFT - Setor de Olericultura/UFV, 2005. p.279-297.
- Ramos, S. R. R.; Lima, N. R. S.; Anjos, J. L.; Carvalho, H. W. L.; Oliveira, I. R.; Sobral, L. F.; Curado, F. F. Aspectos técnicos do cultivo da abóbora na região Nordeste do Brasil. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. Série Documentos, 2010. 36p.
- Resende, G. M.; Borges, R. M. E.; Gonçalves, N. P. S. Produtividade da cultura da abóbora em diferentes densidades de plantio no Vale do São Francisco. *Horticultura brasileira*, v.31, n.3, p.504-508, 2013.
- Santana, M. J.; Carvalho, J. A.; Souza, K. J.; Sousa, A. M. G.; Vasconcelos, C. L.; Andrade, L. A. B. Efeitos da salinidade da água de irrigação na brotação e desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) e em solos com diferentes níveis texturais. *Ciência e Agrotecnologia*, v.31, n.5, p.1470-1476, 2007.
- Sarabi, B.; Bolandnazar, S.; Ghaderi, N.; Ghashghaie, J. Genotypic differences in physiological and biochemical responses to salinity stress in melon (*Cucumis melo* L.) plants: prospects for selection of salt tolerant landraces. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.119, p.294-311, 2017.
- Siddiqi, M. Y.; Malhotra, B.; Min, X.; Glass, A. D. M. Effects of ammonium and inorganic carbon enrichment on growth and yield of a hydroponic tomato crop. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v.165, n.2, p.191-197, 2002.
- Silva, A. A. R.; Sousa, P. F. N.; Lima, G. S.; Soares, L. A. A.; Gheyi, H. R.; Azevedo, C. A. V. Hydrogen peroxide reduces the effect of salt stress on growth and postharvest quality of hydroponic mini watermelon. *Water, Air, & Soil Pollution*, v.233, n.198, p.1-11, 2022.
- Silva, F. H. A.; Morais, P. L. D.; Dias, N. S.; Nunes, G. H. S.; Morais, M. B.; Melo, M. F.; Nascimento, M. T. A. Physiological aspects of melon (*Cucumis melo* L.) as a function of salinity. *Journal of Plant Growth Regulation*, v.40, p.1298-1314, 2021.
- Silva, J. S. Evapotranspiração e produção de melancia sob diferentes níveis de nitrogênio e da salinidade da água de irrigação. 2010. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido. Mossoró, 2010. 99p.

- Silva, J. S.; Sá, F. V. S.; Dias, N. S.; Ferreira Neto, M.; Jales, G. D.; Fernandes, P. D. Morphophysiology of mini watermelon in hydroponic cultivation using reject brine and substrates. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.25, n.6, p.402-408, 2021.
- Silva, J. S.; Physiological responses and production of mini-watermelon irrigated with reject brine in hydroponic cultivation with substrates. *Environmental Science and Pollution Research*, v.29, p.11116-11129, 2022.
- Silva, M. C.; Silva, T. J. A.; Bonfim-Silva, E. M.; Farias, L. N. Características produtivas e qualitativas de melão rendilhado adubado com nitrogênio e potássio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.6, p.581-587, 2014.
- Silva, M. V. T.; Lima, R. M. S.; Silva, N. K. C.; Oliveira, F. L.; Medeiros, J. F. Produção de abóbora sob diferentes níveis de água salina e doses de nitrogênio. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.9, n.1, p.287-294, 2014.
- Silva, S. S.; Lima, G. S.; Lima, V. L. A.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. A.; Lucena, R. C. M. Gas exchanges and production of watermelon plant under salinity management and nitrogen fertilization. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.49, n.e54822, p.1-10, 2019.
- Silva, S. S.; Lima, G. S.; Lima, V. L. A.; Soares, L. A. A.; Gheyi, H. R.; Fernandes, P. D. Quantum yield, photosynthetic pigments and biomass of mini watermelon under irrigation strategies and potassium. *Revista Caatinga*, v.34, n.3, p.659-669, 2021.
- Silva, S. S.; Lima, G. S.; Lima, V. L. A.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. A.; Oliveira, J. P. M. Production and post-harvest quality of mini-watermelon crop under irrigation management strategies and potassium fertilization. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.26, n.1, p.51-58, 2022.
- Silva Júnior, M. J.; Medeiros, J. F.; Oliveira, F. H. T.; Dutra, I. Acúmulo de matéria seca e absorção de nutrientes pelo meloeiro “pele-de-sapo”. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.2, p.364-368, 2006.
- Soares, M. D. M.; Dantas, M. V.; Lima, G. S.; Oliveira, V. K. N.; Soares, L. A. A.; Gheyi, H. R.; Sousa, P. F. N.; Silva, L. A.; Fernandes, P. D. Physiology and yield of ‘Gaúcho’ melon under brackish water and salicylic acid in hydroponic cultivation. *Arid Land Research and Management*, v.37, n.1, p.134-153, 2023.
- Sousa, A. B. O.; Duarte, S. N.; Sousa Neto, O. N.; Souza, A. C. M.; Sampaio, P. R. F.; Dias, C. T. S. Production and quality of mini watermelon cv. Smile irrigated with saline water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.20, n.10, p.897-902, 2016.

- Sousa, V. F. O.; Costa, C. C.; Diniz, G. L.; Santos, J. B.; Bomfim, M. P. Physiological behavior of melon cultivars submitted to soil salinity. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.48, n.3, p.271-279, 2018.
- Souza, M. W. L.; Oliveira, F. A.; Torres, S. B.; Souza Neta, M. L.; Sá, F. V. S.; Leal, C. C. P. Exogenous application of biostimulant in zucchini (*Cucurbita pepo* L.) subjected to salt stress. *Revista Ciência Agronômica*, v.51, n.3, e20207116, 2020.
- Terceiro Neto, C. P. C.; Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F.; Dias, N. S.; Campos, M. S. Produtividade e qualidade de melão sob manejo com água de salinidade crescente. *Pesquisa agropecuária tropical*, v.43, n.4, p.354-362, 2013.
- Terceiro Neto, C. P. C.; Dias, N. S.; Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F.; Costa, J. D.; Campos, M. S. Economic feasibility of production of melons irrigated with saline water under managements strategies. *Revista de Ciências Agrárias (Portugal)*, v.41, n.1, p.209-217, 2018.
- Terceiro Neto, C. P. C.; Medeiros, J. F.; Dias, N. S.; Gheyi, H. R.; Santos Júnior, J. A.; Chipana-Rivera, R.; Suddarth, S. R. P.; Lima, B. L. C.; Fernandes, C. S.; Lemos Neto, H. S. Irrigation management strategies with brackish water in production and post-harvest quality of “toad skin” melon. *Water, Air, & Soil Pollution*, v.232, n.231, p.1-9, 2021.
- Torres, J. L. R.; Pereira, M. G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.4, p.1609-1618, 2008.
- Yamaguchi, T.; Blumwald, E. Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities. *Trends in plant science*, v.10, n.12, p.615-620, 2005.
- Yasar, F.; Kusvuran, S.; Ellialtioglu, S. Determination of anti-oxidant activities in some melon (*Cucumis melo* L.) varieties and cultivars under salt stress. *Journal Horticulture Science Biotechnology*, v.81, n.4, p.627-630, 2006.
- Zeng, L.; Poss, J. A.; Wilson, C.; Draz, A.-S. E.; Gregorio, G. B.; Grieve, C. M. Evaluation of salt tolerance in rice genotypes by physiological characters. *Euphytica*, v.129, n.1, p.281-292, 2003.
- Zong, L.; Tedeschi, A.; Xue, X.; Wang, T.; Menenti, M.; Huang, C. Effect of different irrigation water salinities on some yield and quality components of two field-grown Cucurbit species. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, v.35, n.3, p.297-307, 2011.

FEIJÃO-CAUPI

(*Vigna unguiculata* L. Walp.)

*Alberto Soares de Melo¹, Claudivan Feitosa de Lacerda²,
Rosilene Oliveira Mesquita², Rener Luciano de Souza Ferraz³,
Rômulo Carantino Lucena Moreira³, Igor Eneas Cavalcante¹,
Yuri Lima Melo¹, Antônia Leila Rocha Neves⁴, Hans Raj Gheyi³*

RESUMO: O feijão-caupi se desenvolve numa ampla faixa ambiental, com boa adaptabilidade em regiões semiáridas, as quais podem estar propensas a problemas de salinidade do solo e da água de irrigação. O acúmulo de sais na zona radicular reduz a absorção de água e o crescimento das plantas, acarretando redução na produtividade das culturas, incluindo o feijão-caupi. Neste capítulo serão apresentadas informações sobre sua variabilidade genética em termos de tolerância à salinidade, mecanismos de adaptação ao ambiente salino e respostas de crescimento e produtividade sob diferentes condições de estresse salino. Esse conjunto de informações pode auxiliar na inserção dessa cultura em sistemas produtivos sustentáveis da agricultura biosalina, mediante a utilização de práticas culturais, como a cobertura morta, rotação de culturas, consórcios, bem como de estratégias de manejo do solo e da água de irrigação.

¹ Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, Campina Grande - PB, Brasil

² Universidade Federal do Ceará - UFC, Fortaleza - CE, Brasil

³ Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande - PB, Brasil

⁴ Bolsista Funcap/SDE-CE/UFC, Fortaleza - CE, Brasil

* Autor correspondente: alberto.melo@servidor.uepb.edu.br

Palavras-chave: Feijão Vigna; feijão cowpea; variabilidade genética; produtividade; estresse salino; biosalinidade.

COWPEA (*Vigna unguiculata*)

ABSTRACT: Cowpea grows in a wide environmental range, with good adaptability in semi-arid regions, which may be prone to soil and irrigation water salinity problems. The accumulation of salts in the root zone reduces water absorption and plant growth, leading to reduction in crop productivity, including cowpea. In this chapter, information on their genetic variability in terms of salinity tolerance, saline adaptation mechanisms, growth and productivity responses under different salt stress conditions will be presented. This set of information can help insert this crop into sustainable production systems of biosaline agriculture, through the use of cultural practices, such as mulching, crop rotation, intercropping, as well as soil and irrigation water management strategies.

Key words: Vigna bean; genetic variability; productivity; salt stress; biosalinity

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.], também conhecido como feijão-de-corda e feijão macassar, é originário da África, porém se desenvolve numa ampla faixa ambiental, desde a latitude 40° N até 30° S. Adapta-se ao cultivo tanto em terras altas como baixas, no Oeste da África, na Ásia, na América Latina e na América do Norte (Cardoso et al., 2005; Dadson et al., 2005; Freire Filho et al., 2005). Constitui importante cultivo agrícola em vários países da América Central e do Sul, com boa adaptabilidade a regiões semiáridas (Melo et al., 2022). No Brasil, as regiões Norte e Nordeste abrangem as maiores áreas plantadas com feijão-caupi, cultura que tem participação importante na dieta alimentar, especialmente no Sertão Nordestino, pois fornece alimento de alto valor nutritivo, gerando emprego e renda na zona rural e urbana.

No entanto, no semiárido brasileiro o uso da irrigação é necessário em função das condições climáticas (altas temperaturas, distribuição irregular de chuvas no tempo e no espaço e intensa evaporação). O que têm causado e intensificado problemas de salinização de solos em função dos elevados teores de sais em grande parte das águas disponíveis, associados ao manejo inadequado da irrigação e drenagem. Isso tem ocasionado redução no crescimento e na produtividade das culturas agrícolas, culminando no abandono de áreas significativas em lotes dos perímetros de irrigação da região.

De acordo com Ayers & Westcot (1999), o feijão-caupi é considerado moderadamente tolerante à salinidade, mas existe certo grau de variabilidade genética entre diferentes genótipos dessa espécie (Dantas et al., 2002; Costa et al., 2003). Almeida et al. (2011) avaliaram dez genótipos de feijão-caupi, do Banco Ativo de Germoplasma do Caupi da Universidade Federal do Ceará, quanto à tolerância à salinidade nos estádios iniciais do desenvolvimento e concluíram que existe variabilidade genética entre os genótipos até o nível de 7,5 dS m⁻¹ na água de irrigação.

Ressalte-se que três genótipos foram mais promissores para futuros cruzamentos, os quais podem ser utilizados na obtenção de cultivares superiores para essa característica (Almeida et al., 2011). Outros resultados também demonstram que há diferenças na tolerância conforme o estágio de desenvolvimento dessa planta (Neves et al., 2015; Soares Filho et al., 2016). Essas respostas elevam o potencial da cultura do feijão-caupi para cultivos de agricultura bioassalina, especialmente quando associada às estratégias de manejo das águas salobras ou quando associada em sistemas de consórcio ou de rotação de culturas (Bezerra et al., 2010a; Lacerda et al., 2011a; Araújo et al., 2021).

Nesse capítulo serão apresentadas informações sobre a variabilidade genética do feijão-caupi em termos de tolerância à salinidade, os mecanismos de adaptação ao ambiente salino e as respostas de crescimento e produtividade sob diferentes condições de estresse salino.

2 VARIABILIDADE GENÉTICA E TOLERÂNCIA À SALINIDADE

Desde tempos longínquos, já eram observadas mudanças expressivas entre plantas de uma mesma espécie e isso tem permitido que a comunidade científica vislumbre a possibilidade

de selecionar aquelas variedades que apresentam características de interesse, além de proceder melhoramento genético para obtenção de cultivares com desempenhos superiores aos seus parentais (Bradshaw, 1965; Becker & Leon, 1988).

Dentre essas espécies, o feijão-caupi também apresenta variabilidade genética que pode ser, inicialmente, expressa pelos indicadores agrônômicos e de rendimento em resposta, por exemplo, às variações do ambiente. Assim, a seleção de genótipos e desenvolvimento de cultivares com características de interesse perfaz a necessidade de resgatar sua origem na província de Limpopo na República da África do Sul, onde ocorre a presença da maioria das variedades botânicas selvagens primitivas, incluindo *rhomboidea*, *protracta*, *tennis* e *stenophylla* (NG & Maréchal, 1985; Freire Filho et al., 2005; Omoigui et al., 2006).

No Brasil, os Bancos de Sementes Comunitários, os Guardiões de Sementes Crioulas, os bancos de germoplasma de instituições de pesquisa e os Programas de Melhoramento Genético de Feijão-Caupi têm dado relevante contribuição para a disponibilização de genótipos, variedades tradicionais e cultivares adaptadas às características peculiares dos mais variados agroecossistemas de cultivo. Por exemplo, citam-se aqueles de ocorrência frequente no semiárido e com capacidade de sobrevivência em ambientes caracterizados pela salinidade do solo e da água de irrigação (Soares Filho et al., 2016).

No que concerne à tolerância dessa espécie à salinidade, vale destacar que ampla diversidade genotípica e plasticidade fenotípica são expressas a partir de respostas fisiológicas e bioquímicas que se refletem na dinâmica de como as plantas acumulam biomassa nos seus órgãos vegetativos e reprodutivos, sendo isso determinante para indicar os genótipos considerados tolerantes e sensíveis aos efeitos da salinidade (Dantas et al., 2002; Costa et al., 2003).

A variabilidade genética para indicação de tolerância à salinidade entre acessos, variedades e cultivares de feijão-caupi, geralmente, é avaliada a partir de variáveis de crescimento, incluindo altura da planta, área foliar por planta, número de folhas, comprimento da parte aérea, comprimento da raiz, biomassa por planta, conteúdo relativo de água na folha e índice de tolerância à salinidade, por exemplo (Win & Oo, 2015). Com o advento da biologia molecular e sua aplicação na área das Ciências Agrárias, análise com marcadores genéticos moleculares também tem sido utilizada para evidenciar a variabilidade genética em feijão-caupi (Bashandy & El-Shaieny, 2016). Em virtude das diferentes formas de avaliação relatadas, Ravelombola et al. (2019) desenvolveram e validaram uma metodologia simplificada para a triagem rápida de grande número de genótipos de feijão-caupi quanto à tolerância à salinidade.

Independente da técnica de avaliação, o fato comum é que ao longo do tempo os pesquisadores têm se dedicado à identificação de genótipos de feijão-caupi tolerantes à salinidade em muitos países que cultivam a espécie. Contudo, há de se considerar que existem inúmeros fatores que potencializam os efeitos negativos dos sais sobre os feijoeiros, fatores estes inerentes aos locais de cultivo, seja entre um e outro país ou até mesmo em uma mesma região do mesmo país. Isso ratifica o ensejo de se buscar genótipos identificados como

tolerantes em pesquisas individuais, em países distintos e comparar seus desempenhos em um ambiente salino, mantidas as demais características controladas.

Nessa perspectiva, Ravelombola et al. (2021), nos Estados Unidos da América, avaliaram 331 genótipos de feijão-caupi oriundos de mais de 32 países, comparando-os quanto à tolerância ao estresse salino. Os autores verificaram variabilidade genética, destacando que alguns genótipos, de fato, são tolerantes, enquanto outros são sensíveis. Em estudo anterior, Ravelombola et al. (2017) avaliaram um total de 155 genótipos de feijão-caupi sob estresse salino nos estágios de germinação e crescimento inicial de plântulas e já sinalizavam para ampla variabilidade genética. Isso foi ratificado por Dong et al. (2019), que registraram variação na tolerância à salinidade entre os 155 genótipos de feijão-caupi pesquisados.

Na Indonésia, em Malang, uma cidade da Ilha de Java, Trustinah & Nugrahaeni (2021) avaliaram 125 genótipos de feijão-caupi sob salinidade e constataram variabilidade genética. Nesse estudo foram avaliados: altura da planta, número de ramos, número de nós, número de vagens, comprimento de vagens, número de sementes por vagens e peso de sementes. Com base na produção de sementes e nos índices de tolerância, os autores selecionaram seis genótipos (MLG 17019, MLG 17055, MLG 17060, MLG 17186, KT 4, e KT 6) tolerantes à salinidade. Tais genótipos se mostraram promissores para melhoramento genético da cultura visando tolerância ao estresse salino.

No Brasil, no estado do Piauí, a variabilidade genética de feijão-caupi em relação à tolerância ao estresse salino foi investigada por Miranda et al. (2021), os quais constataram diferenças entre os genótipos e concluíram que o genótipo Pitiúba ativa respostas coordenadas para mitigar danos moderados aos sais, constituindo-se em uma alternativa para o cultivo. No estado do Rio Grande do Norte, Praxedes et al. (2020) estudaram 23 variedades crioulas (tradicionais) na fase de germinação e crescimento inicial e atestaram a existência de variabilidade genética quanto à capacidade de tolerar salinidade. Constataram que as variedades Costela de Vaca, Canário, Feijão Branco, Ceará e Boquinha são as mais tolerantes, enquanto as variedades Sempre Verde e Manteiga são as mais sensíveis.

No estado do Ceará, Almeida et al. (2011) procederam pré-ensaio com trinta genótipos de feijão-caupi, sendo verificada variabilidade genética entre os genótipos quanto às respostas ao estresse salino e foram selecionados os dez genótipos mais tolerantes para uma pesquisa posterior. Nesta, foi verificada que entre esses dez materiais ainda havia variabilidade genética, motivo pelo qual recomendaram a realização de cruzamentos entre os genótipos CE-182 e CE-250 e entre CE-551 e CE-09 para a obtenção de progênies superiores no desenvolvimento de cultivares tolerantes à salinidade.

A variabilidade genética do feijão-caupi é de fundamental importância para fomentar os programas de melhoramento genético da cultura, haja vista que permite a identificação de materiais que, mesmo afetados pelos sais, expressam reduções de rendimento menores do que aqueles considerados sensíveis. Isso consiste em contribuição expressiva para provimento de proteínas de baixo custo e segurança alimentar, sobretudo para as regiões semiáridas, como a Região Nordeste do Brasil.

3 RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS

O estresse salino afeta diversos processos fisiológicos e bioquímicos das plantas, em função dos efeitos iônicos e osmóticos associados ao acúmulo de sais no ambiente (Gomes-Filho et al., 2008; Farooq et al., 2020; Rahali-Osmame et al., 2020). No caso do feijão-caupi, o estresse salino reduz a absorção de água e de nutrientes, provoca acúmulo de íons potencialmente tóxicos, inibe as trocas gasosas foliares, reduz a fluorescência da clorofila e aumenta a peroxidação de lipídeos e a produção de espécies reativas de oxigênio (Wilson et al., 2006a; Lacerda et al., 2009; Praxedes et al., 2010; Guimarães et al., 2011; Silva et al., 2013; Oliveira et al., 2016; Oliveira et al., 2018; Sá et al., 2018; Praxedes et al., 2020). Em resposta a esses efeitos, as plantas buscam se ajustar mediante alterações nas características morfofisiológicas foliares, bem como em respostas bioquímicas e moleculares, as quais são descritas abaixo.

3.1 Mecanismos de adaptação

O estresse salino altera a morfofisiologia das folhas de feijão-caupi, promovendo aumento na suculência, massa específica e concentração de clorofila por unidade de área foliar (Costa et al., 2003; Trindade et al., 2006). O aumento do grau de suculência permite a regulação da concentração de sais nos tecidos foliares e depende, diretamente, da absorção, transporte e acúmulo de íons nos tecidos das folhas. Isso pode contribuir para reduzir o efeito dos sais sobre o metabolismo celular e o crescimento da planta, sendo uma resposta mais comum em dicotiledôneas. Entretanto, esse mecanismo é menos eficiente do que a retenção dos íons potencialmente tóxicos (Na^+ e Cl^-) nos caules e raízes (Trindade et al., 2006), possivelmente pela baixa capacidade do feijão-caupi para compartimentalizar esses íons nos vacúolos.

Estudo mais detalhado sobre a morfofisiologia foliar do feijão-caupi sob estresse salino demonstrou que as respostas dependem do tipo de folha e do tempo de exposição ao estresse (Lacerda et al., 2006), indicando que a amostragem desses materiais para análise é uma etapa importante na identificação das alterações provocadas pelo estresse. Observou-se, por exemplo, maior acúmulo de íons potencialmente tóxicos (Na^+ e Cl^-) nas folhas mais velhas, o que de certa forma, contribui para reduzir o acúmulo desses íons nos tecidos em crescimento. Porém, também se observou resposta similar para os teores de K e P, o que pode ser consequência de redução na translocação face às mudanças na relação fonte/dreno. De acordo com esses autores, tais alterações, associadas ao aumento de suculência, massa específica e teor de clorofila, podem constituir parte de um processo integrado de aclimação da planta ao estresse salino. Entretanto, é possível que parte dessas respostas constituam um mecanismo de sobrevivência às condições de estresse salino severo, não necessariamente com manutenção de altas produtividades, considerando-se o alto custo metabólico associado a tais alterações (Munns & Gilliam, 2015).

Oliveira et al. (2018) destacam estudo funcional do aparato fotossintético como indicador fisiológico muito útil para se avaliar a sensibilidade das plantas ao estresse abiótico

ambiental, incluindo o estresse salino, principalmente por ser uma análise não invasiva, altamente sensível, rápida e confiável. O fotossistema II (PSII) é um componente sensível da máquina fotossintética e responsivo ao estresse salino, ou seja, alterações mínimas na fluorescência promovem reduções na eficiência desse fotossistema e na cadeia de transporte de elétrons, alterando a taxa de transporte de elétrons e acarretando diminuição da atividade fotossintética (Parihar et al., 2015).

Uma das principais características da tolerância do feijão-caupi à salinidade é a homeostase iônica. O estresse salino causa diminuição da homeostase iônica por acumulação de íons potencialmente tóxicos como o Na^+ e o Cl^- em diferentes partes da planta (Souza et al., 2011; Farooq et al., 2020). A presença de sais no sistema radicular desestabiliza as membranas celulares, o que intensifica a peroxidação de lipídios e desnaturação de proteínas e ocasiona o aumento no vazamento de eletrólitos em feijão-caupi (Maia et al., 2015).

Os danos causados pela salinidade aos sistemas de membranas intensificam a produção de Espécies Reativas de Oxigênio (EROs) em feijão-caupi, o qual ativa o metabolismo antioxidante mediado, principalmente, pelas enzimas SOD, APX, CAT e POX (Desoky et al., 2020; Maia et al., 2020). Neste processo, a SOD converte o superóxido em H_2O_2 , que é convertido em água e oxigênio pelo ciclo da catalase e/ou ascorbato-glutationa. Adicionalmente, a APX usa o ascorbato como doador de elétrons para reduzir H_2O_2 e é importante na desintoxicação deste radical livre junto à catalase (Rahali-Osmane et al., 2020).

Atuações das enzimas antioxidantes, associadas à exclusão foliar de Na^+ e à manutenção da disponibilidade de carboidratos solúveis, contribuem para a tolerância do feijão-caupi, mesmo sob altas concentrações de NaCl (Souza et al., 2011; Desoky et al., 2020). No feijão-caupi, o aumento de Na^+ nos pecíolos, caule e raízes em relação às folhas sugere o eficiente mecanismo de exclusão de Na^+ do órgão fotossintético, sendo geralmente considerada uma característica que contribui para sua tolerância à salinidade (Trindade et al., 2006; Le et al., 2021). Estes mecanismos integram características fisiológicas favoráveis à manutenção do processo fotossintético após exposição do feijão-caupi à salinidade, especialmente quanto à atividade fotoquímica.

Para Praxedes et al. (2010), o acúmulo de Na^+ nas raízes é um eficiente mecanismo de restrição do movimento deste elemento para a parte aérea das plantas, sendo uma característica de tolerância do gênero *Vigna* à salinidade. Associado a isto, resultados de Souza et al. (2011) sugerem a presença de um mecanismo ativo de exclusão de Na^+ nas folhas. Tal mecanismo de controle das concentrações intracelulares de Na^+ está atrelado a ação de proteínas antiportadoras localizadas tanto na membrana do vacúolo, a exemplo da proteína transmembrana da superfamília NHX, quanto de proteínas localizadas no citoplasma e membrana plasmática, a exemplo das proteínas da superfamília SOS (*Salt Overly Sensitive*), dentre outras (Torquato, 2014; Mishra et al., 2015).

O mecanismo de detecção do estresse salino por meio da via SOS em feijão-caupi se inicia pela ação da proteína SOS3 que é um sensor de cálcio. Esta proteína se liga a uma proteína quinase SOS2, formando o complexo SOS2-SOS3 que ativa a expressão da SOS1, proteína responsável pela extrusão celular de Na^+ (Torquato, 2014). A atuação da SOS1 na

membrana plasmática também restringe a importação de Na^+ por meio da superfamília de proteínas transportadoras HKT, de alta afinidade pelo K^+ , o que ajuda a manter o balanço K^+/Na^+ em condições favoráveis para o metabolismo celular (Guimarães et al., 2011).

No contexto, Desoky et al. (2020) destacam que o aumento da salinidade no substrato inibe a absorção de íons benéficos (K^+ , Ca^{2+} e NO_3^-) pelas raízes do feijão-caupi, resultando em proporções reduzidas de K^+/Na^+ , com valores inferiores a 1,0 (relacionando as concentrações molares), o que sugere toxicidade iônica. O controle da entrada de íons salinos no ambiente celular contribui para um ajustamento osmótico que é auxiliado pela ação de osmólitos compatíveis, a exemplo do K^+ , Ca^{2+} , prolina, glicina-betaína e outros. Embora favoreça a absorção de água, o ajustamento osmótico tem custo metabólico elevado e desvia energia e carbono que seriam utilizados no crescimento da planta (Munns & Gilliam, 2015).

A prolina é produzida a partir do glutamato no citosol ou cloroplastos, onde a sua síntese é controlada pela expressão de genes que participam da síntese da enzima $\Delta 1$ -pirrolina-5-carboxilato sintase (P5CS) e da pirrolina-5-carboxilato redutase (P5CR) (Rahali-Osmane et al., 2020). Em concentrações de 75 mol L^{-1} de NaCl, plantas de feijão-caupi aumentaram em mais de 300% seus níveis de prolina já nos primeiros 7 dias de estresse (Chaturvedi et al., 2017b). Em plantas de feijão-caupi submetidas à irrigação com água salina de até $7,0 \text{ dS m}^{-1}$, o aumento na concentração de prolina está relacionado ao seu papel osmoprotetor, o qual garante a estrutura de biomoléculas e auxilia na manutenção do aporte hídrico intracelular (Desoky et al., 2020).

3.2 Emprego de elicitores

Avanços recentes em estudos moleculares produziram percepções sobre as redes de sinalização de interações planta-micróbio que contribuem para a tolerância à salinidade. Os efeitos benéficos das rizobactérias promotoras do crescimento das plantas envolvem o aumento dos principais processos fisiológicos, incluindo a absorção de água e nutrientes, fotossíntese e relações fonte-dreno que promovem o crescimento e o desenvolvimento (Ilangumaran & Smith, 2017).

No geral, as coinoculações com *Bradyrhizobium* sp. beneficiam o metabolismo do carbono em plantas de feijão-caupi, mesmo quando cultivadas sob estresse salino. De acordo com Santos et al. (2018), a espécie apresentou boa eficiência na fixação de nitrogênio, mesmo quando as plantas foram cultivadas em condições de 50 mol L^{-1} de NaCl. No feijão-caupi, após inoculação com *Bradyrhizobium*, a germinação e o desenvolvimento inicial foram mais eficientes na concentração de 75 mol L^{-1} de NaCl, assim como o rizóbio incrementou a tolerância da espécie à salinidade por meio do aumento no conteúdo de prolina e proteínas, além da redução na peroxidação de lipídios (Chaturvedi et al., 2017a, 2017b).

Sob condições de salinidade no solo, a aplicação da inoculação com *Bradyrhizobium* tolerante à salinidade aliviou os efeitos nocivos do estresse salino pelo aumento da nodulação, intensificou a dinâmica de crescimento, além de aumentar a absorção de potássio e reduzir a absorção de sódio em plantas de feijão-caupi (Omara & El-Gaafarey, 2018).

Já a aplicação exógena de nitrogênio, com 500 mg L⁻¹ de nitrato de potássio e ácido silícico (50 mg L⁻¹) em plantas de feijão-caupi submetidas a irrigação com água salina (4 dS m⁻¹), aumentou a atividade das enzimas polifenol oxidase, peroxidase, nitrato redutase e da fenilalanina amônia-liase, comprovando que os eliciadores são biomoléculas promissoras na mitigação dos efeitos da salinidade por meio da eliminação de EROs (Patel et al., 2019). Em estudo semelhante, Riddhi et al. (2019) constataram que a aplicação de 500 mg L⁻¹ de nitrato de potássio e 50 mg L⁻¹ de ácido silícico aumentaram os níveis de açúcares solúveis totais, açúcares redutores, prolina e outros parâmetros fisiológicos, o que sugere o grande potencial bioquímico e fisiológico destas biomoléculas para eliminar EROs em condições de salinidade.

Durante o desenvolvimento inicial do feijão-caupi, a aplicação de 1,0 mol L⁻¹ de ácido salicílico (AS) incrementou os teores de clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila total após irrigação com água salina com 7,5 dS m⁻¹ de NaCl (Ünlü et al., 2009). A atuação do AS em feijão-caupi submetido a condições salinas ainda é pouco explorada. Contudo, a aplicação de 1 mol L⁻¹ de AS na referida espécie sugere a ação mitigadora do eliciador sobre os efeitos da irrigação com água salina de até 150 mol L⁻¹ de NaCl, representados por incrementos em indicadores de crescimento, produção de biomassa, status hídrico e fluorescência da clorofila *a* (Hayimro, 2017). Gul et al. (2018) identificaram que a aplicação de 1,0 mol L⁻¹ de AS reduziu o efeito prejudicial dos sais na água de irrigação de até 5,0 dS m⁻¹ sobre o crescimento de plantas de feijão-caupi, além de melhorar o crescimento nas plantas sem estresse.

A embebição de sementes do gênero *Vigna* em 50 µmol L⁻¹ de AS melhorou as proteínas totais, pigmentos fotossintéticos e o conteúdo relativo de água, bem como causou uma redução no conteúdo de Malondialdeído (MDA) ao manter níveis adequados de atividade antioxidante, que favorece o aumento da fotossíntese e maior produção de biomassa (Farheen et al., 2018). Também em estudos com o mesmo gênero, Khan et al. (2014) concluíram que a aplicação de 0,5 mol L⁻¹ de AS aliviou os efeitos negativos da salinidade (100 mol L⁻¹ de NaCl) por meio do aumento no acúmulo de glicina-betaína, metionina e etileno, que induzem o sistema antioxidante e protegem os processos fotossintéticos do estresse oxidativo.

Considerada molécula com grande potencial eliciador em leguminosas submetidas ao estresse salino, o silício mitiga a maior parte do estresse abiótico por sua ação em atributos reguladores de trocas gasosas, estresse oxidativo, osmólitos e fitohormônios (Zhang et al., 2017). Murillo-Amador et al. (2007) relataram que o estresse com 40 mmol L⁻¹ de NaCl no cultivo hidropônico do feijão-caupi causou reduções significativas no crescimento da planta, mas a suplementação de 1,0 mol L⁻¹ CaSiO₃ melhorou seu crescimento pelo aumento da fotossíntese líquida, conteúdo de clorofila, condutância estomática transpiração e dióxido de carbono intercelular (CO₂).

O Si atua como uma barreira fisiológica para proteger as plantas de múltiplos estresses abióticos, pois se deposita abaixo da cutícula, para formar uma camada dupla (cutícula-Si). Em leguminosas em geral, o efeito do Si pode depender da sua concentração de aplicação, forma, método de aplicação e tempo de processamento (Zhang et al., 2017).

Poucos estudos discutem a atuação do Si em leguminosas sob estresse salino, principalmente na espécie *Vigna unguiculata* L. Walp. No entanto, a aplicação de Si alivia os efeitos

prejudiciais da salinidade no gênero *Vigna*, modulando processos metabólicos importantes, como taxa fotossintética, metabolismo de enzimas antioxidantes (SOD, CAT, APX e GR) e produção de osmólitos compatíveis. Além disto, a suplementação de Si diminui a captação de Na^+ e o acúmulo de H_2O_2 e MDA, bem como o vazamento de eletrólitos (Ahmad et al., 2019). Neste sentido, mais estudos são necessários para investigar os mecanismos fisiológicos, bioquímicos e moleculares da tolerância aos sais mediada pelo Si em plantas de feijão-caupi, o que pode levar ao desenvolvimento de cultivares desta cultura tolerantes à salinidade.

Outras biomoléculas se mostram promissoras na mitigação dos efeitos da salinidade sobre o feijão-caupi. No tratamento de sementes do feijão-caupi, a embebição com $50 \mu\text{mol L}^{-1}$ de metil jasmonato aumentou a tolerância ao estresse salino em concentrações de até 100mmol L^{-1} de NaCl, pois melhora os atributos de crescimento, induz o acúmulo de prolina, açúcares solúveis e o conteúdo de proteínas; além de intensificar a síntese de clorofilas, a taxa fotossintética líquida e manter o status hídrico da espécie (Sadeghipour, 2017).

Aplicações de $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ de selênio (Na_2SeO_4) e 10mmol L^{-1} de glicina betaína incrementaram indicadores de crescimento, concentrações de pigmentos fotossintéticos, osmólitos compatíveis e a atividade de enzimas antioxidantes em plantas de feijão-caupi sob 50mmol L^{-1} de NaCl (Manaf, 2016). Já a aplicação foliar de $1,3 \text{g L}^{-1}$ de ascorbina em plantas de feijão-caupi sob 75mmol L^{-1} de NaCl aumentou a produção de massa fresca e seca, pigmentos fotossintéticos, induziu o acúmulo de metabólitos não tóxicos (açúcares, prolina e glicina betaína), além de melhorar os níveis de NPK e ácido ascórbico, o que garante boa produtividade, comprovando que o eliciador aumentou a tolerância da espécie à salinidade (Abdelgawad, 2014).

O uso de bioestimulantes, a exemplo dos extratos vegetais, permite que as espécies de plantas, a exemplo do feijão-caupi, diminuam consideravelmente os efeitos da salinidade. A pré-embebição das sementes de feijão-caupi em extratos de raízes de cenoura (250g L^{-1}) e submetidos a 100mmol L^{-1} de NaCl aumentou o crescimento, clorofila total, carotenoides, carboidratos totais, síntese proteica e compostos antioxidantes, das mudas de feijão-caupi (Abbas & Akladios, 2013). Extratos de sementes de erva-doce e *Ammi majus* serviram como fontes de macro e micronutrientes, α -tocoferol, compostos fenólicos e glutatona, e estimularam o sistema de defesa antioxidante do feijão-caupi irrigado com água de 7dS m^{-1} de salinidade (CE). Tais extratos modularam osmoprotetores (prolina e açúcares solúveis) e a atividade enzimática (CAT, POX, APX e SOD), além de antioxidantes não enzimáticos (carotenoides e glutatona) e mantiveram em níveis não tóxicos o Na^+ no tecido foliar (Desoky et al., 2020).

4 CRESCIMENTO E PRODUÇÃO

De acordo com Maas & Hoffman (1977), o feijão-caupi é uma espécie moderadamente sensível ao estresse salino. No entanto, a literatura tem mostrado que essa espécie tolera água salina com condutividade elétrica de até $3,3 \text{dS m}^{-1}$ e salinidade limiar do solo (CEes)

em torno de $4,9 \text{ dS m}^{-1}$, sendo classificada como moderadamente tolerante (Ayers & Westcot, 1999). Essa discrepância nas classificações apresentadas acima pode estar associada a diversos fatores, incluindo o material genético utilizado no estudo, as condições climáticas, o método de irrigação empregado, as variáveis utilizadas para quantificar a tolerância, dentre outros. Vale salientar que os resultados obtidos por Assis Júnior et al. (2007) parecem concordar com a classificação apresentada por Ayers & Westcot (1999), principalmente no que se refere à produção de grãos, indicando que essa cultura pode se constituir em alternativa para cultivos em solos salinos ou irrigados com água salina.

Já no início do desenvolvimento do feijão-caupi, o aumento da salinidade da água de irrigação acima de $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ reduziu a emergência, o crescimento e o acúmulo de matéria seca (Lima et al., 2017). O uso de águas salinas de até $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ durante a irrigação desta espécie prejudicou características morfofisiológicas, a exemplo do diâmetro do caule, número de nós do ramo principal, massa seca e altura das plantas, a partir dos primeiros 25 dias após a semeadura (Aquino et al., 2017). Do mesmo modo, plantas de feijão-caupi irrigadas com água salina a partir de $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ de condutividade elétrica apresentaram reduções na fotossíntese líquida, condutância estomática, transpiração e concentração interna de CO_2 , o que acarreta o aumento da eficiência do uso da água, inclusive, de maneira intrínseca (Oliveira et al., 2017). Por outro lado, dados integrados de biomassa e produtividade indicaram redução na eficiência do uso da água e de nutrientes (N, P e K) em plantas irrigadas com água salina de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$ durante todo o ciclo de produção (Lacerda et al., 2009).

Diversos autores têm estudado os efeitos da salinidade sobre o crescimento do feijão-caupi em diferentes condições de cultivo (Prisco, 1987; Lacerda, 1995; Dantas et al., 2002; Costa et al., 2003; Praxedes et al., 2010; Freitas et al., 2011; Guimarães et al., 2012). Lacerda (1995) avaliou os efeitos da salinidade no crescimento do feijão-caupi, cv. Pitiúba, utilizando cultivo hidropônico, em condições de casa de vegetação. Os resultados obtidos demonstram que os efeitos da salinidade no crescimento vegetativo e reprodutivo são dependentes das condições do ambiente, sendo os efeitos da salinidade mais intensos nas plantas cultivadas durante a estação seca (alta demanda evaporativa do ar) do que na estação úmida (baixa demanda evaporativa do ar). A menor inibição do crescimento em condições de baixa demanda evaporativa deveu-se, principalmente, à manutenção de baixos teores de sódio e de cloreto no limbo foliar, aliada, provavelmente, ao menor efeito osmótico exercido pela salinidade nas plantas cultivadas nessas condições. Nas duas condições de cultivo, a salinidade afetou mais o crescimento da parte aérea do que o da raiz.

O NaCl, na concentração de 100 mmol L^{-1} , afetou com mais intensidade a capacidade fotossintética do feijão-caupi, o que causou reduções significativas no acúmulo de massa seca da semente e prejudicou a produção (Le et al., 2021). No entanto, para alguns pesquisadores, a tolerância à salinidade de feijão-caupi varia de acordo com os genótipos desta espécie, o que aumenta a importância da elucidação dos resultados obtidos de acordo com a variação genotípica, para que estes possam ser reproduzidos e aplicados em campo (Brito et al., 2015; Lima et al., 2017; Sá et al., 2017; Praxedes et al., 2020).

Dantas et al. (2002), trabalhando com 50 genótipos de feijão-caupi submetidos a níveis de salinidade no solo (extrato de saturação) de 0,3; 3,0; 6,0; 9,0 e 12 dS m⁻¹, em condições de casa de vegetação, mostraram que os genótipos Parambu, IPA 201 e EPACE 10 foram os que desenvolveram mecanismos de tolerância aos níveis crescentes de salinidade do solo. Por outro lado, os genótipos TE 97-367 G1, TE 97-309 G14 e TE 97-432 G5 foram mais sensíveis à salinidade do meio. Os autores também observaram que o nível de salinidade de 6,0 dS m⁻¹ mostrou-se o mais apropriado para se fazer avaliação de genótipos de feijão-de-corda para tolerância ao estresse salino, visto que provocou reduções de 10,43%, 20,03% e 17,76% na produção de fitomassa seca para os genótipos Parambu, IPA 201 e EPACE 10, respectivamente. Nos genótipos mais sensíveis (TE 97-367 G1, TE 97-309 G14 e TE 97-432 G5), as reduções foram de 62,30%, 62,82% e 63,67%, respectivamente.

Outro trabalho comparando as respostas de cultivares de feijão-caupi à salinidade, porém realizado em meio hidropônico, foi desenvolvido por Costa et al. (2003). Estes autores analisaram os efeitos da salinidade sobre o crescimento dos cultivares BR 10 Piauí, CE 670, EPACE 10, Pitiúba, TVU, Vita 3 e Vita 5, sob condições de casa de vegetação. A salinidade (NaCl a 75 mmol L⁻¹) reduziu a produção de matéria seca de todos os cultivares, sendo as maiores reduções observadas nos cultivares TVU (82%) e CE 670 (76%), e as menores nos cultivares Pitiúba (42,3%), Vita 5 (47%), EPACE 10 (50,2%) e BR 10 Piauí (52%). A partir dos dados de crescimento da parte aérea, os cultivares foram agrupados em dois grupos, sendo que os cultivares Pitiúba, Vita 5, EPACE 10 e BR 10 Piauí ficaram entre os mais tolerantes, enquanto os cultivares CE 670 e TVU foram os mais sensíveis à salinidade.

As concentrações de sais que restringem o crescimento do feijão-caupi variaram entre os cultivares e parecem depender da composição iônica do meio (Lacerda, 1995). De modo geral, a salinidade provocada pelo NaCl reduziu significativamente o crescimento dessa cultura (Prisco, 1987; Murillo-Amador et al., 2006), sendo que esses efeitos podem ser parcialmente revertidos pelo aumento na concentração de cálcio no meio nutritivo (Lacerda, 1995; Guimarães et al., 2011, 2012). Entretanto, os efeitos da diminuição da relação Na/Ca em meio salino variaram em função das condições ambientais e alguns efeitos negativos do aumento da concentração de CaCl₂ têm sido observados em estudos com feijão-caupi (Silva et al., 2003).

Por outro lado, Sousa et al. (2007), trabalhando em condições de casa de vegetação, concluíram que a salinidade provocou redução linear no crescimento vegetativo, sendo que as reduções na produção de matéria seca total atingiram valores superiores a 40%, no nível mais elevado de sal, ou seja, 4,5 dS m⁻¹. Esses autores observaram, no entanto, que a composição iônica da água de irrigação não influenciou na resposta à salinidade em termos de crescimento, sendo essas respostas similares em plantas irrigadas com soluções de NaCl ou com uma mistura de sais.

Assis Júnior et al. (2007), pesquisando em condições de campo, avaliaram o acúmulo de sais no solo e a produtividade do feijão-caupi em função da fração de lixiviação e da salinidade da água de irrigação. Comparando-se as médias dos tratamentos salinos (água com CEa de 5 dS m⁻¹) com as médias do tratamento com água do poço (CEa 0,8 dS m⁻¹), os autores registraram que os efeitos da salinidade no crescimento vegetativo (hastes e folhas) foram

maiores do que os observados para o crescimento reprodutivo (vagens e sementes), sendo as reduções médias de 48 e 36%, respectivamente. A redução na produtividade do feijão-caupi ocorreu, principalmente, pela redução no número de vagens, não sendo observados efeitos sobre o tamanho médio dos frutos e das sementes. Esses efeitos estão associados aos osmóticos, tóxicos e nutricionais do estresse salino, os quais afetam a assimilação líquida de CO_2 , inibem a expansão foliar e aceleram a senescência de folhas maduras, reduzindo, conseqüentemente, a área destinada ao processo fotossintético e a produção total de fotoassimilados (Munns, 2002; Lacerda et al., 2021b).

Estudo conduzido por Wilson et al. (2006b), com os doze cultivares de regiões produtoras de feijão-caupi dos Estados Unidos da América, demonstraram que a salinidade da água de irrigação variando de 2,6 a 20,5 dS m^{-1} provocou redução na área foliar e na produção de matéria seca da parte aérea e das raízes de todos os genótipos, medidas durante a fase de floração. Os resultados também indicaram que houve efeito significativo para a interação sal x cultivar para o crescimento foliar (área e matéria seca), indicando que existem diferenças no grau de tolerância entre os cultivares avaliados. A existência de variabilidade genética em relação à salinidade foi também obtida por Dantas et al. (2002) e Costa et al. (2003) com cultivares de regiões produtoras do Brasil. É importante destacar que o principal objetivo do trabalho desenvolvido por Wilson et al. (2006a) era a produção de massa verde na floração para incorporação ao solo, enquanto os trabalhos desenvolvidos no Brasil têm como principal interesse a produção de grãos (Assis Júnior et al., 2007; Neves et al., 2015).

Alguns trabalhos têm mostrado que a tolerância à salinidade em plantas de feijão-caupi varia de acordo com o estágio de desenvolvimento (Lacerda et al., 2009; Neves et al., 2009, 2010, 2015). Lacerda et al. (2009), trabalhando com o feijão-caupi, cv. EMPACE 10, verificaram que o uso de água salina apenas nos estádios de maior tolerância pode limitar os impactos da salinidade sobre o ambiente e sobre o desenvolvimento das plantas, aumentando as eficiências de uso de água e de nutrientes. As plantas que foram continuamente irrigadas com água salina tiveram redução tanto na produção de biomassa total, quanto na produtividade de grãos. Porém, a aplicação de água salina nas fases de floração e frutificação não afetou o crescimento vegetativo e a produção de grãos pelas plantas, resultando na manutenção das eficiências de utilização de água.

Uma resposta clara das plantas de feijão-caupi ao estresse salino é a redução do crescimento vegetativo, da área foliar e do índice de área foliar (Lacerda et al., 2011a). Esses resultados sugerem que é possível cultivar feijão-caupi com maior densidade de plantio sob condições de salinidade, mantendo o índice de área foliar (IAF) e a distribuição da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) em valores adequados ao processo de assimilação líquida de carbono pelas plantas. Nessas condições de cultivo, a redução do espaçamento de plantio resulta em ganhos de rendimento e na eficiência do uso da água do feijão-caupi, a qual aumenta a eficiência do uso da terra. Em outro estudo, Lacerda et al. (2011a) constataram que o aumento da densidade de plantio de 74.074 para 133.333 plantas ha^{-1} resultou em melhores respostas fotossintéticas e aumento de 31% na produtividade, quando a cultura foi irrigada com água de 5,0 dS m^{-1} .

O feijão-caupi é muito utilizado em sistemas em consórcio e em rotação de culturas sob condições não salinas, e esses sistemas podem também ser empregados com essa cultura sob condições de moderada salinidade (Bezerra et al., 2010a, 2010b; Lacerda et al., 2011a; Araújo et al., 2021). Sistemas em rotação de culturas com feijão-caupi/girassol, feijão-caupi/algodão e feijão-caupi/milho foram avaliados e apresentaram resultados promissores em solo salino durante o processo de recuperação e com uso de águas salobras na irrigação (Bezerra et al., 2010a; Lacerda et al., 2011b; Sousa et al., 2014; Neves et al., 2015). A rotação de culturas favorece a sustentabilidade do sistema de produção mesmo em ambientes salinos, notadamente quando se tem boa drenagem natural (Bezerra et al., 2010a; Lacerda et al., 2021).

Por outro lado, a condição microclimática do sistema de consórcio com milho contribui para reduzir a influência negativa da salinidade na produtividade do feijão-caupi, resultando em maiores valores do uso eficiente da terra (Araújo et al., 2021). Esses sistemas podem ser associados com práticas culturais, como a cobertura morta, a qual apresenta efeito mitigador do estresse salino no cultivo do feijão-caupi (Sousa et al., 2018; Canjá et al., 2021; Lessa et al., 2021).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O feijão-caupi é uma cultura que apresenta redução na expansão foliar e declínio na capacidade de assimilação de carbono quando exposta a condições moderadas de estresse salino, com impacto negativo na produtividade. No entanto, é possível identificar variabilidade genética intraespecífica que pode permitir a identificação de genótipos mais adaptados. Além disso, sabe-se hoje que a tolerância à salinidade difere entre os estádios de desenvolvimento da cultura. Esse conjunto de informações permite a inserção dessa cultura em sistemas produtivos da agricultura biosalina, mediante a utilização de práticas culturais, como a cobertura morta, de sistemas de cultivos mais sustentáveis (rotação de culturas e consórcios) e de estratégias de manejo do solo e da água de irrigação.

A aplicação de eliciadores, tais como silício, ácido salicílico e jasmonato, pode também ser uma alternativa promissora para reduzir o efeito do estresse salino no feijão-caupi. Essas substâncias regulam rotas metabólicas que envolvem mecanismos adaptativos aos estresses abióticos, incluindo a salinidade. No entanto, o uso de substâncias eliciadoras em feijão-caupi ainda representa um campo a ser explorado criteriosamente, tendo em vista as dificuldades ocasionadas pela variedade de genótipos e, principalmente, à variabilidade de condições e das respostas observada nos cultivos em campo.

LITERATURA CITADA

Abbas, S. M.; Akladios, S. A. Application of carrot root extract induced salinity tolerance in cowpea (*Vigna sinensis* L.) seedlings. *Pakistan Journal of Botany*, v.45, n.3, p.795-806, 2013.

- Abdelgawad, Z. A. Improving growth and yield of salt-stressed cowpea plants by exogenous application of ascobin. *Life Science Journal*, v.11, n.11, p.43-51, 2014.
- Ahmad, P.; Ahanger, M. A.; Alam, P.; Alyemeni, M. N.; Wijaya, L.; Ali, S.; Ashraf, M. Silicon (Si) supplementation alleviates NaCl toxicity in mung bean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] through the modifications of physio-biochemical attributes and key antioxidant enzymes. *Journal of Plant Growth Regulation*, v.38, n.1, p.70-82, 2019.
- Almeida, W. S.; Fernandes, F. R. B.; Bertini, C. H. C. M.; Pinheiro, M. S.; Teófilo, E. M. Identificação de genótipos de feijão-caupi tolerantes à salinidade avaliado por meio de método multivariado. *Ciência Rural*, v.41, p.1884-1889, 2011.
- Aquino, J. P. A. D.; Bezerra, A. A. D. C.; Alcântara Neto, F. D.; Lima, C. J. G. D. S.; Sousa, R. R. D. Morphophysiological responses of cowpea genotypes to irrigation water salinity. *Revista Caatinga*, v.30, n.4, p.1001-1008, 2017.
- Araújo, A. P. B.; Amorim, A.V.; Lacerda, C. F.; Sousa, C. H. C.; Oliveira, L. K. B.; Gheyi, H. R.; Araújo, M. E. B. Effect of intercropping on the growth and yield of cowpea and maize crops irrigated with brackish water. *International Journal Development Research*, v.11, p.46635-46638, 2021.
- Assis Júnior, J. O.; Lacerda, C. F.; Silva, F. B.; Silva, F. L. B.; Bezerra, M. A.; Gheyi, H. R. Produtividade do feijão-de-corda e acúmulo de sais no solo em função da fração de lixiviação e da salinidade da água de irrigação. *Engenharia Agrícola*, v.27, n.3 p.702-713, 2007.
- Ayers, R. S.; Westcot, D. W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande, UFPB, 1999, 153 p. Estudos FAO: Irrigação e Drenagem 29, Revisado.
- Bashandy, T.; El-Shaieny, A. Screening of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) genotypes for salinity tolerance using field evaluation and molecular analysis. *Journal of Agricultural Chemistry and Biotechnology*, v.7, n.9, p.249-255, 2016.
- Becker, H. B.; Leon, J. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding*, v.101, p.1-23, 1988.
- Bezerra, A. K. P.; Lacerda, C. F.; Hernandez, F. F. F.; Silva, F. B.; Gheyi, H. R. Rotação cultural feijão caupi/milho utilizando-se águas de salinidades diferentes. *Ciência Rural*, v.40, p.1075-1082, 2010a.
- Bezerra, M. E. J.; Lacerda, C. F.; Sousa, G. G.; Gomes, V. F. F.; Mendes-Filho, P. F. Biomassa, atividade microbiana e FMA em rotação cultural milho/feijão-de-corda utilizando-se águas salinas. *Revista Ciência Agronômica*, v.41, p.562-570, 2010b.

- Bradshaw, A. D. Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. *Advances in Genetics*, v.13, p.115-155, 1965.
- Brito, K. Q. D.; Nascimento, R. D.; dos Santos, J. E. A.; Campos e Silva, I. A.; Dantas Júnior, G. J. Production components of bean-cowpea genotypes irrigated with saline water. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.10, n.4, p.1-5, 2015.
- Canjá, J. F.; Sales, J. R. S.; Pinho, L. L.; Sousa, N. I. G.; Lacerda, C. F.; Sousa, G. G. Production and water use efficiency of peanut under salt stress and soil cover. *Revista Ciência Agronômica*, v.52, p.1-8, 2021.
- Cardoso, J. M.; Melo, F. B.; Lima, M. G. Ecofisiologia e manejo de plantio. In: Freire Filho, F. R.; Lima, J. A. A.; Ribeiro, V. Q. Feijão caupi: avanços tecnológicos. Brasília: EMBRAPA, 2005. Cap. 5, p 213 – 225.
- Chaturvedi, S.; Gudipati, T.; Shrivastav, A. Influence of rhizobacterium inoculation on NaCl salinity tolerance in Pusa Sukomal and RC101 varieties of cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Recent Advances in Biology and Medicine*, v.3, n.1858, p.35-41, 2017a.
- Chaturvedi, S.; Gudipati, T.; Shrivastav, A. Analysis of proline and MDA and protein profile in seedlings of cowpea exposed to NaCl salinity–influence of rhizobacterium on salt tolerance. *International Journal of Applied and Natural Sciences*, v.6, n.4, p.97-106, 2017b.
- Costa, P. H. A.; Silva, J. V.; Bezerra, M. A.; Enéas-Filho, J.; Prisco, J. T.; Gomes-Filho, E. Crescimento e níveis de solutos orgânicos e inorgânicos em cultivares de *Vigna unguiculata* submetidos à salinidade. *Revista Brasileira de Botânica*, v.26, n.3, p.289-297, 2003.
- Dadson, R. B.; Hashem, F. M.; Javid, I.; Joshi, J.; Allen, A. L.; Devine, T. E. Effect of water stress on the yield of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] genotypes in the Delmarva region of the United States. *Journal of Agronomy & Crop Science*, v.191, p.210-217, 2005.
- Dantas, J. P.; Marinho, F. J. L.; Ferreira, M. M. M.; Amorim, M. S. N.; Andrade, S. I. O.; Salles, A. L. Avaliação de genótipos de caupi sob salinidade. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, p.425-430, 2002.
- Desoky, E. S. M.; El-Maghraby, L. M.; Awad, A. E.; Abdo, A. I.; Rady, M. M.; Semida, W. M. Fennel and ammi seed extracts modulate antioxidant defence system and alleviate salinity stress in cowpea (*Vigna unguiculata*). *Scientia Horticulturae*, v.272, p.109576, 2020.

- Dong, L.; Ravelombola, W.; Weng, Y.; Qin, J.; Bhattarai, G.; Zia, B.; Zhou, W.; Wang, Y.; Mou, B.; Shi, A. Seedling salt tolerance for above ground-related traits in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). *Euphytica*, v.215, n.53, p.1-18, 2019.
- Farheen, J.; Mansoor, S.; Abideen, Z. Exogenously applied salicylic acid improved growth, photosynthetic pigments and oxidative stability in mungbean seedlings (*Vigna radiata*) at salt stress. *Pakistan Journal of Botany*, v.50, n.3, p.901-912, 2018.
- Farooq, M.; Rehman, A.; Al-Alawi, A. K.; Al-Busaidi, W. M.; Lee, D. J. Integrated use of seed priming and biochar improves salt tolerance in cowpea. *Scientia Horticulturae*, v.272, p.109507, 2020.
- Freire-Filho, F. R.; Ribeiro, V. Q.; Barreto, P. D.; Santos, A. A. Melhoramento genético. In: Freire-Filho, F. R.; Lima, J. A. A.; Ribeiro, V. Q. Feijão caupi: avanços tecnológicos. Brasília: EMBRAPA, 2005. Cap. 1. p 29–92.
- Freitas, V. S.; Alencar, N. L. M.; Lacerda, C. F.; Prisco, J. T.; Gomes-Filho, E. Changes in physiological and biochemical indicators associated with salt tolerance in cotton, sorghum and cowpea. *African Journal of Biochemistry Research*, v.5, p.264-271, 2011.
- Gomes-Filho, E.; Lima, C. R. F. M.; Costa, J. H.; Silva, A. C. M.; Lima, M. G. S.; Lacerda, C. F.; Prisco, J. T. Cowpea ribonuclease: Properties and effect of NaCl-salinity on its activation during seed germination and seedling establishment. *Plant Cell Reports*, v.27, p.147-157, 2008.
- Guimarães, F. V. A.; Lacerda, C. F. de; Marques, E. C.; Miranda, M. R. A. de; Abreu, C. E. B. de; Prisco, J. T.; Gomes-Filho, E. Calcium can moderate changes on membrane structure and lipid composition in cowpea plants under salt stress. *Plant Growth Regulation*, v.65, n.1, p.55-63, 2011.
- Guimarães, F. V. A.; Lacerda, C. F.; Marques, E. C.; Abreu, C. E. B.; Aquino, B. F.; Prisco, J. T.; Gomes-Filho, E. Supplemental Ca²⁺ does not improve growth but it affects nutrient uptake in NaCl-stressed cowpea plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.24, p.9-18, 2012.
- Gul, H.; Husna; Pervez, N.; Khan, Y.; Ahmad, M.; Sayyed, A.; Arif, M. Salicylic acid prevents the deleterious impact of salt stress on *Vigna unguiculata* L. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, v.8, n.8, p.1-13, 2018.
- Hayimro, A. Salicylic acid induced alteration in growth and physiological attributes of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] cultivars grown under salinity stress. Gondar: University of Gondar, 2017. 40p. Doutoral Thesis

- Ilangumaran, G.; Smith, D. L. Plant growth promoting rhizobacteria in amelioration of salinity stress: a systems biology perspective. *Frontiers in Plant Science*, v.8, p.1768, 2017.
- Khan, M. I. R.; Asgher, M.; Khan, N. A. Alleviation of salt-induced photosynthesis and growth inhibition by salicylic acid involves glycinebetaine and ethylene in mungbean (*Vigna radiata* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, v.80, p.67-74, 2014.
- Lacerda, C. F. Efeitos da salinidade no desenvolvimento e composição mineral do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e utilização do Ca^{2+} como meio para minorar tais efeitos. 1995. 87 f. Dissertação de Mestrado
- Lacerda, C. F.; Assis Júnior, J. O.; Lemos Filho, L. C. A.; Oliveira, T. S.; Guimarães, F. V. A.; Gomes Filho, E.; Prisco, J. T.; Bezerra, M. A. Morpho-physiological responses of cowpea leaves to salt stress. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.18, p.455-465, 2006.
- Lacerda, C. F.; Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F.; Costa, R. N. T.; Sousa, G. G.; Lima, G. S. Strategies for the use of brackish water for crop production in Northeastern Brazil. In: Taleisnik, E.; Lavado, R. S. (Org.). *Saline and alkaline soils in Latin America: Natural resources, management, and productive alternatives*. 1.ed. Cham: Springer, 2021, p. 71-99.
- Lacerda, C. F.; Neves, A. L. R.; Guimarães, F. V. A.; Silva, F. L. B.; Prisco, J. T.; Gheyi, H. R. Eficiência de utilização de água e nutrientes em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. *Engenharia Agrícola*, v.29, p.221-230, 2009.
- Lacerda, C. F.; Silva, F. B.; Neves, A. L. R.; Silva, F. L. B.; Gheyi, H. R.; Ness, R. L. L.; Gomes Filho, E. Influence of plant spacing and irrigation water quality on a cowpea-maize cropping system. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*, v.1, p.163-167, 2011a.
- Lacerda, C. F.; Sousa, G. G.; Silva, F. L. B.; Guimarães, F. V. A.; Silva, G. L.; Cavalcante, L. F. Soil salinization and maize and cowpea yield in the crop rotation system using saline waters. *Engenharia Agrícola*, v.31, n.4, p.663-675, 2011b.
- Le, L.T. T.; Kotula, L.; Siddique, K.H.; Colmer, T. D. Na^+ and/or Cl^- toxicities determine salt sensitivity in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.), mungbean (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek), cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), and common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *International Journal of Molecular Sciences*, v.22, n.4, p.1909, 2021.

- Lessa, C. I. N.; Sousa, G. G.; Sousa, H. C.; Silva Junior, F. B.; Sousa, J. T. M.; Lacerda, C. F. Influência da cobertura morta vegetal e da salinidade sobre as trocas gasosas de genótipos de amendoim. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.15, p.88-96, 2021.
- Lima, Y. B. D.; Sá, F. V. S.; Ferreira Neto, M.; Paiva, E. P. D.; Gheyi, H. R. Accumulation of salts in the soil and growth of cowpea under salinity and phosphorus fertilization. *Revista Ciência Agronômica*, v. 48, 5spe, p. 765-773, 2017.
- Maas, E. V.; Hoffman, G. J. Crop salt tolerance-current assessment. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, v.103, p.115-134, 1977.
- Maia, J. M.; Macêdo, C. E. C. de; Silveira, J. A. G. da; Silva, A. F. da; Lira, E. H. A. de; Melo, A. S. de; Meneses, C. H. S. G. Seca e salinidade na resposta antioxidativa de raízes de feijão caupi. *Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management*, v.11, n.1, p.59-93, 2015.
- Maia, J. M.; Macêdo, C. E. C.; Santos, I. S.; Melo, Y. L.; Silveira, J. A. Antioxidant mechanisms involved in the control of cowpea root growth under salinity. In: Taleisnik, E.; Lavado, R. S. (Org.) *Saline and alkaline soils in Latin America: Natural resources, management and productive alternatives*. 1.ed. Cham: Springer, 2020. p. 415-430.
- Manaf, H. H. Beneficial effects of exogenous selenium, glycine betaine and seaweed extract on salt stressed cowpea plant. *Annals of Agricultural Sciences*, v.61, n.1, p.41-48, 2016.
- Melo, A. S. de; Lima, Y. B.; Lacerda, C. F.; Viegas, P. R. A.; Ferraz, R. L. S.; Gheyi, H. R. Water restriction in cowpea plants [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]: Metabolic changes and tolerance induction. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.26, p.190-197, 2022.
- Miranda, R. S.; Leal, F. I.; Alves, A. F.; Souza, R. R. de; Mesquita, R. O.; Ribeiro, M. I. D.; Santana-Filho, J. A.; Gomes-Filho, E. Salt-Acclimation Physiological Mechanisms at the Vegetative Stage of Cowpea Genotypes in Soils from a Semiarid Region. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v.21, p.3530-3543, 2021.
- Mishra, S.; Alavilli, H.; Lee, B. H.; Panda, S. K.; Sahoo, L. Cloning and characterization of a novel vacuolar Na⁺/H⁺ antiporter gene (*VuNHX1*) from drought hardy legume, cowpea for salt tolerance. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, v.120, n.1, p.19-33, 2015.
- Munns, R. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant and Cell Environment*, v.25, p.239-250, 2002.
- Munns, R.; Gilliam, M. Salinity tolerance of crops - what is the cost? *New Phytologist*, v.208, p.668-673, 2015.

- Murillo-Amador, B.; Diéguez, E. T.; Hernández, J. L. G.; Aguilar, R. L.; Serrano, N. Y. A.; Salgado, S. Z.; Puente, E. O. R.; Kaya, C. Effect of NaCl salinity in the genotypic variation of cowpea (*Vigna unguiculata*) during early vegetative growth. *Environmental and Experimental Botany*, v.58, p.423-431, 2006.
- Murillo-Amador, B.; Yamada, S.; Yamaguchi, T.; Rueda-Puente, E.; Ávila-Serrano, N.; García-Hernández, J. L.; Nieto-Garibay, A. Influence of calcium silicate on growth, physiological parameters and mineral nutrition in two legume species under salt stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v.193, p.413-421, 2007.
- Neves, A. L. R.; Lacerda, C. F.; Guimarães, F. V. A.; Hernandez, F. F. F.; Silva, F. B.; Prisco, J. T.; Gheyi, H. R. Acumulação de biomassa e extração de nutrientes por plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. *Ciência Rural*, v.39, p.758-765, 2009.
- Neves, A. L. R.; Lacerda, C. F.; Sousa, C. H. C.; Silva, F. L. B.; Gheyi, H. R.; Ferreira, F. J.; Andrade Filho, F. L. **Growth and yield of cowpea/sunflower crop rotation under different irrigation management strategies with saline water.** *Ciência Rural*, v.45, p.814-820, 2015.
- Neves, A. L. R.; Lacerda, C. F.; Teixeira, A. S.; Costa, C. A. G.; Gheyi, H. R. Monitoring soil coverage and yield of cowpea furrow irrigated with saline water. *Revista Ciência Agronômica*, v.41, p.59-36, 2010.
- NG, N. Q.; Maréchal, R. Cowpea taxonomy, origin and germ plasm. In: *Cowpea Research, Production and Utilization*. Eds. Sing, S.R., Rachie, K.O. Wiley: Chichester, p.11-21. 1985.
- Oliveira, W. J. D.; Souza, E. R. D.; Almeida, B. G. D.; Silva, Ê. F. D. F.; Melo, H. F. D.; Leal, L. Y. Soil water energetic status and cowpea beans irrigated with saline water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.20, n.8, p. 685-691, 2016.
- Oliveira, W. J.; Souza, E. R.; Cunha, J. C.; Silva, Ê. F. de. F.; Veloso, V. D. L. Leaf gas exchange in cowpea and CO₂ efflux in soil irrigated with saline water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.21, n.1, p.32-37, 2017.
- Oliveira, W. J.; Souza, E. R.; Santos, H. R. B.; Silva, E. F. F.; Duarte, H. H. F.; Melo, D. V. M. Fluorescência da clorofila como indicador de estresse salino em feijão caupi. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.12, n.3, p.2592-2603, 2018.

- Omara, A. E. D.; El-Gaafarey, T. Alleviation of salinity stress effects in forage cowpea (*Vigna unguiculata* L.) by *Bradyrhizobium* sp. inoculation. *Microbiology Research Journal International*, v.23, n.3, p.1-16, 2018.
- Omoigui, L. O.; Ishiyaku, M. F.; Kamara, A. Y.; Alabi, S. O.; Mohammed, S. G. Genetic variability and heritability studies of some reproductive traits in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *African Journal of Biotechnology*, v.5, n.13, p.1191-1195. 2006.
- Parihar, P.; Singh, S.; Singh, R.; Singh, V. P.; Prasad, S. M. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, v.22, n.6, p.4056-4075, 2015.
- Patel, R. S.; Kadam, D. D.; Kandoliya, U. K.; Golakiya, B. A. Effect of gibberellic acid, potassium nitrate and silicic acid on enzymes activity in cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) irrigated with saline water. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, v.8, n.5, p.1022-1029, 2019.
- Praxedes, S. C.; Lacerda, C. F.; Damatta, F. M.; Prisco, J. T.; Gomes-Filho, E. Salt tolerance is associated with differences in ion accumulation, biomass allocation and photosynthesis in cowpea cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v.196, n.3, p.193-204, 2010.
- Praxedes, S. C.; Sá, F. V. S.; Ferreira Neto, M.; Loiola, A. T.; Reges, L. B. L.; Jales, G. D.; de Melo, A. S. de. Tolerance of seedlings traditional varieties of cowpea (*Vigna unguiculata*) to salt stress. *Semina: Ciências Agrárias*, v.41, n.5, p.1963-1974, 2020.
- Prisco, J. T. Contribuição ao estudo da fisiologia do estresse salino durante a germinação e estabelecimento da plântula de uma glicófita [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. 1987. 65 f. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1987. Tese Concurso Professor Titular
- Rahali-Osmame, S.; Boulahia, K.; Djebbar, R.; Abrous-Belbachir, O. Assessment of oxidative stress and proline metabolism genes expression of cowpea plants (*Vigna unguiculata* L.) under saline conditions. *Analele Universităţii din Oradea, Fascicula Biologie*, v.27, n.1, p.7-16, 2020.
- Ravelombola, W.; Manley, A.; Adams, C.; Trostle, C.; Ale, S.; Shi, A.; Cason, J. Genetic and genomic resources in guar: a review. *Euphytica*, v.217, n.199, p.1-18, 2021.
- Ravelombola, W.; Qin, J.; Shi, A.; Nice, L.; Bao, Y.; Lorenz, A.; Orf, J. H.; Young, N. D.; Chen, S. Genome-wide association study and genomic selection for soybean chlorophyll content associated with soybean cyst nematode tolerance. *BMC Genomics*, v.20, n.904, p.1-19, 2019.

- Ravelombola, W.; Shi, A.; Weng, Y.; Clark, J.; Motes, D.; Chen, P.; Srivastava, V. Evaluation of salt tolerance at germination stage in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp]. *HortScience*, v.52, n.9, p.1168–1176, 2017.
- Riddhi, P.; Purohit, H. B.; Kandoliya, U. K.; Golakiya, B. A. Effect of gibberellic acid, potassium nitrate and silicic acid on biochemical constituents and physiological parameter in cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) seedling irrigated with saline water. *International Journal of Chemical Studies*, v.7, n.6, p.2162-2172, 2019.
- Sá, F. V. S.; Ferreira Neto, N.; Lima, Y. B. de. Paiva, E. P. de; Prata, R. C.; Lacerda, C. F. de; Brito, M. E. B. Growth, gas exchange and photochemical efficiency of the cowpea bean under salt stress and phosphorus fertilization. *Comunicata Scientiae*, v.9, n.4, p.668-679, 2018.
- Sá, F. V. S.; Nascimento, R.; Pereira, M. O.; Borges, V. E.; Guimaraes, R. F. B.; Ramos, J. G.; Mendes, J. S.; Penha, J. L. Vigor and tolerance of cowpea (*Vigna unguiculata*) genotypes under salt stress. *Bioscience Journal*, v.33, n.6, p.1488-1494, 2017.
- Sadeghipour, O. Amelioration of salinity tolerance in cowpea plants by seed treatment with methyl jasmonate. *Legume Research: An International Journal*, v.40, n.6, p.1100-1106, 2017.
- Santos, A. A.; Silveira, J. A. G.; Guilherme, E. A.; Bonifacio, A.; Rodrigues, A. C.; Figueiredo, M. D. V. B. Changes induced by co-inoculation in nitrogen–carbon metabolism in cowpea under salinity stress. *Brazilian Journal of Microbiology*, v.49, n.4, p.685-694, 2018.
- Silva, F. L. B.; Lacerda, C. F.; Neves, A. L. R.; Sousa, G. G.; Sousa, C. H. C.; Ferreira, F. J. Irrigação com águas salinas e uso de biofertilizante bovino nas trocas gasosas e produtividade de feijão-de-corda. *Irriga*, v.18, p.304-317, 2013.
- Silva, J. V.; Lacerda, C. F.; Costa, P. H. A.; Eneas-Filho, J.; Gomes-Filho, E.; Prisco, J. T. Responses of NaCl stressed cowpea plants grown in nutrient solution supplemented with CaCl₂. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.15, n.2, p.99-105, 2003.
- Soares Filho, W. S.; Gheyi, H. R.; Brito, M. E. B.; Nobre, R. G.; Fernandes, P. D.; Miranda, R. S. Melhoramento genético vegetal e seleção de cultivares tolerantes à salinidade. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. (eds.). *Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados*. 2.ed. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2016. p. 259-274.
- Sousa, C. H. C.; Lacerda, C. F.; Silva, F. L. B.; Neves, A. L. R.; Costa, R. N. T.; Gheyi, H. R. Yield of cotton/cowpea and sunflower/cowpea crop rotation systems during the reclamation process of a saline-sodic soil. *Engenharia Agrícola*, v.34, p.867-876, 2014.

- Sousa, G. G.; Rodrigues, V. S.; Sales, J. R. S.; Cavalcante, F.; Silva, G.L.; Leite, K. N. Estresse salino e cobertura vegetal morta na cultura do milho. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.12, p.3078-3089, 2018.
- Sousa, R. A. de; Lacerda, C. F.; Amaro Filho, J.; Hernandez, F. F. F. Crescimento e nutrição mineral de feijão-de-corda em função da salinidade e da composição iônica da água de irrigação. *Agrária (Recife)*, v.2, p.75-82, 2007.
- Souza, R. P.; Machado, E. C.; Silveira, J. A. G.; Ribeiro, R. V. Fotossíntese e acúmulo de solutos em feijoeiro caupi submetido à salinidade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, n.6, p.587-592, 2011.
- Torquato, J. P. P. Estudo de mecanismos de regulação do sódio citoplasmático em cultivares de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. submetidas à salinidade. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2014. 125p. Tese de Doutorado
- Trindade, A. R.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E.; Bezerra, M. A.; Prisco, J. T. Influência do acúmulo e distribuição de íons sobre a aclimação de plantas de sorgo e feijão-de-corda, ao estresse salino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.10, n.4, p.804-10, 2006.
- Trustinah; Nugrahaeni, N. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 743, 012036, 2021. **Doi** 10.1088/1755-1315/743/1/012036
- Ünlü, H.; Altindal, N.; Ünlü, H. Ö.; Altindal, D.; Padem, H. Effect of salicylic acid on salinity stress in Cowpea. In: *International Symposium on Sustainable Development*, 1. 2009, Sarajevo Bosnia and Herzegovina, International Burch University, 2009.
- Wilson, C., Liu, S., Lesch, S. M., Suarez, D. L. Growth response of major USA cowpea cultivars: II. Effect of salinity on leaf gas exchange. *Plant Science*, v.170, p.1095-1101, 2006a.
- Wilson, C.; Liu, X.; Lesch, S.M.; Suarez, L. Growth response of major USA cowpea cultivars: Biomass accumulation and salt tolerance. *Hort Science*, v.41, p.225–230, 2006b.
- Win, K. T.; Oo, A. Z. Genotypic difference in salinity tolerance during early vegetative growth of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) from Myanmar. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v.4, p.449-455, 2015.
- Zhang, W.; Xie, Z.; Lang, D.; Cui, J.; Zhang, X. Beneficial effects of silicon on abiotic stress tolerance in legumes. *Journal of Plant Nutrition*, v.40, n.15, p.2224-2236, 2017.

FLORES, PLANTAS ORNAMENTAIS E PAISAGISMO

Alan Bernard Oliveira de Sousa^{1}, Claudivan Feitosa de Lacerda¹,
Antônia Leila Rocha Neves², Alberto Soares de Melo³,
Jorge Freire da Silva Ferreira⁴, Francisco Mardones Sérvulo Bezerra¹,
Carla Ingryd Nojosa Lessa¹, Wiliana Júlia Ferreira de Medeiros¹,
Hans Raj Gheyi⁵*

RESUMO: O setor de flores e plantas ornamentais se destaca na geração de emprego e renda com uso de pequenas áreas. Essas plantas podem ornamentar residências, condomínios e outros espaços fechados, além de compor o paisagismo de áreas urbanas e rurais. Para as condições do semiárido brasileiro, é possível que a produção das plantas ornamentais esteja associada ao aproveitamento de fontes alternativas de água, como as águas salobras e residuárias tratadas, constituindo um sistema de produção da agricultura bioessalina. Entretanto, há necessidade de identificação de espécies tolerantes e moderadamente tolerantes à salinidade, bem como a utilização de estratégias para reduzir a intensidade e os efeitos do estresse salino, com vistas à manutenção do crescimento e da qualidade visual destas plantas. Nesse

1 Universidade Federal do Ceará - UFC, Fortaleza - CE, Brasil

2 Bolsista FUNCAP/SDE-CE/UFC, Fortaleza - CE, Brasil

3 Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, Campina Grande - PB, Brasil

4 US Salinity Laboratory, ARS/USDA, Agricultural Water Efficiency and Salinity Research Unit, Riverside-CA, USA

5 Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande - PB, Brasil

* Autor correspondente: alan.sousa@ufc.br

capítulo, busca-se apresentar e discutir os temas: aspectos gerais e tipos de plantas ornamentais; tolerância à salinidade em plantas ornamentais; estratégias para reduzir a intensidade do estresse; e uso de mitigadores do estresse salino. Por fim, é apresentado um estudo de caso que alerta para a introdução de espécies exógenas para uso ornamental, com riscos de invasão biológica e redução da diversidade em áreas do bioma Caatinga.

Palavras-chave: Espécies ornamentais; Tolerância à salinidade; Manejo da salinidade; Mitigadores do estresse salino; Invasão biológica

FLOWERS, ORNAMENTAL PLANTS AND LANDSCAPING

ABSTRACT: The floriculture and ornamental plants sectors stand out in the generation of employment and income with the use of small areas. These plants can decorate homes, condominiums, and other closed spaces, as well as landscape in urban and rural areas throughout Brazil. For the conditions of the Brazilian semi-arid region, the production of ornamental plants should be associated with the use of alternative sources of water, such as brackish and wastewater, constituting a production system in biosaline agriculture. However, it is essential to identify species that are tolerant and moderately tolerant to salinity, as well as the use of strategies to reduce the intensity and effects of salt stress, focusing on maintaining the growth and visual quality of these plants. This chapter seeks to present and discuss the following topics: general aspects and types of ornamental plants, salinity tolerance of ornamental plants strategies to reduce the intensity of stress, and use of mitigating agents for salinity stress. Finally, a case study is presented that warns against the introduction of exogenous species for ornamental use, with risks of biological invasion and reduction of diversity in areas of the Caatinga ecosystem.

Key words: Ornamental species; Salt tolerance; Salinity management; Salt stress mitigators; Biological invasion.

1 INTRODUÇÃO

Com um mercado potencial de 150 milhões de consumidores, o consumo de flores e plantas ornamentais dentro do Brasil ainda é pequeno quando comparado ao de outros países. Apesar disso, o setor de plantas ornamentais se destaca na geração de emprego e renda com uso de pequenas áreas. O PIB da cadeia produtiva de flores e plantas ornamentais no Brasil alcançou 8,1 bilhões de reais em 2018 (IBRAFLOR, 2018), distribuídos entre floricultura, decoração e paisagismo. O setor promoveu 215,8 mil empregos diretos (a participação do Nordeste foi de 12,3% sobre o total nacional), investiu 2,8 bilhões em salários e gerou 2,5 bilhões em impostos.

Para as regiões semiáridas, torna-se prioritário que as espécies ornamentais sejam utilizadas de acordo com sua adaptabilidade ao uso de águas residuárias e salobras, as quais são alternativas para regiões com escassez de recursos hídricos. Para o uso de recursos salinos (água e/ou solo), comuns na região Nordeste do Brasil, há necessidade do emprego de técnicas de manejo que reduzam a intensidade do estresse, seleção de genótipos tolerantes e uso de mitigadores do estresse salino nas plantas. Estudo desenvolvido por Lessa et al. (2023), mostra que as plantas ornamentais constituem importante sistema de produção da agricultura bioassalina para as condições do semiárido brasileiro, considerando-se a disponibilidade hídrica e a salinidade das águas subterrâneas desta região.

Este capítulo, inicialmente, busca apresentar os aspectos gerais relacionados aos tipos de plantas ornamentais. Em seguida, são apresentados dados sobre tolerância à salinidade em plantas ornamentais, com ênfase em estudos realizados no Brasil. Também são discutidas estratégias para reduzir a intensidade do estresse e uso de mitigadores do estresse salino. Por fim, é apresentado um estudo de caso que alerta para a introdução de espécie exógena para uso ornamental, com riscos de invasão biológica e redução da diversidade em áreas da Caatinga.

2 ASPECTOS GERAIS

Plantas ornamentais são espécies botânicas cultivadas por sua estética visual, florescimento, folhagem e porte. Essas plantas se adaptam a diferentes ambientes e espaços, contribuindo para harmonia e sensação de bem-estar (Oliveira & Brainer, 2007). Essas espécies podem ser utilizadas na ornamentação de ambientes abertos, como praças, parques, condomínios e jardins residenciais, ou de ambientes internos como escritórios, shopping centers, hospitais, dentre outros.

As plantas ornamentais podem ser classificadas como herbáceas, arbustivas, subarbustivas e arbóreas. As espécies arbóreas são comumente utilizadas na composição de jardins e no paisagismo, devido à diversidade de copas, coloração de folhas e flores, melhoria da qualidade do ar, produção de sombra, redução da amplitude térmica e como fonte de proteção e nutrição a pássaros, abelhas e outros animais.

Na Região Nordeste do Brasil, destaca-se a palmeira carnaúba (*Copernicia prunifera*) na ornamentação de paisagens rurais e urbanas (Figura 1), sendo uma espécie adaptada às condições de seca e encharcamento e a solos salinos e sódicos (Medeiros, 2021). Além de uso no paisagismo e para outros fins econômicos, essa palmeira é também considerada a árvore símbolo do Estado do Ceará.

Figura 1. Plantas de carnaúba (*Copernicia prunifera*) em paisagens urbanas de Fortaleza - Ceará, Brasil: Coordenação do Programa Residência Agrária CCA/UFC (A) e Catedral Metropolitana de Fortaleza (B).
Fonte: A.B.O. Sousa e C.F. Lacerda



A presença de água e radiação solar são fundamentais para a produção e desenvolvimento de plantas ornamentais. A depender da quantidade de luz, podemos classificar as plantas ornamentais, especialmente as herbáceas, como de pleno sol, de sombra ou intermediárias. No que se refere à água para produção de plantas ornamentais, deve-se observar a demanda hídrica da cultura bem como a drenagem para a retirada do excesso de água e sais do substrato ou solo em que as plantas estão se desenvolvendo.

As plantas ornamentais podem, também, ser agrupadas em espécies originárias de clima temperado ou tropical (Oliveira & Brainer, 2007). Entre as espécies de clima tropical, destacam-se as helicônias, os antúrios e as gérberras (Figura 2A e 2B). Para as espécies de clima temperado, citam-se as rosas, os crisântemos e as orquídeas (Figura 2 C e 2D). Cada espécie de flores e plantas ornamentais pode ser utilizada de formas distintas para composição de ornamentação e paisagismo. A exemplo das helicônias, que podem ornamentar jardins, quando cultivadas diretamente no solo, bem como ter suas inflorescências utilizadas na composição dos mais diferentes buquês. O mesmo pode ser observado para os crisântemos que podem ser comercializados em vasos ou como flores de corte.

Figura 2. (A) Vaso de antúrio, (B) flores de gérbera, (C) hastes de rosas e (d) flores de crisântemo. Fonte: A.B.O. Sousa



Também podem ser encontradas espécies adaptadas aos climas áridos e semiáridos e aos seus solos arenosos e com pouca matéria orgânica. Essas plantas pertencem, geralmente, às famílias Cactaceae (ex., *Pereskia* sp.) e Euphorbiaceae (ex., *Euphorbia* sp.) (Figura 3C). Mas há, também, plantas de outras famílias com adaptações a condições xerófitas (ex., Astearacea, Portulacaceae, Crassulaceae e Apocynaceae) (Figura 3A e 3B) e espécies arbóreas que se adaptam a condições de escassez hídrica (ex., *Quercus*, *Prosopis juliflora* etc.).

Algumas espécies (ex., *Statice* ou Lavanda do Mar, *Limonium* sp., Plumbaginaceae) são perenes e não requerem regas frequentes, uma vez adaptadas. O gênero *Limonium* tem cerca de 120 espécies, são plantas adaptadas a solos salinos e produzem flores de diversas cores que podem ser utilizadas como flores frescas ou secas. Embora a cor mais comum seja a lavanda, existem outras variedades nas cores branca, rosa, amarela e laranja. A *Encelia farinosa* (Asteraceae) flora durante todo o verão e é vista como planta voluntária no semiárido do Oeste americano. Quando introduzida em jardins, uma vez adaptada, sobrevive com poucas regas.

Figura 3. Variedade de plantas ornamentais adaptadas ao semiárido. (A) Flores de *Nerium oleander* (Apocynaceae), (B) Planta de *Aeonium* sp. (Crassulaceae), (C) flores de *Euphorbia millii* (Euphorbiaceae) variedade gigante e (d) flores de *Catharanthus roseus* (Apocynaceae). Fonte: J.F.S. Ferreira.



No Nordeste do Brasil há, também, diversos tipos de espécies nativas que apresentam potencial para ornamentação (Pacheco & Silva, 2019). Um exemplo é a espécie *Melocactus zehntneri*, conhecida popularmente como coroa-de-frade ou cabeça-de-frade. Trata-se de um cacto do bioma Caatinga, de forma cilíndrica com costelas bem acentuadas, com espinhos marrons numerosos, mas curtos e direitos, muito utilizado na ornamentação de residências e jardins (Figura 4A).

O xique-xique (*Pilosocereus gounellei*) é outra cactácea utilizada como planta ornamental, em ambiente interno ou externo (Figura 4B). Esta espécie também pode ser utilizada pelos agricultores, como uma alternativa para alimentação dos animais. Estudos na fase inicial de desenvolvimento indicam bom grau de tolerância à salinidade em cactáceas nativas da Caatinga (Macena, 2018; Prado, 2019), embora os mecanismos morfológicos e fisiológicos estejam associados, principalmente, à economia de água e sobrevivência em ambientes com severo déficit hídrico.

Figura 4. Plantas de coroa-de-frade (A: *Melocactus zehntneri*) e xique-xique (B: *Pilosocereus gounellei*), cactáceas nativas da Caatinga com potencial para ornamentação. Fonte: A.B.O. Sousa



3 TOLERÂNCIA À SALINIDADE

O estresse salino afeta os processos morfológicos e metabólicos em plantas ornamentais, o que limita o crescimento das mesmas (Jafari et al., 2019; Zhao et al., 2021). Os pesquisadores acrescentam que o acúmulo de Na^+ nos tecidos foliares pode causar necrose, afetando negativamente a aparência das plantas ornamentais. Deve-se ressaltar que altas concentrações de íons Na^+ e/ou Cl^- no sistema de cultivo de plantas hortícolas pode causar atrofia no crescimento e morte prematura dos vegetais (Zhao et al., 2021; Chen et al., 2022; Somayyeh & Masouleh, 2022). Os mecanismos de tolerância à salinidade podem ser determinados por meio de características morfofisiológicas, ajuste osmótico e desintoxicação enzimática e não enzimática de espécies reativas de oxigênio (EROS) (He et al., 2012; Zhao et al., 2021; Ondrasek et al., 2022).

A tolerância à salinidade de plantas ornamentais pode ser avaliada utilizando-se os métodos tradicionais, baseados em dados relativos de crescimento ou nos índices de sobrevivência. Respostas fisiológicas, como as taxas de fotossíntese e os teores de elementos essenciais, também são indicadores quantitativos para avaliação das respostas das plantas ornamentais ao estresse salino (García-Caparrós & Lao, 2018; Lacerda et al., 2020).

No entanto, alterações em respostas qualitativas provocadas pela salinidade também podem ser utilizadas na avaliação da tolerância dessas plantas, visto que o aspecto visual tem importância para o mercado de plantas ornamentais. Dessa forma, avaliação da presença de injúrias foliares, teor de clorofila nas folhas, produção de flores, qualidade visual das flores e aparência geral da planta são variáveis que podem ser utilizadas na classificação da tolerância à salinidade em plantas ornamentais (Oliveira et al., 2018; Moore et al., 2019).

O elevado número de espécies ornamentais, nos mais diversos ambientes, faz com que se aumente a probabilidade de encontrar genótipos tolerantes ao estresse salino (Cassaniti et al., 2012, 2013), apresentando considerável capacidade de desenvolvimento e produção com características comerciais aceitáveis sob tais condições. Por exemplo, Niu et al. (2020), pesquisando 11 cultivares de quatro espécies e um híbrido de hortênsia (*Hydrangea* sp., Hydrangeaceae), com base na qualidade visual e redução do crescimento, concluíram que a área foliar e a produção de biomassa seca foram significativamente reduzidas pela salinidade (5 e 10 dS m⁻¹) em todas as cultivares, em relação ao controle. Além disso, as concentrações de Na⁺ e Cl⁻ se correlacionaram negativamente com a qualidade visual e o crescimento das plantas. Dentre os genótipos testados, ‘Ayesha’ (*H. macrophylla*) e os dois híbridos ‘Sabrina’ e ‘Selina’ foram os mais tolerantes à salinidade, e um segundo grupo tolerante incluiu ‘Mathilda Gutges’ e ‘Merritt’s Supreme’ (*H. macrophylla*).

No mesmo estudo, as cultivares mais tolerantes ao sal incluíam ‘Preciosa’ (*H. serrata*) e ‘Passion’ (*H. macrophylla*), seguidas por ‘Snowflake’ (*H. quercifolia*) e ‘Emotion’ (*H. macrophylla*). Por outro lado, ‘Bulk’ de *H. paniculata* foi o menos tolerante aos sais, seguido por ‘Interhydia’ (*H. paniculata*). Portanto, a tolerância à salinidade variou entre as espécies, bem como as cultivares dentro da espécie *H. macrophylla*.

Muitos estudos têm demonstrado a viabilidade da produção de espécies ornamentais com água salina, sobretudo na fase adulta ou no estabelecimento destas espécies no campo. Entretanto, também é importante demonstrar tal viabilidade na fase de desenvolvimento inicial dessas plantas, como por exemplo, na etapa da produção de mudas, possibilitando assim evidenciar a viabilidade da espécie em todo o ciclo produtivo. Pesquisa conduzida por Bezerra et al. (2020) com três espécies ornamentais (*Catharanthus roseus*, *Tagetes patula* e *Celosia argentea*) irrigadas com água de diferentes níveis de salinidade (CEa 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 5,0 e 6,0 dS m⁻¹) na produção de mudas, usando a técnica de análise multivariada por componentes principais para classificação da tolerância à salinidade, demonstrou que as espécies *C. roseus* e *C. argentea* toleram valores de salinidade de até 2,5 e 3,0 dS m⁻¹, respectivamente.

Neves et al. (2018) analisaram os efeitos de águas salinas em plantas de boa noite de flor branca (*Catharanthus roseus*) em solo adubado com biofertilizante bovino. As respostas das

plantas irrigadas com água salina de 2,5 dS m⁻¹, em termos quantitativos (crescimento e fisiológicas) e qualitativos (análise visual) indicaram que tais plantas podem ser produzidas e comercializadas até este nível de salinidade. Os autores constataram, também, que a frequência de aplicação do biofertilizante adotada nos tratamentos não atenuou os efeitos da salinidade, indicando que o biofertilizante bovino líquido pode ser aplicado de uma única vez, diminuindo custos na produção.

Estudos sobre crescimento e qualidade visual de plantas ornamentais sob condições de clima tropical e uso de águas salinas são conduzidos para tentar encontrar mecanismos de tolerância aos sais nessas espécies. Oliveira et al. (2018) e Lacerda et al. (2020) estudaram as respostas morfofisiológicas foliares de quatro espécies ornamentais tropicais, a fim de identificar mecanismos e grau de tolerância à salinidade e seus potenciais para serem irrigadas com água salobra. A pesquisa foi conduzida em casa-de-vegetação, utilizando-se os tratamentos 10 níveis de condutividades elétricas da água de irrigação (0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0 e 12,0 dS m⁻¹) e quatro espécies ornamentais tropicais (*Catharanthus roseus*, *Allamanda cathartica*, *Ixora coccinea* e *Duranta erecta*). Os autores concluíram que *I. coccinea* apresenta alta capacidade de crescimento sob irrigação com água salina de até 4,0 dS m⁻¹. Sua maior tolerância à salinidade está relacionada à menor concentração foliar de Na⁺. Por outro lado, a sensibilidade de *D. erecta* foi associada a elevadas concentrações de Na⁺ e prolina nas folhas. A concentração de prolina se mostrou um indicador mais relacionado à sensibilidade ao estresse salino, porém essa relação não pode ser generalizada para todas as espécies ornamentais estudadas.

Os efeitos de níveis crescentes de salinidade da água de irrigação sobre as respostas quantitativas e qualitativas das espécies ornamentais 'Eu e tu Paulista' (*Euphorbia milii*, Euphorbiaceae) e 'Zamioculca' (*Zamioculcas zamiifolia*, Araceae) sob diferentes condições de luminosidade foram testados por Santos et al. (2022), cultivando essas duas espécies ornamentais em vasos. As plantas foram submetidas a níveis crescentes de salinidade na água de irrigação (0,5; 2,0; 3,5; e 5,0 dS m⁻¹) sob quatro intensidades luminosas (pleno sol, 30%, 50% e 70% de sombreamento). Os autores observaram que, baseado em variáveis quantitativas, o sombreamento teve maior impacto nas variáveis qualitativas das plantas do que na tolerância à salinidade. Quando se utiliza água de baixa a moderada salinidade, o ambiente com 30% de sombreamento é o mais propício para o cultivo da *E. milii*. Sob elevada salinidade o sombreamento reduz os danos diretos da radiação nas folhas de *Z. zamiifolia* e melhora a qualidade visual dessa espécie.

Em estudo com a espécie ornamental íris barbuda (*Iris germanica*, Iridaceae), sendo utilizadas as cultivares 'Memories of Harvest' (flor amarela), 'Clarence' (flor azul), 'White and Blue' (flor branca com borda azul) e 'Indian Chief' (flor roxa), considerada tolerante à salinidade, Zhao et al. (2021) registraram mudanças morfológicas e fisiológicas importantes nas quatro cultivares sob estresse salino (solução de NaCl de 35, 70, 105, 140 e 175 mM – variando aproximadamente de 3,5 a 18,0 dS m⁻¹). Os pesquisadores constataram que, ao aumentar as concentrações do sal na solução de cultivo, as características fotossintéticas diminuíram, a concentração de Na⁺ no tecido vegetal aumentou e a atividade de enzimas

antioxidantes foi efetiva na atenuação do estresse salino. Eles ressaltaram que a 'Memories of Harvest' apresentou melhor qualidade visual, menor relação Na^+/K^+ e maior atividade enzimática em comparação às outras três cultivares, o que sugere que esta cultivar pode ser mais tolerante ao estresse salino. Os resultados obtidos por Zhao et al. (2021) demonstraram respostas positivas de *Iris germanica* à salinidade. Para os pesquisadores há viabilidade de selecionar cultivares desta espécie tolerantes à salinidade da água de irrigação em regiões áridas e semiáridas.

Miyamoto et al. (2004) realizaram amplo estudo e obtiveram tabelas de tolerância à salinidade de várias espécies de plantas ornamentais, as quais podem ser utilizadas por horticultores e projetistas de paisagismo, tanto para identificar espécies sensíveis à salinidade, para evitar perdas, como também para identificar espécies adaptadas a áreas com problema de salinidade. Essa classificação é baseada na redução no crescimento (50 ou 25%) ou danos causados às folhas (pelo menos 25% das folhas danificadas), levando-se em consideração a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes). De acordo com este critério, os autores classificaram as plantas dentro de cinco categorias: sensível (0 a 3 dS m^{-1}); moderadamente sensível (3 a 6 dS m^{-1}); moderadamente tolerante (6 a 8 dS m^{-1}); tolerante (8 a 10 dS m^{-1}); e altamente tolerante ($>10 \text{ dS m}^{-1}$). Os autores identificaram diversas espécies tolerantes e moderadamente tolerantes à salinidade, incluindo plantas herbáceas, arbustos e árvores, muitas com potencial para o paisagismo.

4 ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DO ESTRESSE SALINO

A utilização de fontes de água de qualidade inferior, notadamente as águas salobras, depende de estratégias de longo prazo que garantam a sustentabilidade socioeconômica e ambiental dos sistemas agrícolas. Essas estratégias devem contribuir para melhoria das condições químicas, físicas e biológicas do solo, redução da concentração e da entrada de sais no ambiente radicular, redução dos impactos sobre a planta e aumento da eficiência do uso da água (Lacerda et al., 2021).

Diversas estratégias de manejo podem ser utilizadas, embora com resultados variados, para reduzir os danos do estresse salino nas plantas, a saber: aplicação de matéria orgânica, aplicação de biofertilizantes líquidos, uso de melhoradores químicos (adubos e corretivos como gesso), micorrização, aplicação foliar de substâncias orgânicas e inorgânicas, rotação de culturas, aumento da densidade de plantio, sistema de consórcio, uso de glicófitas tolerantes e moderadamente tolerantes, cultivo de halófitas, mistura de águas de diferentes salinidades, uso cíclico de água, uso de águas salinas nos estádios em que a cultura apresenta maior tolerância, biodrenagem, estabelecimento de condições específicas para a germinação (Lacerda et al., 2021).

De modo geral, a busca de espécies mais tolerantes é a primeira linha para convivência com o problema da salinidade da água de irrigação. Isso permite ampliar a utilização de águas de moderada a elevada salinidade. No item anterior pode-se observar um resumo das

informações encontradas na literatura sobre a tolerância de espécies ornamentais à salinidade, destacando-se a escassez de estudos em espécies do paisagismo, particularmente no Brasil.

Para as estratégias de manejo é necessário avaliar a adequação das técnicas, levando-se em conta as variabilidades de sistemas de cultivo de plantas ornamentais. Para plantas do paisagismo, as águas com salinidade baixa a moderada (1,0 a 4,0 dS m⁻¹) podem se constituir fontes importantes, especialmente para irrigação suplementar ou para garantir boa aparência das árvores e arbustos durante a estação seca. Para esses casos, os sais acumulados durante a estação seca podem ser lixiviados durante a estação das chuvas, particularmente em solos bem drenados. Nesses casos também é recomendável o uso de condicionadores químicos (como o gesso), de forma preventiva, no sentido de aumentar a eficiência do processo de lixiviação, especialmente do íon sódio, de modo a reduzir os impactos sobre as propriedades físicas do solo.

O uso de composto orgânico e biofertilizantes líquidos pode ser, também, uma estratégia para melhorar a nutrição e crescimento inicial das plantas quando irrigadas com águas doces ou salobras. Contudo, não há dados de aplicação de fertilizantes que possa ser usada como referência quando a salinidade é superior ao limite de tolerância das culturas. A experiência com culturas agrícolas mostrou que, com a salinidade da água de 4 dS m⁻¹ (ou superior), há uma tendência do nitrogênio e do potássio serem parcialmente perdidos por lixiviação (Ribeiro et al., 2021).

Essas estratégias de manejo, isoladas ou combinadas, podem garantir o desenvolvimento adequado e a manutenção do aspecto visual das plantas, mesmo que ocorra pequena redução no crescimento. Porém, quando se produz plantas para comercialização, é fundamental garantir o fornecimento de água de baixa salinidade pelo menos nos primeiros dias de formação da muda (Bezerra et al., 2020). Em cultivo do Jerusalém batateiro ‘Stampede’ (*Helianthus tuberosus*) realizado em lisímetros cheios com areia durante todo o ciclo da cultura, observou-se que aumento na salinidade de 1,2 para 6,6 dS m⁻¹ reduziu a biomassa da parte aérea em 37%, mas o rendimento de tubérculos apenas em 11%, enquanto o aumento da salinidade para 12 dS m⁻¹ causou diminuição de 67% na parte aérea e de 47% na produção de tubérculos (Dias et al., 2016). As flores do Jerusalém batateiro são como pequenos girassóis e as sementes atraem vários pássaros. Assim como ocorre com outras espécies ornamentais, o Jerusalém batateiro pode ser utilizado para outros fins, incluindo a produção de açúcar e inulina (Bhagia et al., 2018).

5 MITIGADORES DO ESTRESSE SALINO

A mitigação do estresse salino consiste no uso de outros fatores que possam contribuir para a tolerância das plantas, como a inoculação de micro-organismos ou a aplicação de produtos químicos ou orgânicos que possam potencializar os mecanismos internos de tolerância das plantas à salinidade. Sabe-se, por exemplo, que a interação de plantas com alguns tipos de micro-organismos é uma das estratégias para aumentar o crescimento e

a resistência das plantas aos estresses abióticos. Alguns micro-organismos simbióticos de raízes podem melhorar a absorção de nutrientes, produção de biomassa e rendimento da planta, além de aumentar a tolerância das plantas hospedeiras aos estresses bióticos e abióticos (Chen et al., 2022).

Neste sentido, resultados promissores foram obtidos por Chen et al. (2022), ao investigar a inoculação e a simbiose do fungo *Piriformospora indica* sobre o crescimento e resistência ao sal em plântulas de gerbera (*Gerbera jamesonii*, Asteraceae). Para os autores, a colonização de *P. indica* promoveu o crescimento e o desenvolvimento da gerbera, aumentando a reação fotoquímica, e aliviou os impactos negativos do estresse salino por meio da regulação positiva da expressão dos genes NIP61, NHX2 e SOS1. Eles ressaltam, ainda, que as melhorias no desempenho, mediadas por esse fungo, ofereceram potencial considerável para a produção agrícola de plantas de gerbera em solos salino-alcálinos.

Outras tecnologias sustentáveis utilizadas na mitigação de estresse salino podem envolver a aplicação de bioestimulantes derivados de material orgânico, os quais são capazes de estimular o crescimento e desenvolvimento de diversas culturas ornamentais em condições estresse. Por exemplo, quando as plantas de *Petunia hybrida* (Solanaceae) foram cultivadas sob estresse salino (CE de 3 dS m⁻¹) houve redução na massa seca total resultante da absorção excessiva de Cl⁻ e Na⁺ e desequilíbrio de nutrientes (Morcillo et al., 2020). Nessa mesma situação de cultivo, a aplicação foliar do hidrolisado de cianobactéria (*Arthrospira platensis*) aumentou a concentração foliar de fósforo. Além disso, os pesquisadores registraram incremento no número de folhas, no comprimento da parte aérea, no número de flores e na massa seca da flor. Para Morcillo et al. (2020), a aplicação foliar de hidrolisado de *A. platensis* atenuou o efeito negativo do NaCl em cultivos de *Petunia hybrida* irrigado com água de CE de 3,0 dS m⁻¹. Contudo, esta técnica precisa ser repetida sob outras condições e com outras culturas antes de ser recomendada.

Dentro desse contexto, outra estratégia emergente para melhorar a produção das plantas ornamentais é a utilização de rizobactérias halotolerantes (Plant-Growth Promoting Bacteria, PGPB) (Sagar et al., 2022). Ressalte-se que plantas inoculadas com PGPB ficam mais resistentes à salinidade, pois as PGPB desempenham papel vital no crescimento das culturas por meio do aumento do metabolismo secundário, fixação de nitrogênio, extrusão de exsudatos na rizosfera, solubilização de fosfatos e potássio do solo. Portanto, o uso de rizobactérias multifuncionais na mitigação da salinidade do solo pode ser uma alternativa para o cultivo de culturas ornamentais em condições semiáridas (Sagar et al., 2022; Silva et al., 2022).

Também, como forma de atenuar o efeito deletério do estresse salino no cultivo de plantas ornamentais, a utilização do nitrato de cálcio na fertilização tem sido promissora (Karagöz & Dursun, 2021). Em estudos com couve ornamental sem cabeça (*Brassica oleracea* var. *acephala*) cultivada em condições salinas e tratamentos com nitrato de cálcio, esses pesquisadores registraram efeitos positivos nos parâmetros agrônômicos e fisiológicos, exceto para clorofila e perda iônica nos tecidos foliares da planta. Eles acrescentaram que houve um aumento do número de folhas, quando foi aplicado 15 mM Ca(NO₃)₂, atenuando

o estresse imposto pela concentração de 60 mM de NaCl (cerca de 6,0 dS m⁻¹). Para estes autores, aplicações de nitrato de cálcio podem ser recomendadas para plantas ornamentais cultivadas em condições de estresse salino, especialmente para limitar os efeitos negativos do estresse e minimizar tais danos.

Na floricultura sustentável, o uso de nanoquitosana magnética como biofertilizante tem papel importante como mitigador de estresses (Somayyeh & Masouleh, 2022). Esses autores afirmaram que este biofertilizante aumenta a disponibilidade dos elementos químicos nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio e diminuem o sódio nos tecidos vegetais sob estresse salino. Além disso, melhora a estabilidade dos agroquímicos, protegendo-os da degradação e garantindo a liberação controlada no meio ambiente, o que acaba aumentando a eficácia e diminuindo a quantidade utilizada de fertilizantes químicos (Somayyeh & Masouleh, 2022).

Arshad et al. (2022), avaliando a aplicação foliar de níveis de quitosana em rosa (Gruss-an-Taplitz) em nível de campo, constataram que 7,5 ppm de quitosana melhorou o crescimento da planta, o teor relativo de água nas folhas e pigmentos fotossintéticos. Para os investigadores, as plantas tratadas com quitosana apresentaram melhoria nas trocas gasosas foliares e aumento da atividade de enzimas antioxidativas, destacando essa biomolécula como agente mitigador de estresse abiótico. Este bioestimulante modula osmoprotetores (prolina e açúcares solúveis), a atividade enzimática (CAT, POX, APX e SOD) e antioxidantes não enzimáticos (carotenoides e glutatona) e mantém em níveis não tóxicos o Na⁺ no tecido foliar

Outro resultado promissor é a utilização da quitosana associada ao ácido húmico. Essa assertiva é reforçada pela pesquisa realizada por Ashour et al. (2021), que testaram a aplicação foliar da quitosana e do ácido húmico. Os autores verificaram o impacto positivo nas características vegetativas, na composição química das folhas de *Vitex trifolia* “Purperea”, redução do acúmulo de íons fenólicos totais e das concentrações tóxicas de Na⁺ e Cl⁻ nos tecidos da planta. Acrescentaram, ainda, que o ácido húmico foi bem eficaz na mitigação da salinidade nesta espécie. Os autores recomendam a concentração de 90 ppm de quitosana ou 2000 ppm de ácido húmico para mitigar o impacto adverso do estresse salino em plantas desta espécie irrigadas com água salina em concentração de até 5000 ppm.

Nos últimos anos, a utilização de nanopartículas de silício (Si), tem ganhado o interesse do setor agrícola. A maioria dessas nanopartículas é aplicada isoladamente por aplicações foliares ou no solo (Attia & Elhawat, 2021). O Si parece mitigar o estresse abiótico por sua ação em atributos reguladores de trocas gasosas, estresse oxidativo, osmólitos e fitohormônios. O Si também melhora a absorção transcelular e apoplástica de alguns nutrientes em plantas (Mehrabanjoubani et al., 2015; Melo et al., 2022).

Ainda sobre a importância do Si no cultivo de plantas ornamentais, Attia & Elhawat (2021) relataram resultados promissores de Si aplicado via foliar ou em solo em cultivo de calêndula (*Tagetes erecta*, Asteraceae). Os resultados demonstraram que a aplicação no solo de 200 mg L⁻¹ resultou em ganhos na altura de planta, número de ramos e comprimento de raiz. Para aplicação foliar de 200 mg L⁻¹ houve melhorias nas características das flores. Em síntese, o maior número de flores, diâmetro das flores, massas frescas e secas de flores, período de floração e dias para a primeira brotação de plantas de calêndula foram registrados quando

elas receberam conjuntamente 200 e 600 mg L⁻¹ por via foliar e no solo, respectivamente. Contudo, não se observou interação entre salinidade e doses de silício para a maioria das variáveis avaliadas. Por outro lado, a aplicação de silício não foi efetiva na mitigação dos efeitos da salinidade em plantas de girassol ornamental (Véras et al., 2022).

Outra alternativa para mitigar os efeitos da salinidade em plantas ornamentais consiste na aplicação de zeólitas. As zeólitas são aluminossilicatos cristalinos microporosos (Vieira et al., 2014), que apresentam elevada capacidade de adsorção de sódio. Como os efeitos da salinidade nas plantas estão relacionados, pelo menos em parte, ao acúmulo de íons potencialmente tóxicos, como o Na⁺, é possível que as zeólitas naturais ou sintéticas atuem minimizando, pelo menos parcialmente, esse impacto. Estudo desenvolvido por Sousa et al. (2023) demonstrou efeito positivo da aplicação de zeólitas ao solo sobre a produção de biomassa de *Ixora coccínea* apenas em elevados níveis de salinidade da água de irrigação (5,0 dS m⁻¹). Entretanto, a aplicação de zeólitas reduziu o número de flores abertas, impactando negativamente a qualidade visual das plantas. Além disso, plantas de *Ixora coccínea* apresentaram baixo acúmulo de sódio nas folhas, o que impossibilitou concluir sobre algum efeito benéfico da zeólita na retenção deste íon potencialmente tóxico sob estresse salino (Sousa et al., 2023). Portanto, há necessidade de realização de outros estudos, especialmente com plantas ornamentais que acumulem sódio nos seus tecidos.

6 ESPÉCIES ORNAMENTAIS EXÓTICAS E OS RISCOS AMBIENTAIS: UM ESTUDO DE CASO

Atualmente, vários problemas ambientais assolam distintos ecossistemas em várias partes do mundo, sendo que a invasão por espécies vegetais é um dos mais graves. Diversos ecossistemas encontram-se hoje muito descaracterizados e degradados devido a processos de invasão biológica e, por isso, ela é considerada uma das maiores ameaças à biodiversidade (Gorgone-Barbosa et al., 2020). Dentre as características que permitem que as espécies exóticas se tornem potenciais invasoras, destacam-se: alta taxa de crescimento, produção de sementes de fácil dispersão, alta longevidade das sementes no solo, alta taxa de germinação, maturação precoce das plantas já estabelecidas, bem como floração e frutificação, alto potencial reprodutivo por brotação e alelopatia (Genovesi, 2005; Spiazi et al., 2017). Mesmo com o grande impacto das diferentes espécies vegetais exóticas, elas têm sido introduzidas no território brasileiro, há séculos, para utilização na alimentação e na ornamentação.

Uma das espécies introduzidas no Brasil para fins ornamentais foi a *Cryptostegia madagascariensis*, popularmente conhecida como leiteira, trepadeira, unha do cão (Andrade, 2013), unha de bruxa, viúva alegre, entre outros nomes populares. A introdução no Brasil da *C. madagascariensis*, espécie nativa de Madagascar, se deu para fins ornamentais, pela sua vistosa inflorescência de coloração de tons de rosa a violeta (Silva et al., 2008). Pertencente à família Apocynaceae, a *C. madagascariensis* é uma invasora em distintos países, a exemplo da Austrália, Estados Unidos, Índia, e Porto Rico (INVASIVE SPECIES SPECIALIST GROUP,

2010), onde tem ocasionado danos ambientais e demandado elevados custos para minimizar seus impactos.

No Brasil, essa espécie vem se destacando como uma das invasoras que mais tem causado danos ao bioma caatinga, na região nordeste (Cruz et al., 2016). A *C. madagascariensis* possui ramos flexíveis que se entrelaçam em outras plantas (Andrade, 2013) e tem como característica a capacidade de estabelecer densas populações, invadindo locais úmidos nas regiões semiáridas do nordeste brasileiro, principalmente em áreas próximas aos rios e junto à palmeira nativa *Copernicia prunifera* – Carnaúba (Sousa et al., 2016; Barbosa et al., 2019). No Estado do Ceará, essa espécie ocupa densas áreas, ocorrendo de forma destrutiva em áreas de carnaubais, podendo asfixiar e matar essas plantas, escalando e eliminando completamente seu acesso à luz (Sousa et al., 2016; Barbosa et al., 2019), conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5. Área de carnaubais infestada por *C. madagascariensis*, na zona urbana de Morrinhos-CE (A) e na zona rural de Caucaia-CE (B). Fonte: A.L.R. Neves e W.J.F. Medeiros



A capacidade de tolerar condições estressantes e recursos limitados faz parte da estratégia que torna as espécies invasoras capazes de invadir uma ampla gama de ambientes, ou seja, a alta plasticidade fenotípica (Richardson & Pysek, 2006). Dentro desse contexto, estudou-se o comportamento ecofisiológico da interação entre *C. madagascariensis* (ornamental exótica) e *Copernicia prunifera* (espécie nativa da Caatinga), nas seguintes condições descritas em detalhes em Medeiros (2021) e Medeiros et al. (2023):

1. Área de Minguaú, localizada na BR 020, município de Caucaia-CE, na parte baixa do terreno, próximo a uma lagoa, e susceptível a inundações no período chuvoso. O solo (PLANOSSOLO NÁTRICO) em Minguaú tem alta salinidade e sodicidade.
2. Área de Catuana, localizada na BR 222, município de Caucaia-CE, na parte mais alta do terreno e possui ligeira declividade, fatores que reduzem os alagamentos no período das chuvas, mas intensificam o déficit hídrico no período de seca. Esta área não apresenta alta salinidade e/ou sodicidade.

As avaliações fisiológicas foram realizadas nas estações seca e chuvosa, durante os anos de 2016 e 2017. As principais conclusões foram:

- A interação competitiva entre *C. prunifera* e *C. madagascariensis* é definida, principalmente, pela adaptabilidade das espécies às restrições abióticas do solo.
- A espécie nativa *C. prunifera* está mais bem adaptada às condições de déficit hídrico severo;
- A espécie invasora perde suas folhas durante a estação seca, principalmente em áreas não alagadas, apresentando alta capacidade de sobrevivência em ambientes semiáridos quentes.
- A infestação é mais intensa em condições de alagamento e em solos afetados por sais, condições que favorecem a *C. madagascariensis*;
- As respostas ecofisiológicas da espécie invasora não são severamente afetadas, mesmo com alto acúmulo de sódio em suas folhas, mostrando que o aumento do estresse salino não impede o seu potencial invasor.
- O estudo mostra vulnerabilidade das populações de carnaúba do ecossistema Caatinga, que podem ser severamente impactadas sem o desenvolvimento de tecnologias para controlar as espécies invasoras e mitigar os impactos no ecossistema invadido.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O setor de flores e plantas ornamentais tem grande importância social e econômica. É um setor que gera emprego e renda utilizando pequenas áreas. Para as condições do semiárido brasileiro, a floricultura é um interessante sistema de produção. Entretanto, existem alguns entraves que podem afetar a produção, como altas temperaturas, elevada radiação solar e, também, a salinidade de parte das fontes hídricas. Nesse contexto, uma alternativa é a identificação de espécies tolerantes e moderadamente tolerantes à salinidade, que permitam a obtenção de produtos em qualidade para o mercado consumidor. Também é importante identificar espécies nativas com potencial para esse sistema de agricultura bioassalada. Outra opção é a utilização de águas salobras para a rega de plantas de espécies tolerantes durante a estação seca, reduzindo o uso de água doce para essa finalidade. A introdução de espécies exóticas deve ser realizada com cautela, principalmente para o paisagismo, de modo a evitar algum tipo de invasão biológica, que pode afetar a biodiversidade e causar prejuízos para os diferentes ecossistemas.

LITERATURA CITADA

Andrade, L. A. Plantas Invasoras: espécies vegetais exóticas invasoras da Caatinga e ecossistemas associados. Epgraf, Campina Grande, 2013.

- Arshad, M. A.; Akhtar, G.; Rajwana, I. A.; Ullah, S.; Hussain, M. B.; Amin, M.; Faried, N.; Razzaq, K.; Shehzad, M. A.; Ahsan, M.; Yasar Sajjad, Y.; Ahmed, I. Foliar application of chitosan improves plant biomass, physiological and biochemical attributes of rose (*Grassia-Teplitz*). *Kuwait Journal Science*, v.49, n.2, p.1-14, 2022.
- Ashour, H. A.; Esmail, S.; Esmail, A.; Kotb, M. S. Alleviative effects of chitosan or humic acid on *Vitex trifolia* 'Purpurea' grown under salinity stress. *Ornamental Horticulture*, v.27, n.1, p.88-102, 2021.
- Attia, E. A.; Elhawat, N. Combined foliar and soil application of silica nanoparticles enhances the growth, flowering period and flower characteristics of marigold (*Tagetes erecta* L.). *Scientia Horticulturae*, v.282, e110015, 2021.
- Barbosa, E. M.; Bonilla, O. H.; Lucena, E. M. P.; Andrade, L. M. Estrutura de um Fragmento de Caatinga Infestado por *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex Decne. *Revista Brasileira de Geografia. Física*, v.12, p.1952-1966, 2019.
- Bezerra, F. M. S. B.; Lacerda, C. F. de.; Ruppenthall, V.; Cavalcante, E. C.; Oliveira, A. C. de. Salt tolerance during the seedling production stage of *Catharanthus roseus*, *Tagetes patula* and *Celosia argentea*. *Revista Ciência Agronômica*, v.51, n. 3, e20196590, 2020.
- Bhagia, S.; Ferreira, J. F. S.; Kothari, N.; Nunez, A.; Liu, X.; Dias, N. S.; Suarez, D. L.; Kumar, R.; Wyman, C. E. Sugar yield and composition of tubers from Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus*) irrigated with saline waters. *Biotechnology and Bioengineering*, v.115, p.1475-1484, 2018.
- Cassaniti, C.; Romano, D.; Flowers, T. J. The response of ornamental plants to saline irrigation water. In: García Garizábal, I.; Abrahao, R. (eds). "Irrigation: Types, Sources and Problems/Book 2". Rijeka: Intech, 2012. p.131-158
- Cassaniti, C.; Romano, D.; Hop, M. E. C. M.; Flowers, T. J. Growing floricultural crops with brackish water. *Environmental and Experimental Botany*, v.92, p.165-175, 2013.
- Chen, W.; Lin, F.; Lin, K. H.; Chen, C.; Xia, C.; Liao, O.; Chen, S. P.; Kuo, Y. W. Growth promotion and salt-tolerance improvement of *Gerbera jamesonii* by root colonization of *Piriformospora indica*. *Journal of Plant Growth Regulation*, v.41, p.1219-1228, 2022.
- Cruz, F. R.S.; Andrade, L. A.; Alves, E. U. Estresse salino na qualidade fisiológica de sementes de *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex Decne. *Ciência Florestal*, v.26, p.1189-1199, 2016.

- Dias, N. S.; Ferreira, J. F. S.; Liu, X.; Suarez, D. L. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*, L.) maintains high inulin, tuber yield, and antioxidant capacity under moderately-saline irrigation waters. *Industrial Crops and Products*, v.94, p.1009-1024, 2016.
- García-Caparrós, P.; Lao, M. T. The effects of salt stress on ornamental plants and integrative cultivation practices. *Scientia Horticulturae*, v.20, p. 430-439, 2018.
- Genovesi, P. Eradications of invasive alien species in Europe: a review. *Biological Invasions*, v.7, p.127-133, 2005.
- Gorgone-Barbosa, E.; Novaes, R. B.; Pivello, V. R.; Fidelis, A. Fire cues and germination of invasive and native grasses in the Cerrado. *Acta Botânica Brasilica*, v.34, p.185-191, 2020.
- He, X.; Jia, H.; Hao, X.; Li, Q. H₂O₂ distribution and its relationship with antioxidant enzymes during germination in *Dianthus chinensis* L. under long-term salt stress. *Advance Journal of Food Science and Technology*, v.4, n.5, p.294-298, 2012.
- IBRAFLOR - INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORICULTURA. Padrão de qualidade: critérios de classificação. Campinas: IBRAFLOR, 2018. Disponível em: [http://www.ibraflor.com/br/padrãodequalidade](http://www.ibraflor.com.br/padrãodequalidade). Acesso em: 27 Fev. 2022.
- INVASIVE SPECIES SPECIALIST GROUP. Global invasive species database. 2010. Disponível em: <http://www.issg.org/database/species/distribution.asp?si=1628&fr=1&sts=sss&lang=EN>. Acesso em: 26 de janeiro de 2021.
- Jafari, S.; Ebrahim, S.; Garmdareh, H. Effects of salinity on morpho-physiological, and biochemical characteristics of stock plant (*Matthiola incana* L.). *Scientia Horticulturae*, v.257, n.17, e108731, 2019.
- Karagöz, F. P.; Dursun, A. Calcium nitrate on growth and ornamental traits at salt-stressed condition in ornamental kale (*Brassica oleracea* L. var. Acephala). *Ornamental Horticulture*, v.27, n.2, p.196-203, 2021.
- Lacerda, C. F. de; Oliveira, E. V. de; Neves, A. L. R.; Gheyi, H. R.; Bezerra, M. A.; Costa, C. A. G. Morphophysiological responses and mechanisms of salt tolerance in four ornamental perennial species under tropical climate. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.24, n.10, p.656-663, 2020.
- Lacerda, C. F.; Gheyi, H. R.; Medeiros, J.F.; Costa, R. N. T.; Sousa, G. G.; Geovani, S. L. Strategies for the use of brackish water for crop production in northeastern Brazil. *In: Taleisnik, E.;*

- Lavado, R. S. (eds). Saline and alkaline soils in Latin America: natural resources, management and productive alternatives.: Springer, 2021, p. 71-99.
- Lessa, C. I. N.; de Lacerda, C. F.; Cajazeiras, C. C. D. A.; Neves, A. L. R.; Lopes, F. B.; Silva, A. O. d.; Sousa, H. C.; Gheyi, H. R.; Nogueira, R. D. S.; Lima, S. C. R. V.; Costa, R. N. T.; Sousa, G. G. de. Potential of brackish groundwater for different biosaline agriculture systems in the Brazilian Semi-Arid region. *Agriculture*, 13, 550, 2023.
- Macena, R. A. Influência da temperatura e da salinidade em suas espécies de cactáceas endêmicas da caatinga. Monografia (Universidade Federal de Campina Grande). 52 p., 2018.
- Medeiros, W. J. F. Impactos de fatores do solo e da competição com *Cryptostegia madagascariensis* sobre as respostas ecofisiológicas de plantas jovens e adultas de *Copernicia prunifera*. Tese de Doutorado (Universidade Federal do Ceará). 116 p, 2021.
- Medeiros, W. J. F.; de Lacerda, C. F.; Zandavalli, R. B.; Araújo, I. C. S.; Sousa, C. H. C.; Bezerra, A. M. E.; Ribeiro, A. A.; Braz, R. S. The ecophysiological responses of *Copernicia prunifera* palm trees to soil constraints and competition with invasive *Cryptostegia madagascariensis* in tropical dryland. *Acta Physiologia Plantarum*, v.45, 2023.
- Mehrabanjoubani, P.; Abdolzadeh, A.; Sadeghipour, H. R.; Aghdasi, M. Silicon affects transcellular and apoplastic uptake of some nutrients in plants. *Pedosphere*, v.25, n.2, p.192-201, 2015.
- Melo, A. S.; Lima, Y. B.; Lacerda, C. F.; Viegas, P. R. A.; Ferraz, R. L. S.; Gheyi, H. R. Water restriction in cowpea plants [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]: Metabolic changes and tolerance induction. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.26, p.190-197, 2022.
- Miyamoto, S.; Martinez, I.; Padilla, M.; Portillo, A.; Ornelas, D. Landscape plant lists for salt tolerance assessment. USDI, Bureau of Reclamation. Texas Agricultural Experiment Station, 2004. 15p.
- Moore, K.; Wajsbrot, C.; Burgart, C.; Fisher, L. A Test Method to Evaluate Salt Tolerance of Ornamentals. *HortTechnology* v.29, n.4, p. 434-437, 2019.
- Morcillo, P. J. B.; Praça, B. M.; Gómez-Serrano, C.; Rojas, E.; Jiménez-Becker, S. Effect of the foliar application of cyanobacterial hydrolysate (*Arthrospira platensis*) on the growth of *Petunia x hybrida* under salinity conditions. *Journal of Applied Phycology*, v.32, p.4003-4011, 2020.

- Neves, A. L. R.; Lacerda, C. F.; Sousa, C. H. C.; Fernandes, F. I. de O.; Ribeiro, M. da S. de S. Quantitative and qualitative responses of *Catharanthus roseus* to salinity and biofertilizer. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.22, p.22-26, 2018.
- Niu, G.; Sun, Y.; Hooks, T.; Altland, J.; Dou, H.; Perez, C. Salt Tolerance of Hydrangea Plants Varied among Species and Cultivar within a Species. *Horticulturae*, v.6, 54, 2020.
- Oliveira, A. A. P.; Brainer, M. S. C. P. Floricultura: caracterização do mercado. Documentos do ETENE: Escritório técnico de estudos econômicos do Nordeste, Série de documentos do ETENE nº 16, Fortaleza: Banco no Nordeste do Brasil, 2007.
- Oliveira, E. V. de; Lacerda, C. F. de; Neves, A. L. R.; Gheyi, H. R.; Oliveira, D. R.; Oliveira, F. I. F. de; Viana, T. V. de A. A new method to evaluate salt tolerance of ornamental plants. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, v.30, p.173–180, 2018.
- Ondrasek, G.; Rathod, S.; Manohara, K. K.; Gireesh, C.; Anantha, M. S.; Sakhare, A. S.; Parmar, B.; Yadav, B. K.; Bandumula, N.; Raihan, F.; Chmielewska, A. Z.; Gergichevich, C. M.; Díaz, M. R.; Khan, A.; Panfilova, O.; Fuentealba, A. S.; Romero, S. M.; Nabil, B.; Wan, C.; Shepherd, J.; Horvatinec, J. Salt stress in plants and mitigation approaches. *Plants*, v.11, n.6, e717, 2022.
- Pacheco, C. S. G. R.; Silva, A. M. Arborização urbana em Petrolina (PE): melhoria paisagística e de qualidade ambiental com plantas nativas da Caatinga. *Nature and Conservation*, v.12, p.77-87, 2019.
- Prado, U. B. Estresse térmico e salino sobre a germinação e crescimento inicial de cactáceas nativas com potencial ornamental. *Monografia (Universidade Federal do Ceará)* 50 p., 2019.
- Ribeiro, A.A.; Lacerda, C.F.; Neves, A.L.R.; Sousa, C.H.C.; Braz, R.S.; Oliveira, A.C.; Pereira, J.M.P.; Ferreira, J.F.S. Uses and losses of nitrogen by maize and cotton plants under salt stress, *Archives of Agronomy and Soil Science*, v.67, n.8, p.1119-1133, 2021.
- Richardson D.M.; Pyšek, P. Plant invasions: merging the concepts of species invasiveness and Community invasibility. *Progress in Physical Geography*, v.30, p. 409-431, 2006.
- Sagar, A.; Rai, S.; Ilyas, N.; Sayyed, R. Z.; Al-Turki, A. I.; Enshasy, H. A. E.; Simarmata, T. Halotolerant rhizobacteria for salinity-stress mitigation: diversity, mechanisms and molecular approaches. *Sustainability*, v.14, n.1, e490, 2022.
- Santos, J. W. G. dos; Lacerda, C. F. de; Oliveira, A. C. de; Mesquita, R. O.; Bezerra, A. M. E.; Marques, E. da S.; Neves, A. L. R. Quantitative and qualitative responses of *Euphorbia*

- milii* and *Zamioculcas zamiifolia* exposed to different levels of salinity and luminosity. *Revista Ciência Agronômica*, v.53, p.1-10, 2022.
- Silva, J. L.; Barreto, R. W.; Pereira, O. L. *Pseudocercospora cryptostegia-madagascariensis* sp. nov. on *Cryptostegia madagascariensis*, an exotic vine involved in major biological invasions in Northeast Brazil. *Mycopathologia*, v.166, p.87-91, 2008.
- Silva, M. A.; Nascente, A. S.; Rezende, C. C.; Mello Frasca, L. L. de M.; Filippi, M. C. C. de; Lanna, A. C.; Ferreira, E. P. de B.; Cruz, D. R. C.; Lacerda, M. C. Multifunctional rhizobacteria: use in agriculture, *Research, Society and Development*, v.11, n.4, e3111426971, 2022.
- Somayyeh, S.; Masouleh, S. Use of magnetic nano-chitosan as bio-fertilizer to reduce production period in three *Cyclamen* cultivars. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v.22, p.281-293, 2022.
- Sousa, F.Q.; Andrade, L. A.; Xavier, K. R. F. *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex Decne.: impactos sobre a regeneração natural em fragmentos de caatinga. *Agrária – Revista Brasileira Ciências Agrárias*, v.11, p.39-45, 2016.
- Sousa, H.G.; Lacerda, C.F.; Silva, L.R.D.; Medeiros, W.J.F.; Cavalcante, E.S.; Sousa, A.M.. Application of zeolites as an alternative to reduce the effects of salt stress on *Ixora coccinea* L. *Comunicata Scientiae*, v.14, e3500, 2023.
- Véras, M.L.M.; Sousa, N.A.; Araújo, F.F.; Batista, D.S.; Dias, T.J. Irrigation water salinity and silicon negatively interfere with the physiology and delay the flowering of ornamental sunflowers. *Comunicata Scientiae*, v.13, e3415, 2022
- Vieira, L.H.; Rodrigues, M.V.; Martins, L. Cristalização convencional de zeólitas e induzida por sementes. *Química Nova*, v.37, p.1515-1524, 2014.
- Zhao, Z.; Li, T.; Cheng, Y.; Wang, F.; Zhao, X. Morphological and metabolic responses of four *Iris germanica* cultivars under salinity stress. *Scientia Horticulturae*, v.281, e109960, 2021.

PLANTAS TOLERANTES A SAIS E SEU POTENCIAL ECONÔMICO *PÓS REMEDIAÇÃO DE SOLOS* SALINOS E SÓDICOS

Gabriel Henrique Maximo Clarindo Silva^{1}, Clarissa Buarque Vieira¹,
Jorge Freire da Silva Ferreira², Josimar Gurgel Fernandes³,
Maria Betânia Galvão dos Santos Freire¹*

RESUMO: O avanço da salinidade nos solos, em paralelo ao crescimento populacional, reflete a preocupação global quanto às limitações na produção de alimentos. Neste contexto, a agricultura bioessalina tem papel essencial em promover a recuperação dos solos degradados pelo acúmulo de sais a partir do uso de plantas fitorremediadoras. As plantas tolerantes a sais, principalmente as halófitas, atuam na dessalinização dos solos, absorvendo o excesso de sais que tornam estes solos marginais ao uso agrícola e restabelecendo a fertilidade dos solos. O potencial destas plantas, as quais acumulam os sais na parte aérea abrange, além do papel agrônômico, aspectos sociais e ecológicos. Uma variedade de espécies tolerantes a sais apresenta inúmeras aplicações econômicas que vão desde a alimentação humana e animal até a produção de materiais biotecnológicos e o sequestro de carbono da atmosfera. O uso

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Recife - PE, Brasil

² Agricultural Water Efficiency and Salinity Research Unit (U.S. Salinity Laboratory, USDA-ARS), Riverside-CA, USA

³ Instituto Agrônômico de Pernambuco - IPA, Recife - PE, Brasil

* Autor correspondente: gabriagro@hotmail.com

de plantas com esses objetivos pode gerar melhorias socioeconômicas para a população em regiões sob o avanço da salinidade, principalmente em zonas áridas e semiáridas. Este capítulo aborda as principais aplicações econômicas de plantas tolerantes a sais após seu uso na remediação dos solos afetados por sais dentro do panorama atual de países como o Brasil, abordando regiões afetadas pela salinidade, como o semiárido nordestino.

Palavras-chave: Agricultura bioassalada, plantas halófitas, valor econômico, plantas energéticas.

SALT-TOLERANT PLANTS AND THEIR ECONOMIC POTENTIAL AFTER THE RECLAMATION OF SALINE AND SODIC SOILS

ABSTRACT: The increase in soil salinity, associated with populational growth, triggers global concerns about future limitations in food production. In this context, biosaline agriculture plays an essential role by promoting the reclamation of salt-degraded soils through phytoremediation. Salt-tolerant plants, especially halophytes, mitigate soil salination with potential restoration of these soils into agricultural use. The potential of these plants encompasses their roles in agriculture, society, and ecology with numerous economic applications that range from feeding humans and animals to the production of biotechnological materials and carbon sequestration. The use of salt-tolerant glycophytes and halophytes as phytoremediators can generate socioeconomic improvements for farmers in regions afflicted by salinity. This chapter discusses the main economic applications of salt-tolerant plants after saline and sodic soil reclamation under the current reality of countries such as Brazil, focusing on regions affected by salinity, such as the semiarid Brazilian Northeastern region.

Key words: Biosaline agriculture, halophyte plants, economic value, biomass feedstocks for energy crops.

1 INTRODUÇÃO

Altas concentrações de sais nos solos comprometem a produção de alimentos, especialmente em regiões áridas e semiáridas e representam uma das maiores ameaças para a segurança alimentar no planeta. São em torno de 1,1 bilhão de hectares afetados por sais, sendo 831 milhões de hectares em áreas agricultáveis, 47% são salinos e 63% são sódicos ou salino-sódicos (Wicke et al., 2011; Hasnain et al., 2023). Este aumento na degradação dos solos limita significativamente a produção de alimentos, a qual segue de forma contrária à demanda mundial da população por esta produção. De acordo com dados da UN (2022) estima-se que alcançaremos a marca de 9,7 bilhões de pessoas até 2050 e 10.4 bilhões até 2100. Assim, o aumento da população, em paralelo ao avanço da salinidade, não será acompanhado pelo necessário aumento de produção do setor agrícola mundial nas próximas décadas, gerando déficit de alimentos.

Algumas técnicas são consideradas necessárias para atenuar o avanço da salinidade, ou recuperar áreas já salinas. O uso de plantas halófitas, ou tolerantes aos sais, na remediação e/ou produção de alimentos em solos afetados por sais é considerada umas das técnicas mais eficientes e menos onerosas da atualidade. Estas plantas fazem parte de um grupo seletivo de vegetais (1% da flora mundial) que apresentam a habilidade de crescer, produzir biomassa e se reproduzir sob condições salinas e sódicas (Hasnain et al., 2023). Predominantemente advindas de zonas costeiras, essas plantas apresentam mecanismos anatômicos, morfológicos e fisiológicos que possibilitam seu desenvolvimento em solos afetados por sais, condições estas geralmente ausentes no grupo das plantas glicófitas.

Além dos efeitos positivos gerados a partir da recuperação destes solos, algumas plantas possuem valor econômico para a região produtora, podendo ser utilizadas para alimentação humana e animal, na indústria de fármacos e cosméticos, na produção de biocombustíveis, em projetos paisagísticos e ornamentais, para obtenção de créditos de carbono e produção de materiais biotecnológicos (Cassaniti & Romano, 2011; Sharma et al., 2016; Rigó et al., 2016; De Carvalho et al., 2017; Nikalje et al., 2018; Yadav et al., 2018).

O Brasil é um dos países com uma das maiores extensões de áreas afetadas pelo acúmulo de sais. São aproximadamente 16 milhões de hectares, sendo 70% localizados em regiões áridas (≤ 250 mm de precipitação ano⁻¹) e semiáridas (de 250-500 mm ano⁻¹) da Região Nordeste (NE) (Ribeiro et al., 2003). Naturalmente, parte dos solos presentes nas zonas semiáridas do NE são suscetíveis à salinização devido à presença de minerais ricos em sais, alta evaporação local e baixa precipitação anual, as quais interagem possibilitando a permanência dos sais no solo, principalmente nas camadas superficiais. O problema é agravado a partir do manejo inadequado da irrigação e da falta de conservação e/ou manutenção do sistema de drenagem (Gheyi et al., 2022). Nesse contexto, a implantação da agricultura biossalina com plantas glicófitas tolerantes à salinidade e halófitas vem crescendo em importância para regiões áridas e semiáridas.

O cultivo de plantas tolerantes a sais em áreas salinas antes classificadas como não agricultáveis poderá gerar retornos econômicos para a população local. Sob este ponto

de vista, as possíveis aplicações das plantas descritas anteriormente têm efeito socioeconômico significativo para a região Nordeste do Brasil, onde, segundo dados da Rede PENSSAN (2022), cerca de 68% da população sofre com algum nível de insegurança alimentar (21% com insegurança alimentar grave). A partir dos dados da rede PENSSAN, estima-se que aproximadamente 47% da população do semiárido se encontra em situação de fome (ASSUFBA, 2021) e apresenta, a nível familiar, os menores rendimentos per capita do país (IBGE, 2022).

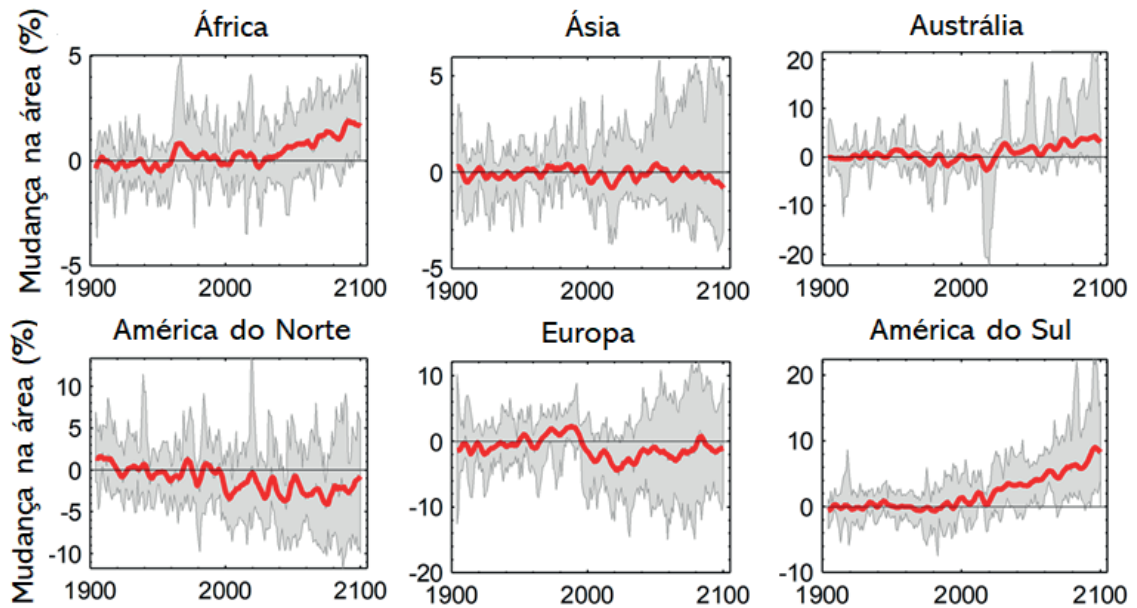
2 AVANÇO DA SALINIDADE

A degradação dos solos promovida pelo acúmulo de sais é um dos processos mais difundidos no planeta. No total, estima-se que estes solos cubram 1,1 bilhão de hectares em toda superfície terrestre (Wicke et al., 2011). Em torno de 20 a 30% são representadas pelas zonas costeiras (estuários, manguezais, lagunas, restingas e pântanos salgados), as quais são consideradas depósitos de sais advindos das águas fluviais e, principalmente, dos oceanos. Por outro lado, a maior porção destes solos (~70%) encontra-se nas regiões áridas e semiáridas dos continentes (Wicke et al., 2011). Nas áreas irrigadas do planeta, estima-se que 20% encontram-se afetadas pelo acúmulo de sais, o que corresponde a 60 milhões de hectares (Squires & Glenn, 2011).

O avanço na degradação dos solos pelo acúmulo de sais pode acelerar nas próximas décadas devido ao manejo agrícola inadequado, incluindo a irrigação e o uso excessivo de fertilizantes, além das mudanças climáticas. De acordo com o Central Soil Salinity Research Institute, este aumento vem ocorrendo nas regiões costeiras pela intrusão de água do mar, resultante da extração excessiva de fontes de águas subterrâneas (CSSRI, 2014). Nas regiões áridas e semiáridas dos continentes a redução das chuvas e o aumento da temperatura têm proporcionado um aumento no acúmulo de sais nos solos. Somados às ações antrópicas como uso excessivo de fertilizantes, uso de água de má qualidade na irrigação e manejo deficiente dos sistemas de drenagem, a salinização tem aumentado abruptamente nas regiões agrícolas (Zhou et al., 2013). Um exemplo é o aumento observado em países asiáticos. Em Bangladesh, a porcentagem de solos salinos aumentou de menos de 1% em 1990 para 33% em 2015 (Rahman et al., 2018).

De acordo com previsões globais de salinização devido às mudanças climáticas, Hassani et al. (2021) identificaram que haverá um aumento significativo nas áreas afetadas por sais nas próximas décadas e as consequências serão observadas em todos os atributos dos solos, sendo já considerada uma das principais ameaças à estabilidade, fertilidade e biodiversidade dos solos, principalmente em regiões com elevadas temperaturas. As predições elaboradas pelos autores revelam que a expansão das áreas degradadas por sais será acentuada em países da América do Sul, América Central e África (Figura 1).

Figura 1. Mudança anual prevista em nível continental na área total de solos com $CE_{es} \geq 2 \text{ dS m}^{-1}$ em relação à média do século XX (1904–1999) para os modelos obtidos do projeto de dados CMIP6. a–f mostrando a mudança relativa das áreas e considerando um aumento na concentração de gases do efeito estufa. Fonte: Hassani et al. (2021).



O Brasil foi considerado o país mais afetado pelo avanço da salinidade, de acordo com Hassani et al. (2021), onde a salinidade $\geq 2 \text{ dS m}^{-1}$ nos solos de regiões semiáridas pode aumentar em até 43% entre os anos 2071 e 2100 quando comparada ao período de 1904 a 1999. Esses autores projetaram ainda um aumento no número e duração dos eventos de seca, maior evapotranspiração potencial e real, tendências decrescentes na frequência e intensidade da precipitação e, em geral, condições mais secas em meados e no final do século XXI.

Nas regiões onde o aumento da temperatura e redução das chuvas são mais perceptíveis, como o Nordeste brasileiro, a problemática se intensifica devido ao manejo inadequado da irrigação por meio do uso de água com alto teor de sais dissolvidos e a falta de drenagem que contribuem para a salinização e sodificação dos solos. Este processo é comum em regiões semiáridas. Estima-se que dos 5.000 km² de áreas irrigadas na região, 30% apresentam algum nível de salinização (Bouaziz et al., 2011). Alguns perímetros irrigados são bem conhecidos pelo histórico de degradação dos solos como os perímetros de Ibimirim e Custódia, localizados no estado de Pernambuco, o de São Gonçalo, no estado da Paraíba e o de Morada Nova, no estado do Ceará.

Apesar dos dados atuais serem alarmantes, estima-se que estes números estejam aquém das áreas atualmente afetadas por sais. No Brasil há uma escassez, ou falta, de estudos que abordem o diagnóstico de salinidade e sodicidade nos solos em escala de bacias hidrográficas (Pessoa et al., 2022a). Segundo estes autores, os estudos se concentram em áreas locais ou apenas a nível de perímetro irrigado abrangendo apenas parte de áreas municipais.

3 PLANTAS TOLERANTES A SAIS NA AGRICULTURA BLOSSALINA

3.2 Pós-fitorremediação: Aplicações potenciais de plantas tolerantes a sais

A fim de sustentar a produção agrícola e possibilitar a manutenção da economia das regiões afetadas por sais, o cultivo de plantas tolerantes a sais se caracteriza como uma das soluções viáveis, apesar de não muito comum (Harper et al., 2021). De acordo com estes autores, sua viabilidade vai depender do conteúdo de sais acumulado no solo, o qual é muito maior do que a quantidade que pode ser removida por plantas. Além dos benefícios primários gerados a partir da fitorremediação destes solos, estas plantas apresentam um vasto potencial de uso, podendo ser consideradas desde fontes ricas de alimentos para seres humanos e animais até matéria-prima para o setor biotecnológico (Figura 2) (Nikalje et al., 2018). Algumas espécies são fontes de metabólitos primários e secundários de alto valor nutricional e antioxidante, como espécies nativas de regiões ibéricas (Duarte et al., 2022).

Figura 2. Esquema demonstrando os potenciais econômicos de plantas tolerantes a sais. Fonte: Imagem adaptada de Specialtyproduce (2023).



Algumas espécies de plantas se destacam neste aspecto, principalmente devido à possibilidade de múltiplas aplicações econômicas. Dentre elas estão as halófitas: quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), salicórnica (*Salicornia spp.*), beldroega (*Sesuvium portulacastrum*) e atriplex (*Atriplex spp.*), as quais conseguem se desenvolver sob diferentes níveis de salinidade e se destacam como fonte de nutrientes, matéria prima para produção de fármacos e biocombustíveis (Duarte et al., 2022; Hasnain et al., 2023). Plantas glicófitas tolerantes à salinidade,

como o sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor*), também são consideradas importantes opções econômicas para as regiões semiáridas, principalmente, visando a alimentação animal e a produção de biocombustíveis (Coelho et al., 2017).

Os benefícios econômicos gerados podem ser altamente significativos, principalmente para as regiões áridas e semiáridas, as quais apresentam a maior resistência e dificuldades para implementação da agricultura bioassalada. Este cenário é diferente do observado nas zonas salinas costeiras, onde é possível identificar menor vulnerabilidade econômica devido à pluralidade de atividades como turismo, pesca artesanal e carcinicultura.

A seguir serão discutidas as principais aplicações econômicas das plantas tolerantes a sais consideradas alternativas para estas regiões.

3.1.1 Fonte de nutrientes na dieta humana

As plantas tolerantes a sais, principalmente as halófitas, são fontes alternativas a hortaliças e vegetais para consumo humano onde a água de boa qualidade é escassa e os solos contêm altas concentrações de sais, que não podem ser tolerados por culturas glicófitas. As propriedades organolépticas e valor nutricional das halófitas podem ser comparados às das glicófitas, dependendo das propriedades químicas do solo e da suplementação mineral, quando necessária. Na Europa e Ásia, em países banhados pelo Mar Mediterrâneo, onde o consumo destas espécies é mais antigo, algumas plantas halófitas que se desenvolvem em pântanos salgados, rapidamente foram incorporadas à culinária local, como a *Salicornia spp.* e a *Sarcocornia spp.* (Barreira et al., 2017). A partir de estudos bioquímicos dos tecidos vegetais destas halófitas, observou-se um alto valor nutricional, que fomentou o interesse da população pela incorporação destas plantas na dieta. Algumas destas espécies vegetais apresentam um potencial nutricional igual ou superior às plantas tradicionalmente consumidas como arroz, trigo, soja, milho e tomate, as quais representam cerca de 90% das culturas usadas como alimento humano (Khan et al., 2007).

Considerando o avanço da salinidade e sodicidade em regiões costeiras e semiáridas, as plantas tolerantes a sais são consideradas uma alternativa agrícola e, conseqüentemente, fonte alimentar para regiões onde apenas águas e solos salinos estão disponíveis para a agricultura (Panta et al., 2014). Estas plantas sintetizam certos compostos bioquímicos, metabólitos secundários, em resposta às condições estressantes. A maioria destes metabólitos, como por exemplo os compostos fenólicos, aminoácidos, carotenoides e flavonoides, são considerados essenciais à alimentação humana (Fiedor & Burda, 2014; Duarte et al., 2022). Além disto, devido ao acúmulo e compartimentalização de solutos e íons compatíveis para regulação osmótica e transpiração, essas plantas geralmente contêm elevada concentração de nutrientes nos seus tecidos (Barreira et al., 2017).

Alguns gêneros de halófitas são historicamente conhecidos pelos seus potenciais de consumo, tais como *Chenopodium*, *Salicornia*, *Atriplex*, *Sesuvium*, *Plantago*, *Portulaca*, *Salsola* e *Suaeda*. As partes comumente consumidas são principalmente as folhas, cruas ou cozidas, e os grãos são utilizadas na produção de óleos e farinhas (Figura 3) (Tug & Yaprak, 2017).

Nutricionalmente, estas se destacam como fontes de proteínas, gorduras, carboidratos, amido, fibras e minerais.

Figura 3. Pratos e produtos comerciais à base de halófitas. Fonte: Adaptado de Cook (2023); Teahaven (2023); Healthyoptions.qa (2023); Kullillaart (2023).



Dentre os gêneros citados, algumas espécies se destacam na dieta humana como a quinoa, salicórnia e atriplex. A quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) é um pseudocereal considerada halófita facultativa que foi domesticada por nativos da América do Sul (Gomez-Caravaca *et al.*, 2012). Por ser uma planta com elevado potencial agrônômico, a quinoa possui genótipos que são capazes de tolerar condições ambientais adversas como alta salinidade e secas prolongadas, podendo sobreviver em solos com condutividade elétrica (CE_{es}) superior a 40 dS m^{-1} (Adolf *et al.*, 2013). Nutricionalmente, a quinoa se equipara ao milho, trigo e soja, pois 100 g de grãos contêm, em média, 13,80% de proteína, 5,04% de gordura, 69,0% de carboidratos (sendo 67,35% amido), 2,30% de fibra bruta, 12,88% de fibra dietética e 3,33% de cinzas/minerais (Nikalje *et al.*, 2018).

O consumo da quinoa não se restringe ao consumo de grãos, pois suas folhas também são consideradas como fonte de proteína, alcançando até 33% da matéria seca. Todavia, nos mercados, os grãos são encontrados com maior facilidade, os quais são comercializados in natura ou processados na forma de farinha. A farinha pode ser incorporada de forma integral ou suplementar na preparação de pães, biscoitos e bebidas. Além dos aspectos nutricionais, os grãos de quinoa não contêm glúten, sendo uma fonte de alimento atrativo para pessoas intolerantes a esta substância (Bazile, 2021).

A partir do início do século XX, a quinoa rompeu a barreira andina e suas sementes foram levadas para África, América do Norte, Europa e Ásia. Sua tolerância às condições edafoclimáticas extremas chamaram a atenção de pesquisadores de todas as partes do mundo (Alandia *et al.*, 2020). A partir de 1970, o consumo de quinoa aumentou consideravelmente devido à crescente busca por fontes de proteínas vegetais por comunidades vegetarianas e veganas. Em uma pesquisa que buscava fontes proteicas para serem consumidas em missões espaciais, a NASA, agência espacial americana, destacou a quinoa como uma boa opção alimentar, a qual contém todos os aminoácidos essenciais (Alandia *et al.*, 2011). Os

pesquisadores ainda destacaram a presença de lisina, um aminoácido dificilmente encontrado nas fontes proteicas tradicionais.

A Salicórnia (*Salicornia spp.*) é considerada também uma alternativa viável para estes ambientes extremos. Estas plantas se desenvolvem em áreas costeiras salinas de regiões sob clima temperado e tropical, podendo produzir biomassa em soluções com 200 a 400 mmol L⁻¹ de NaCl (Flowers & Colmer, 2008). Sua biomassa suculenta e salgada chamou a atenção do mercado Europeu e passou a ser introduzida na culinária de alguns países (Figura 3), principalmente após a identificação do seu valor nutricional, com elevado teor de nutrientes e antioxidantes como vitamina A e β -caroteno (Lu et al., 2010).

As partes principais consumidas são as hastes (folhas modificadas) e os grãos. Estas hastes concentram teores elevados de vitaminas, carotenoides e sais minerais. Vitaminas E, B2, B5 e, principalmente, C (ácido ascórbico) são identificadas em níveis altos, podendo atingir aproximadamente 100 mg de vitamina C por cada 100 g de hastes frescas, o que é superior ao teor identificado em frutos como a laranja (53 mg 100 g⁻¹), atingindo o valor de ingestão diária sugerido para redução de riscos de doenças cardíacas, derrame e câncer (Guil et al., 1997; USDA, 2019). Outro componente que chama atenção são os teores de β -caroteno que podem chegar até 15,9 mg 100 g⁻¹ de peso fresco, como os observados nas hastes de *S. bigelovii*, superando em mais de 4 vezes o teor de β -caroteno em alimentos, como cenoura e manga, que apresentam teores em torno de 3,70 mg 100 g⁻¹ e 0,84 mg 100 g⁻¹, respectivamente (Corrêa et al., 2015). O β -caroteno é considerado uma fonte de vitamina A, além da luteína, um carotenoide que possui capacidade antioxidante. A salicórnia também se mostrou um potencial substituto do sal de cozinha (NaCl) podendo ser usada como um fitosal rico em nutrientes, sais e vitaminas sendo superior ao sal de cozinha em termos nutritivos e minerais. Além da presença de sais, as hastes da salicórnia possuem ácido trans-ferúlico que atua na proteção da disfunção vascular e hipertensão. Com isso, alguns autores observaram menores efeitos na pressão arterial após o consumo e consideraram a salicórnia como uma alternativa mais saudável quando comparado ao sal marinho tradicional (Lopes et al., 2017).

Os grãos de salicórnia também apresentam elevado valor econômico devido a sua composição química. Estas sementes apresentam de 27 a 32% de óleo. Estudos revelaram que o óleo advindo das sementes de salicórnia é rico em ácido linoleico (~76%), também conhecido como ômega-6, um ácido graxo essencial que atua na manutenção das membranas celulares e funções cerebrais, síntese de hemoglobina e possui propriedades anti-inflamatórias diminuindo os níveis de colesterol ruim, o LDL (Mourão et al., 2005; Loconsole et al., 2019; TUA SAÚDE, 2023). Estes grãos são ricos também em outros ácidos graxos: 13% de ácido oleicos (ômega 9); 8,1% de ácido palmítico (óleo de palma) e 2,2% de ácido esteárico, que são consideradas gorduras saturadas e apresentam benefícios à saúde humana semelhantes ao ácido linoleico. Ademais, os grãos da salicórnia são considerados fonte de proteína chegando a atingir 31% da sua massa (Glenn et al., 1991).

A salicórnia é consumida em todos os continentes, principalmente na América do Norte e Europa, onde são produzidas saladas a partir de suas hastes, de forma fresca ou cozida (Figura 3) (Antunes et al., 2021). Na parte ocidental dos Estados Unidos e Canadá, a farinha

advinda dos grãos moídos é usada como matéria-prima na preparação de pães. Na Europa, em países como Itália e França, as hastes da salicórnia são consumidas na forma de pickles e como vinagre. Na Ásia, em países como a Coreia do Norte e Coreia do Sul, além de ser usada em saladas e na preparação de chás, a salicórnia é consumida na forma fermentada, sendo considerada um alimento popular na região, pois atrai microrganismos que estimulam o processo de fermentação, contribuindo também na produção de vinagres (Ekanayake et al., 2023).

Outra cultura importante pertencente ao grupo das halófitas, e uma das mais estudadas, é a atriplex (*Atriplex spp.*), popularmente conhecida como “erva sal”. Com elevada adaptabilidade às condições extremas de salinidade e seca, existem registros do consumo destas plantas em períodos por volta de 2500 a.C. (Zanella & Vianello, 2020). De modo geral, as espécies de atriplex são mais utilizadas na alimentação animal (Tópico 3.3). Todavia, o consumo se estende, também, à dieta humana, a qual se baseia no uso de suas folhas frescas para a produção de saladas ou cozidas na preparação de sopas, massas, quiches e pratos com legumes, principalmente as espécies *A. hortensis* e *A. portulacoides*. As folhas de atriplex são ricas em proteínas (~17%), gordura (~3%), carboidrato (~56%), fibras (~11%) e nutrientes, principalmente Ca (~2%) (Rinchen & Singh, 2015).

Em países da Europa como Holanda, Bélgica e Portugal, a população consome folhas de atriplex em saladas alegando apresentarem sabor semelhante às folhas de espinafre, o que favoreceu ainda mais o consumo. A atriplex e o espinafre são da mesma família (Chenopodiaceae). Em algumas regiões costeiras da Itália, como Marche e Sardenha, pescadores utilizam folhas da *A. portulacoides* na preparação de pratos com peixes e conservam seus botões florais em vinagres. Devido à elevada concentração de sais em suas folhas, os peixes que são envoltos por estas adquirem maior tempo de conservação (Zanella & Vianello, 2020).

3.1.2 Alimentação animal

As plantas tolerantes a sais são consideradas como fontes alternativas de alimento não apenas para dieta humana, mas também para a dieta animal. Existe uma elevada demanda na produção de carne e leite no mundo, porém a disponibilidade de forragem se encontra limitada, principalmente em regiões áridas e semiáridas, as quais sofrem constantemente com o avanço da degradação dos solos pelo acúmulo de sais e pelo déficit hídrico (Nikalje et al., 2018).

Neste contexto, um número significativo de plantas tolerantes e halófitas são utilizadas, como espécies das famílias: Fabaceae: acácia (*Acacia ampliceps* e *A. cyanophylla* Lindl., ou *A. saligna* Labill); sesbânia (*Sesbania sesban*) e guandu (*Cajanus cajan*); Poaceae (*Gramineae*): capim Buffel (*Cenchrus ciliaris*), capim Massai ou capim Colômbio (*Panicum maximum* Jacq), capim Guiné ou ‘Green Panic’ (*Panicum maximum* var. *trichoglume*), milheto (*Pennisetum americanum*), sorgo (*Sorghum bicolor*), e sorgo Sudão (*Sorghum sudanense*). Somando os países da Ásia, Golfo Pérsico e Oriente Médio, estima-se que são utilizadas cerca de mais de 450 gêneros de plantas tolerantes à salinidade na alimentação de bovinos, camelos, cabras e

ovelhas (Öztürk et al., 2019). As halófitas discutidas no tópico anterior também são utilizadas com este propósito, tais como a *Atriplex sp.*, a *Salicornia sp.* e o *Sesuvium portulacastrum* (beldroega).

Estas plantas contêm níveis de proteína bruta, sais minerais e fibras que satisfazem parte dos requerimentos da dieta animal. Para animais ruminantes, o fornecimento dessas plantas na dieta de forma integral ou complementar demonstra ser uma alternativa alimentar. Considerando que ruminantes adultos necessitam de 7 a 9% de proteína, enquanto ruminantes em crescimento ou produtores de leite necessitam de 14 a 18% (Hasnain et al., 2023). Uma alternativa de fonte proteica é a atriplex, pois sua biomassa apresenta de 8 a 20% de proteína bruta, o que vem favorecendo a alimentação de caprinos, ovinos e bovinos em regiões semiáridas. Após o período de um ano do plantio, que corresponde a um bom desenvolvimento da biomassa da atriplex (Figura 4), os animais podem pastar diretamente no campo, ou serem alimentados em confinamento com o feno de atriplex, isolado ou misturado com outras plantas. É importante salientar que o nível de proteína bruta de uma planta está diretamente relacionado à percentagem de N na parte aérea ($\%PB = N\% \times 6,25$) e que isso depende da nutrição nitrogenada fornecida pelo solo, independentemente de a planta ser ou não halófito. Portanto, o teor de proteína bruta e outros minerais essenciais à saúde animal podem ser aumentados nestas plantas.

No Semiárido do NE brasileiro, a *A. nummularia* é fornecida ao gado juntamente com a palma forrageira e a leucena (IPA, 2021). Ademais, estas plantas têm boa adaptabilidade às regiões que possuem baixa precipitação pluvial, como muitas localidades do semiárido (média 400 mm).

Figura 4. Plantio de *Atriplex nummularia* em Petrolina - PE. O primeiro corte é feito à altura de 1 metro do nível do solo, objetivando transformar a forragem em feno. Fonte: IPA (2000).



Em algumas localidades, a salinidade dos solos varia de níveis baixo a moderado, possibilitando o cultivo, também, de plantas glicófitas tolerantes, usadas na dieta de ruminantes. É o caso do sorgo Sudão (*Sorghum sudanense*) que, em países como o Egito, mesmo sob condições de salinidade moderada e elevada, acumula em média 13,2% de proteína bruta. Este sorgo é recomendado para a produção de feno, podendo ser utilizado também na produção de silagem, corte e fornecimento no cocho e pastejo direto. O sorgo Sudão apresenta grande potencial para alimentação animal devido ao seu rendimento e valor nutritivo, principalmente durante o verão e o outono, quando a escassez de ração é generalizada (El Shaer & Al Dakheel., 2016).

Apesar do potencial benefício para a alimentação animal, principalmente de ruminantes, o consumo de plantas tolerantes a sais deve ser monitorado, visando selecionar não apenas espécies de crescimento rápido e elevada produtividade como também que tenham boa palatabilidade, digestibilidade e baixo potencial de intoxicação. Além do conteúdo de nutrientes e valor nutricional, estas plantas produzem metabólitos secundários que devem ser levados em consideração. Algumas dessas plantas apresentam elevado teor de sais (Na e Cl) em sua biomassa, o que pode ser benéfico à nutrição de ruminantes e, até mesmo, compostos tóxicos, que podem reduzir a palatabilidade e/ou acarretar sérios problemas digestivos. Substâncias como alcaloides, saponinas, taninos, ácido oxálico e nitrato estão presentes em elevadas concentrações em algumas plantas halófitas e podem diminuir o consumo da planta pelo animal.

Mesmo sendo desejável em pequenas concentrações, como os taninos, essas substâncias podem diminuir a performance animal e gerar problemas gastrointestinais, como diarreia, tornando estas opções menos recomendadas ou de consumo reduzido. Por exemplo, um estudo forneceu a *Portulaca oleracea* a 80 g kg⁻¹ de peso vivo a animais de 19-30 kg (1,5 a 2,4 kg de portulaca por animal) em Patos, PB (Simões et al., 2018). Quatro horas após a ingestão, os animais mostravam sinais clínicos de intoxicação. Mesmo após tratamento com azul de metileno, dois dos sete ovinos morreram. Importante ressaltar que os casos de intoxicação com *P. oleracea* geralmente ocorrem durante uma seca prolongada onde a pastagem natural preferida por pequenos ruminantes é escassa e os animais tendem a consumir mais matéria seca da planta tóxica do que seria permitido numa dieta balanceada (Simões et al., 2018). Ovelhas consomem, em média, 2,7% do seu peso vivo em forragem ou pastagem. Para facilitar os cálculos, usamos 3% do peso vivo como consumo máximo de *P. oleracea*. Assim, as ovelhas de 19-30 kg deveriam ter consumido somente 0,6 a 0,9 kg de portulaca por dia em matéria seca. Se os pesos de 1,5 a 2,4 kg eram de matéria fresca, pode-se estimar que a matéria seca aproximada consumida variou de 0,5 a 0,8 kg de portulaca, portanto, atingindo o nível máximo que deveria ser consumido pelo animal e indicando a ausência de uma dieta balanceada. *P. oleracea* contém 0,6 a 0,8% de ácido oxálico na matéria seca (Uddin et al., 2014). Esta concentração pode aumentar de 3-6 vezes, dependendo da idade da planta. Isso pode explicar a intoxicação e morte de animais neste estudo. Em condições naturais de pastagem, cabras aprendem a associar o gosto azedo de plantas ricas em oxalato com seus efeitos fisiológicos e, assim, regulam o consumo dessas plantas (Frutos et al., 1998).

Embora em períodos de seca os animais tendam a se alimentar de plantas com compostos tóxicos, uma dieta balanceada com plantas sem componentes tóxicos e uma ração balanceada tende a evitar que ruminantes se intoxiquem por consumirem pastagens alternativas, como halófitas. Esta técnica é comumente usada para evitar intoxicação com plantas ricas em nitrato e ácido prússico, o qual pode ser letal em concentrações de 0,1% na matéria seca (Williamson, 2023).

Outro fato a ser considerado é que a sensibilidade observada em ovinos é diferente daquela expressa por caprinos, os quais evoluíram como “browsers” em ambientes inóspitos, consumindo folhas de árvores e arbustos, enquanto os ovinos evoluíram consumindo pastagens, como os bovinos. Caprinos, ao contrário de ovinos, se adaptam mais facilmente a ambientes áridos onde plantas forrageiras são de difícil cultivo. O sistema digestivo dos caprinos e seu metabolismo permitem que se alimentem de folhas de carvalho (*Quercus sp.*, Fagaceae) e outras plantas ricas em taninos condensados e hidrolisados como fontes não convencionais de proteína vegetal, além de sobreviver melhor ao estresse hídrico do que os ovinos (Silanikove, 2000). Caprinos em ambientes mediterrâneos consomem 60-80% de sua dieta de plantas alternativas e consomem mais plantas ricas em tanino do que ovinos, sob as mesmas condições (Silanikove et al., 1996).

Essas plantas produzem metabólitos secundários que podem ser aceitáveis, dependendo da idade do animal, quantidade da planta consumida, do estado nutricional e da espécie. Por exemplo, ovelhas são mais eficientes em converter nitrito para amônio e, portanto, menos suscetíveis ao envenenamento por nitrato/nitrito do que bovinos, o que pode justificar a mais baixa incidência de envenenamento por nitrito em ovinos (Simões et al., 2018). Compostos como nitrato e nitrito, mesmo quando não consumidos em doses letais, podem causar aborto em fêmeas parturientes (Radostits et al.; 2007, Simões et al., 2018).

Portanto, plantas halófitas devem ser mais estudadas como alternativas viáveis para os animais, principalmente animais ruminantes em regiões onde as demais plantas forrageiras são de difícil cultivo devido à escassez de água de boa qualidade ou à salinidade do solo. Em ambientes áridos e semiáridos, onde os recursos hídricos e os melhores solos devem ser usados para produzir alimentos para consumo humano, uma estratégia mais sustentável é o melhoramento da qualidade nutritiva de plantas halófitas como forrageiras alternativas na produção de carne e leite. Contudo, investigações ecofisiológicas dessas plantas devem ser realizadas visando identificar a produção de substâncias tóxicas em diferentes condições de salinidade (Hasnain et al., 2023). Plantas a serem usadas como forrageiras alternativas devem ser analisadas para compostos tóxicos e letais e quanto às doses toleradas por diferentes ruminantes (bovinos, caprinos e ovinos) em diferentes estádios de desenvolvimento e de nutrição.

3.1.3 Fontes de nutrientes e compostos medicinais

O uso de plantas tolerantes a sais para fins medicinais é possível devido à potencial importância dessas plantas na nutrição humana. Além de fontes de nutrientes, os compostos

antioxidantes produzidos para proteger as plantas dos efeitos dos sais são considerados importantes também para a saúde humana (Nikalje et al., 2018).

Na Tabela 1 está apresentada uma comparação entre teores de sais (Na e Cl), macronutrientes de plantas halófitas e o espinafre irrigados com água de condutividade elétrica de 17 dS m⁻¹. Em comparação, as cultivares de espinafre acumulam tanto ou mais Na e Cl nas folhas que as halófitas analisadas, mantendo também concentrações semelhantes de macronutrientes, levando em conta que as halófitas foram cultivadas em solos do Vietnã que não receberam adubação química, somente água residuária salina usada no cultivo de camarões.

Tabela 1. Concentrações (g kg⁻¹) de sais (Na e Cl) e de macronutrientes em espinafre (*Spinacia oleracea*) das cultivares Raccoon e Gazelle e das halófitas *Chenopodium album* e *Salicornia perennis* cultivados com água salina de 17 dS m⁻¹*. Fonte: Dados fornecidos pelo U.S. Salinity Laboratory, Riverside, CA (jorge.ferreira@usda.gov). *Espinafre cultivado com solução nutritiva balanceada em casa de vegetação; halófitas cultivadas em campo com água residuária de carcinicultura, sem adubação mineral suplementar, Vietnã.

Espécie*	Na	Cl	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g kg ⁻¹ -----							
<i>S. Oleracea cv Raccoon</i>	50,0	75,0	47,0	5,2	45,0	7,0	7,5	3,2
<i>S. Oleracea cv Gazelle</i>	56,0	80,0	40,0	5,1	50,0	5,0	6,9	3,1
<i>Chenopodium album</i>	19,0	46,3	42,0	2,1	59,6	7,4	14,1	3,0
<i>Salicornia perennis</i>	71,2	72,8	12,0	1,5	13,5	12,2	12,8	6,6

As principais substâncias presentes nestas plantas responsáveis pelos efeitos medicinais são alcaloides, fenólicos, cumarinas, terpenóides, óleos essenciais, saponinas, taninos e flavonoides. Juntas, estas substâncias podem apresentar propriedades analgésicas, antimicrobianas e anticoagulantes, podendo atuar em tratamentos de doenças como diabetes, câncer, inflamação e problemas gastrointestinais (Buhmann & Papenbrock, 2013; Panta et al., 2014). Contudo, estas informações não provêm de estudos clínicos rigorosos e não devem ser interpretadas como alternativas às recomendações de médicos especializados.

Alguns estudos revelaram que as propriedades medicinais de espécies de *Salicornia* foram atribuídas à presença dos ácidos tungtungmádico e ferúlico, ambos antioxidantes com potencial uso como antihiperlipidêmicos, anti-inflamatórios e antioxidantes (Buhmann & Papenbrock, 2013). Em estudo desenvolvido por Sung et al. (2009), a *Salicornia* atuou, também, na proteção de células fibroblásticas da pele humana contra oxidação, combatendo a produção de tirosinase e a produção de células tumorais responsáveis pelo câncer de pele (melanoma).

Há muito tempo, algumas gramíneas vêm sendo utilizadas no tratamento de infecções causadas por bactérias, fungos e vírus. Extratos produzidos a partir da biomassa de capim Buffel (*Cenchrus ciliaries*) demonstraram efeitos significantes *in vitro* contra bactérias, dentre elas: *Proteus merabilis*, *Klebsiella pneumoniae* e *Agrobacterium tumefaciens*. Estas bactérias, exceto a *A. tumefaciens*, são responsáveis por mais de 90% de todas as infecções em humanos.

A atuação efetiva no combate destes microrganismos é possível devido à presença de substâncias como esteroides (ex: cholest-22-ene-21-ol), flavonoides (ex: kaempferol) e ácidos (ex: ácido p-cumárico e ácido ferúlico) (Faustino et al., 2019).

O uso dessas plantas com propriedades medicinais contribui, também, no combate a doenças consideradas epidêmicas, como é o caso da diabetes tipo 2. Extratos alcoólicos obtidos a partir da biomassa do capim mão de sapo (*Dactyloctenium aegyptium*) foram relatados como eficientes na redução da hiperglicemia e melhoria do estresse oxidativo, contribuindo nas atividades antidiabéticas. Nestes estudos, os pesquisadores destacaram que alguns compostos e mecanismos ainda não foram possíveis de serem identificados, reforçando a necessidade de maiores investigações acerca da atuação bioquímica dos extratos obtidos a partir dessas plantas (Faustino et al., 2019).

Resultados de estudos clínicos com plantas halófitas em seres humanos ou *in vivo* com animais como ratos, camundongos e macacos não foram encontrados. Isso não significa que alguns países não usem estas plantas como tratamento de certas doenças tóxicas (de pele) ou até de uso interno, mesmo sem fundamento em dados clínicos. Contudo, estas plantas servem como reservas de sais e minerais que são reconhecidos como essenciais à nutrição humana e animal e produzem compostos secundários (ex., flavonoides e taninos) que podem exercer funções medicinais contra certas doenças como artrite (capsaicina extraído de pimentas) ou malária (derivados de artemisinina) e com potencial de uso coadjuvante no tratamento de certos tipos de câncer (Ferreira et al., 2010), mas que precisam ser testados rigorosamente em sistemas animais, antes que seus fins medicinais sejam adotados pela população. Afinal, muitos destes compostos podem reagir com compostos farmacêuticos e intensificar ou alterar seus efeitos clínicos de maneira prejudicial ao paciente (Lippert & Renner, 2022).

O Brasil deveria seguir o exemplo da Alemanha, que tem controles (Comissão E) mais rigorosos antes de aprovar uma planta ou extrato vegetal como suplemento fitoterápico, produto medicinal, ou cosmético. O sistema europeu foi recentemente avaliado numa revisão envolvendo a erva de São João, a erva Valeriana, o Ginseng e o Chá Verde (Bilia & Costa, 2021). Os Estados Unidos, apesar de considerarem a maconha ilegal sob as leis federais, já têm mais de 20 dos seus estados (como a Califórnia e o Colorado) que estão adotando a maconha para uso medicinal, além de recreativo (USNEWS, 2023).

3.1.4 Produção de biocombustível

Os solos afetados por sais podem também ser utilizados para o cultivo de plantas tolerantes a sais consideradas bioenergéticas. Os biocombustíveis podem ser produzidos a partir dos grãos, caule e folhas destas plantas. A partir do óleo extraído dos grãos e os materiais gerados no processo de fermentação e pirólise de biomassa vegetal é possível produzir etanol, biodiesel, biojet, biobutanol, gasogênio, biochar e bio-óleo (Figura 5) (Behera & Ramachandran, 2021). Considerando a situação atual no mundo, onde em torno de 1,3 bilhões de pessoas não têm acesso à eletricidade e outras 2,6 bilhões carecem de estruturas

básicas para o cozimento de alimentos, o uso destas plantas com este propósito se caracteriza como uma alternativa altamente viável (Panta et al., 2014).

Figura 5. Ilustração da produção de biocombustível a partir de plantas halófitas. Foto: arquivo pessoal dos autores.



Plantas do gênero *Crithmum*, *Haloxyton*, *Salicornia*, *Suaeda* e *Ricinus* são exemplos de plantas com este potencial. Elas apresentam sementes ricas em lipídeos e ácidos graxos, considerados ideais na produção de combustíveis líquidos. As sementes de *Salicornia* e *Suaeda* podem apresentar mais de 20% de óleo, enquanto sementes de mamona podem conter até 40% (Nikalje et al., 2018; Joshi et al., 2021). Este óleo passa pelos processos de extração e, em seguida, esterificação, sendo por fim transformado em biodiesel. Em Abu Dhabi, as empresas aéreas Boeing e Etihad Airways lideraram testes com este biodiesel, denominado pelo setor aéreo de biojet, o qual foi produzido a partir das sementes de *S. bigelovii*. Os primeiros resultados apontaram que durante os voos houve uma redução de 38–68% nas emissões de gases do efeito estufa (GEE) quando comparado ao combustível fóssil tradicional (MacMohan, 2019).

Na produção de etanol, o uso destas plantas torna-se cada vez mais importante, tendo em vista que a demanda por este combustível cresceu consideravelmente nas últimas décadas. Além disso, as principais culturas usadas para a produção de etanol como cana-de-açúcar e milho são mais exigentes quanto à qualidade do solo, fertilizantes e a água usada na irrigação, além de dificilmente serem cultivadas em solos de áreas afetadas por sais. A produção de bioetanol é possível devido ao elevado teor de celulose, hemicelulose e lignina na biomassa dessas plantas. Um número de espécies halófitas que incluem: *Tamarix chinensis*, *Phragmites australis*, *Miscanthus spp.*, *Spartina alterniflora*, *Halopyrum mucronatum*, *Desmostachya bipinnata*, *Phragmites karka*, *Typha domingensis* e *P. turgidum* demonstraram potencial na produção de álcool em países da Ásia, como a China e Paquistão (Panta et al., 2014). O *Panicum virgatum*, um capim originário da América do Norte, tem ido além, alcançando produtividades semelhantes ao milho na produção de álcool e vêm sendo cultivado de forma semelhante a essas culturas tradicionais (Liu et al., 2012).

Estas plantas também são consideradas matéria prima na produção de biobutanol, e bio-óleo para biodiesel. O biobutanol é um álcool produzido a partir da fermentação de açúcares e pode ser usado como combustível em motores com combustão interna ou como complemento nas misturas de etanol e gasolina. O biobutanol apresenta menor efeito corrosivo, menor predisposição para a contaminação da água e emite menos CO₂ após sua combustão. De acordo com Zhao et al. (2011), a alga halófito *Suaeda salsa* apresenta características bioquímicas ideais para a produção deste combustível. Já o bio-óleo é um componente que pode ser adicionado ao diesel em qualquer proporção, com o objetivo de gerar combustíveis mais sustentáveis. No México, sementes de *Salicornia* vêm sendo utilizadas para a produção de biodiesel, alcançando produtividades significativas, onde em 1 ha de área cultivada com a espécie *S. bigelovii* foi possível produzir 850 a 950 litros de bio-óleo (Christiansen, 2008).

No processo de conversão energética da biomassa através da pirólise, queima da biomassa na ausência de O₂, as plantas que foram usadas na fitoextração dos sais são transformadas em três produtos: biochar, bio-óleo e gasogênio. Esta tem sido considerada uma alternativa sustentável, pois 100% da biomassa pode ser aproveitada ao final do processo.

O biochar, produto sólido da pirólise da biomassa, é um material rico em carbono considerado um condicionante para os solos. Nos últimos anos, o uso do biochar tem se tornado cada vez mais frequente devido aos efeitos na melhoria das propriedades do solo, principalmente na retenção de água, sequestro de carbono e disponibilidade de nutrientes (Novotny et al., 2015). O biochar derivado de plantas halófitas e tolerantes apresenta pH alcalino e elevado teor de sais nas cinzas que pode atuar na correção da acidez dos solos e fornecer nutrientes como potássio, cálcio, magnésio e cloro para as plantas (Behera & Ramachandran, 2021).

O bio-óleo, fase líquida da pirólise da biomassa, corresponde a um tipo de óleo diferente do óleo extraído dos grãos discutido anteriormente, sendo este último mais comum na produção de biodiesel. O biodiesel gerado com o óleo extraído das sementes passa pelo processo químico de esterificação (Joshi et al., 2021). Já o bio-óleo resultante da pirólise é separado das demais frações (biochar e gasogênio) após a combustão. Entretanto, assim como o óleo esterificado, o bio-óleo da pirólise também pode ser considerado matéria prima para a produção de biodiesel, necessitando apenas passar pelos tratamentos hídrico e refinamento. Isto aumenta ainda mais as possibilidades de uso da biomassa dessas plantas tolerantes a sais para estas regiões.

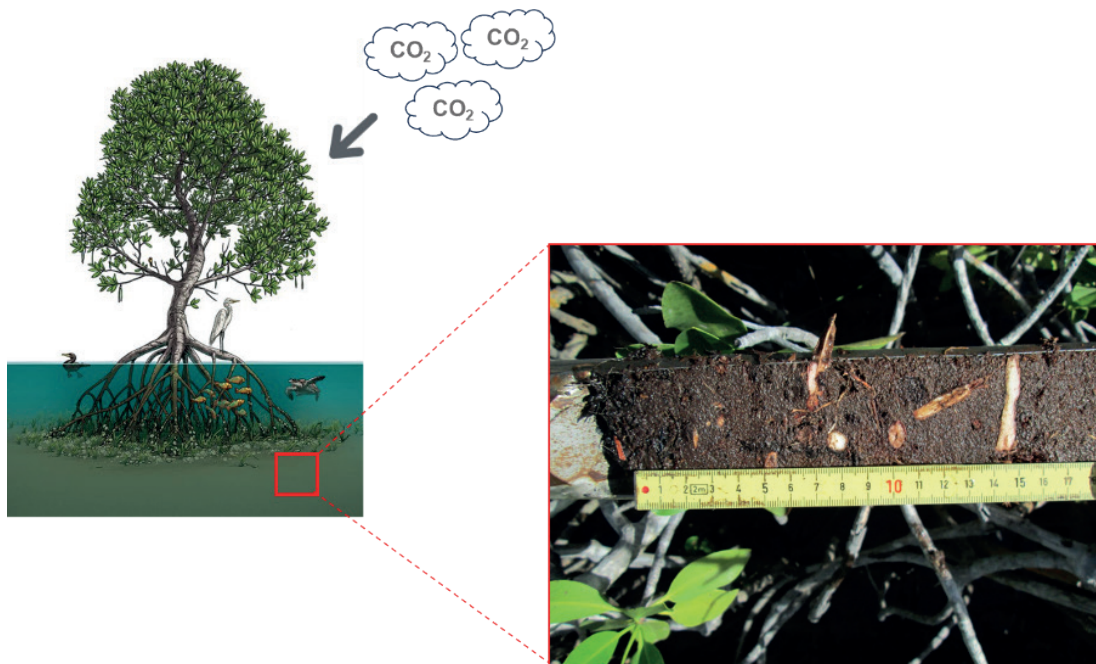
O gás resultante da pirólise da biomassa, gasogênio, surge após a degradação dos componentes de lignina (150 – 555 °C). Este biogás é composto por uma mistura de CO, H₂, CO₂, e CH₄, atuando como combustível na produção de energia elétrica e/ou na produção de calor. Neste sentido, a produção de gasogênio se caracteriza como mais uma opção para as plantas halófitas. Alguns estudos revelam o potencial destas plantas, as quais têm demonstrado satisfatória recuperação deste gás no processo de pirólise. Planta como a halófito *Achnatherum splendens*, um capim nativo da Ásia, conseguiu produzir até 54% de gasogênio após o processo de pirólise da sua biomassa (Irfan et al., 2016).

3.1.5 Sequestro de carbono

Diante do que vêm sendo discutido nos últimos tópicos, fica claro que as plantas tolerantes a sais apresentam uma gama de usos após a remediação dos solos e sua colheita. Estas plantas também desempenham um importante papel durante seu ciclo de vida, além da fitorremediação destes solos. A partir do processo fotossintético, as halófitas podem também atuar no sequestro de carbono (C), contribuindo assim, com a manutenção de C nos solos e na redução de emissões de formas agressivas deste elemento, como o CO_2 na atmosfera.

Os estudos voltados ao sequestro de carbono promovido por plantas halófitas se concentram, principalmente, em ecossistemas costeiros. Manguezais, lagunas, restingas e pântanos salgados são áreas úmidas distribuídas ao longo da costa de países com clima tropical e subtropical. Devido ao contato direto com a água salgada do mar e/ou doce dos rios, estas áreas são consideradas “pools” de carbono, pois a decomposição da matéria orgânica na ausência de oxigênio é significativamente menor (Figura 6). Logo, as halófitas que se desenvolvem nestes locais absorvem CO_2 durante o processo fotossintético, e o C presente em sua biomassa permanecerá, por longos períodos, preservado nestes solos (Kristensen et al., 2008).

Figura 6. Sequestro de carbono promovido por plantas halófitas em ambientes costeiros. Através da fotossíntese, plantas marinhas capturam o carbono da atmosfera e o armazenam nos seus galhos e raízes, bem como nos sedimentos. Fonte: Adaptado de Water and World Wildlife Fund (WWF, 2016); Phys.org (2018).



As florestas de manguezais lideram o sequestro de C e são consideradas como um dos principais agentes na mitigação dos gases do efeito estufa. Apesar de cobrir em torno de 0,1% da superfície terrestre, as florestas de manguezais são consideradas como as maiores acumuladoras de C por área do planeta (Atwood et al., 2017). Estima-se que este ecossistema

é capaz de acumular em torno de $10,7 \pm 9,4 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de C por meio da produção primária, o que é considerado de três a cinco vezes superior a outras florestas úmidas. Para se ter uma ideia, no Brasil, depois da Floresta Amazônica, os manguezais são as maiores florestas capazes de armazenar C no solo, armazenando de 2,7 a 4,7 vezes mais C do que qualquer outro ecossistema e bioma.

Recentemente, devido à importante atuação dos manguezais no sequestro de C, e por estarem localizados na interface continental e marinha, a comunidade científica passou a denominar o C armazenado nestes solos de “carbono azul”. As halófitas responsáveis por esta contribuição de C são, em sua maioria, espécies arbustivas e pertencem aos gêneros *Rhizophora*, *Laguncularia* e *Avicennia* (Vidal-Torrado et al., 2005). No entanto, são necessários estudos mais específicos direcionados ao balanço deste C sequestrado e armazenado nos ambientes de estuários por plantas de manguezais, bem como o estímulo à preservação da cobertura vegetal ou sua recuperação, quando degradadas.

3.1.6 Uso na ornamentação

A busca por plantas que se adaptam às condições extremas tem se estendido à vegetação de áreas para fins paisagísticos e ornamentais. Além de atuarem na recuperação da fertilidade dos solos, extraíndo o excesso de sais, as plantas tolerantes a sais produzem folhas e flores atrativas, e podem ser usadas com o objetivo de melhorar a estética de diferentes ambientes como: praças, parques e áreas recreativas, comerciais e internas (Figura 7). O uso destas plantas com tal propósito em áreas costeiras e regiões semiáridas é consideravelmente rentável, devido à menor exigência no fornecimento de água, bem como menores custos com a manutenção (Cassaniti & Romano, 2011).

Investigando o potencial de halófitas nativas da região do mediterrâneo, Cassaniti & Romano (2011) identificaram em torno de 13 famílias de plantas, em torno de 42 espécies, com potencial de uso ornamental. Dentre elas, destacam-se as famílias Chenopodiaceae, Plumbaginaceae, Cyperaceae, Aizoaceae e Poaceae (Gramínea) com maior número de espécies.

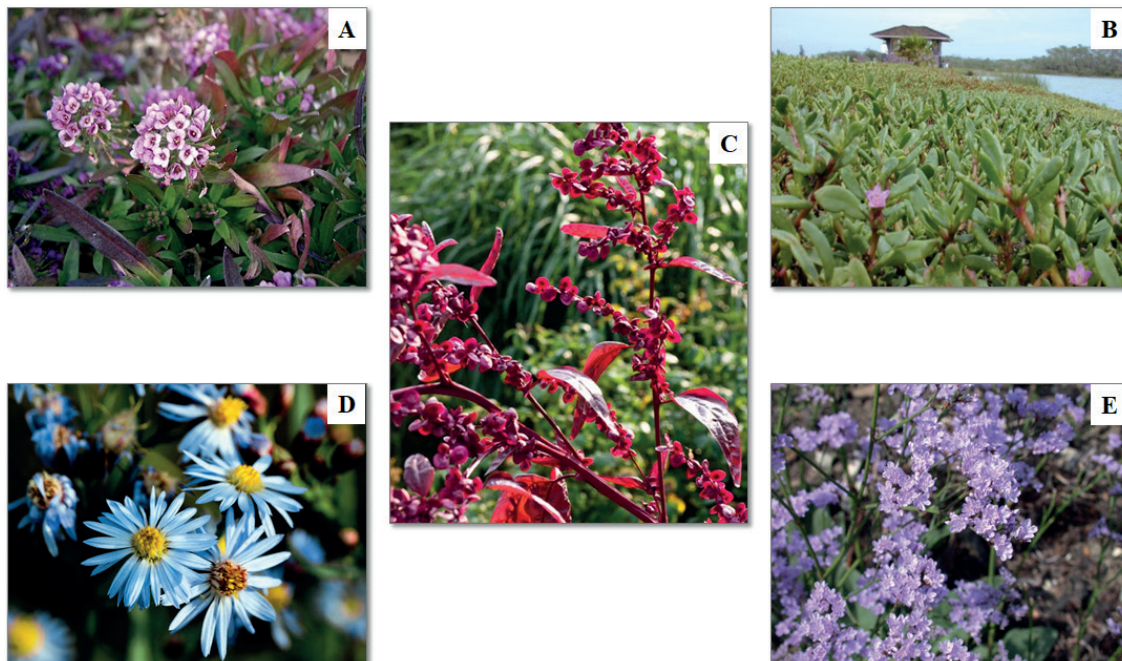
Um exemplo de uma planta utilizada com este propósito é *Lobularia maritima* L., comumente chamada de Alisso Doce (Figura 7A). Distribuída nas bacias dos países mediterrâneos, esta planta apresenta características atrativas sob o ponto de vista ornamental. Ela tem ciclo perene, com vida útil de, aproximadamente, três anos, mas com um longo período de floração, pois seus indivíduos produzem hastes com flores basicamente durante toda a primavera (Zammali et al., 2022).

Essas plantas toleram diferentes níveis de salinidade, que variam desde 2 a 50 dS m^{-1} , algumas podendo sobreviver em solos com salinidade considerada extrema, com CEes de $92,5 \text{ dS m}^{-1}$, como é o caso da norte americana *Borrchia frutescens* (Carver et al., 2014). Isto favorece o cultivo em regiões costeiras e semiáridas, as quais apresentam disponibilidade de água salina para a irrigação.

O uso paisagístico e ornamental favorece não apenas a estética local, mas algumas destas espécies são cultivadas em áreas comerciais visando a comercialização. Um bom

exemplo é a espécie *Maireana sedifolia*, conhecida como arbusto azul. Esta planta é cultivada na Austrália e exportada para países da Europa, onde seus galhos são cortados e utilizados em ornamentações (Cassaniti et al., 2013).

Figura 7. Plantas halófitas usadas em paisagismo e ornamentação. A – *Lobularia maritima* L.; B – *Sesuvium portulacastrum* L.; C – *Atriplex hortensis* D – *Aster tripolium*; E – *Limonium humile*. Fonte: Jardimcor (2023); Forest Starr & Kim Starr (2001); gardênia.net (2023); stock.adobe (2023); Keith Edkins (2007), respectivamente para fotos A, B, C, D e E.



3.2 Halófitas e biotecnologia: Identificação de genes responsáveis por tolerância à salinidade

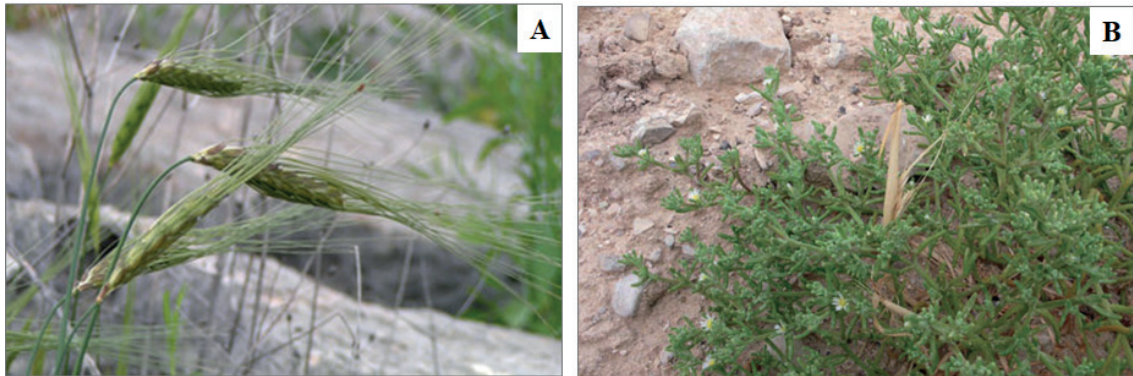
O avanço das condições edafoclimáticas extremas vêm limitando o cultivo das plantas nas diferentes regiões do planeta. A degradação dos solos representada pela desertificação, seca e acúmulo de sais tem afetado em torno de 30% de toda superfície terrestre. Com o aumento da temperatura gerado pelas mudanças climáticas, a produção de alimentos será cada vez mais afetada (Hassani et al., 2021).

A partir desta problemática, com o objetivo de se adaptar às novas condições ambientais, a biotecnologia terá papel cada vez mais essencial, gerando reprogramações fisiológicas e moleculares nas espécies de plantas tradicionalmente cultivadas (Rigó et al., 2016). Boa parte das halófitas são consideradas plantas extremófilas, ou seja, conseguem se desenvolver sob constantes condições de estresse como altas temperaturas, déficit hídrico e, principalmente, em solos salinos, salino-sódicos e sódicos. Consequentemente, nos últimos anos, estas plantas têm chamado atenção de geneticistas como fonte de genes passíveis de serem

transferidos para outras plantas, com o objetivo de induzir ou aprimorar tais características de tolerância (Nevo & Chen, 2010).

Investigações foram realizadas por Nevo & Chen (2010), avaliando as espécies *Triticum dicoccoides* e *Hordeum spontaneum*, ambas plantas selvagens e progenitoras do trigo (*Triticum aestivum* L.) e cevada (*Hordeum vulgare*), respectivamente (Figura 8). Originárias do Oriente Médio, estas plantas demonstraram serem fontes ricas em alelos necessários para o melhoramento do trigo e cevada em características agronomicamente importantes, como tolerância à seca e à salinidade. O melhoramento genético consegue ir além, realizando também a biofortificação destes cereais, aumentando o teor de proteína e concentração de minerais nos grãos.

Figura 8. A – Trigo selvagem (*T. dicoccoides*); B - Cevada selvagem (*H. spontaneum*) se desenvolvendo em regiões áridas da costa do Mar Morto. Fonte: (Nevo & Chen, 2010; Volis et al., 2015).



A cevada selvagem (*H. spontaneum*) consegue se desenvolver em regiões extremamente áridas onde a precipitação anual não supera 50 mm. A cevada domesticada contém em torno de 40% dos alelos desta planta. O trigo selvagem (*T. dicoccoides*) também apresenta certa tolerância ao déficit hídrico. Em experimento comparando a produção de biomassa de linhagens domésticas e selvagens de trigo sob dois regimes de irrigação, 80% das linhagens selvagens produziram mais matéria seca total do que as linhagens domesticadas com limitação de água (Nevo & Chen, 2010). Quanto à tolerância à salinidade, foi observada a taxa de absorção de Na^+ entre as plantas e, como resultado, algumas linhagens do trigo selvagem alcançaram a fase de maturidade dos grãos mesmo irrigadas com solução 250 mmol L^{-1} de NaCl (cerca de 25 dS m^{-1} ou 40% da água do mar), graças à efetiva extrusão de Na^+ . Quanto à cevada selvagem, as plantas obtiveram tolerância superior, obtendo amadurecimento dos grãos sob 350 mmol L^{-1} de NaCl (cerca de 35 dS m^{-1} ou 60% de água do mar).

Os autores concluíram que os genótipos selvagens conseguem manter níveis mais baixos de Na na parte aérea, quando comparados aos genótipos domesticados. Com isso, os genótipos selvagens provaram ser potenciais doadores de genes tolerantes ao excesso de sais e seca, que podem ser transferidos para suas respectivas cultivares domésticas por técnicas clássicas e modernas de biotecnologia molecular (Nevo & Chen, 2010).

As técnicas moleculares usadas na identificação dos genes tolerantes foram a *seleção assistida por marcadores* e o uso de *fatores de transcrição*. Os marcadores moleculares são variantes na estrutura do DNA, em uma determinada região do genoma, que podem ser usados como um marcador para alelos de genes que apresentam características de interesse. Os fatores de transcrição (TFs) são proteínas que se ligam ao DNA e controlam a expressão gênica diante de estresses aplicados, neste caso seca e salinidade (Nevo & Chen, 2010). Em testes de plantas com resistência ao estresse salino feitos pelo U.S. Salinity Laboratory, foram estabelecidos que a tolerância à salinidade e a expressão de genes relacionados a esta tolerância, seja pela exclusão de Na⁺ ou Cl⁻ da parte aérea. O armazenamento destes sais em vacúolos, ou exclusão dos sais pelo sistema radicular, é complexa. Embora alguns genes por si só explicam parte da tolerância aos sais (Kaundal et al., 2022), a interação genética é mais complexa do que se imaginava e nem sempre a tolerância à salinidade, expressa por diferentes cultivares da mesma espécie, pode ser explicada pela expressão genética de alguns genes estudados (Sandhu et al., 2023). Os estudos do U.S. Salinity Laboratory também estabeleceram, recentemente, que a homeostase de K, N e P em espinafre é tão importante como a exclusão de Na e Cl (Ferreira et al., 2020; Uçgun et al., 2020).

4 BIOSALINIDADE NO BRASIL: PERSPECTIVAS DE USO DE HALÓFITAS APÓS A REMEDIAÇÃO DE SOLOS AFETADOS POR SAIS NO NORDESTE BRASILEIRO

4.1 Quais plantas tolerantes a sais e halófitas são cultivadas nestas áreas?

Conforme discutido anteriormente, o Brasil mantém vastas áreas degradadas pelos processos de salinização e sodificação, sendo um dos países com uma das maiores áreas afetadas pelo acúmulo de sais. Em torno de 70% destes solos estão localizados no Nordeste do país. As previsões para estas áreas não são consideradas positivas levando em consideração os efeitos das mudanças climáticas, aumento do uso de águas de baixa qualidade e, conseqüentemente, o abandono contínuo das terras. Além disso, as medidas de recuperação desses solos são pouco adotadas pelos agricultores, devido aos altos custos ligados a esse processo, principalmente quando é necessário instalar um sistema de drenagem subterrânea, tornando-se inacessível financeiramente aos pequenos agricultores (Gheyi et al., 2022). Nesse contexto, até mesmo o uso de plantas tolerantes a sais é pouco adotado pelos agricultores, o que representa não só um obstáculo na recuperação desses solos, mas também a perda de oportunidades na busca da melhoria da situação socioeconômica regional.

Alguns estudos vêm sendo conduzidos em regiões do Nordeste brasileiro com solos salinos e/ou sódicos. Plantas glicófitas com diferentes níveis de tolerância à salinidade têm gerado resultados importantes para a região, tais como: coco, algodão, sorgo, melão, maracujá, feijão-caupi, girassol, acerola e plantas forrageiras, tendo potencial agrícola principalmente para as localidades próximas aos perímetros irrigados (Dantas et al., 2002; Ferreira Neto

et al., 2002; Terceiro Neto et al., 2013; Sousa et al., 2014; Feitosa et al., 2016; Sá et al., 2019; Lira et al., 2020). As plantas halófitas, com destaque para a *Atriplex*, também representam importante parcela nestes estudos, pois parte das áreas degradadas se encontram em níveis muito elevados de salinidade e sodicidade, onde apenas halófitas como a espécie *Atriplex nummularia* conseguem se desenvolver (Souza et al., 2012).

Entretanto, na prática, as áreas afetadas por sais ainda agricultáveis do NE Brasileiro são cultivadas exclusivamente por estas glicófitas devido ao valor econômico atribuído e o conhecimento já estabelecido entre os agricultores acerca das técnicas de cultivo. Já as halófitas, como as espécies dos gêneros *Atriplex*, *Salicornia*, *Suaeda*, *Distichlis*, *Cressa*, *Batis* e *Chenopodium*, que já vêm sendo bastante estudadas devido a suas tolerâncias à ambientes salinos e/ou secos extremos, e que apresentaram bons rendimentos, ficam limitadas apenas aos cultivos experimentais (Figura 4 e 7).

Este panorama gera certa preocupação para a população, pois parte das áreas degradadas pela salinização no semiárido brasileiro apresenta níveis muito elevados de sais no solo, próximos ou superiores ao da água do mar. Com isso, a introdução dessas plantas resistentes às condições extremas vem se tornando cada dia mais fundamental, principalmente em regiões em processo de desertificação. É preciso que haja um programa de divulgação das tecnologias já desenvolvidas e o estímulo ao seu uso, especialmente onde os solos estão abandonados pela impossibilidade de cultivo com plantas de interesse econômico.

4.2 Beneficiamento de plantas halófitas e impactos econômicos para a região

Além das áreas onde é possível cultivar plantas glicófitas tolerantes, como as citadas no tópico anterior, também deve ser considerada a realização de cultivos agrícolas em áreas mais salinizadas. Como a salinidade pode atingir níveis muito altos, a produção para fins de subsistência alimentar, bem como a comercialização destas plantas glicófitas, se tornam inviáveis (Panta et al., 2014). No semiárido do Nordeste, plantas halófitas, como as espécies *Atriplex nummularia*, *Salicornia ramosissima* e *Chenopodium quinoa* Willd. podem obter protagonismo no combate à pobreza local, fornecendo biomassa para todos os potenciais usos aqui discutidos, mas, principalmente, para fins de alimentação humana e animal, medicinal e produção de biocombustíveis (Souza et al., 2012; Nikalje et al., 2018; Pessoa et al., 2022b).

A vulnerabilidade alimentar atual na região do semiárido NE atingiu um patamar muito preocupante, onde cerca de 47% da população se encontra em algum nível de insegurança (ASSUFBA, 2021). Levando em consideração o potencial agrícola e nutricional que estas plantas halófitas apresentam para estas localidades, fica cada vez mais evidente a necessidade do seu cultivo intensivo. Apesar desta necessidade iminente de cultivo de plantas mais resistentes, a maior parte do cultivo destas plantas halófitas se encontra limitado a unidades experimentais, como é o caso da quinoa (Figura 9).

Alguns experimentos têm sido realizados com esta planta sob condições controladas e em campo em diferentes locais de Pernambuco (dados ainda não publicados). Os primeiros resultados experimentais são considerados promissores e, considerando que a quinoa é

uma fonte de aminoácidos e proteínas, tolerante a altos níveis de salinidade a depender da cultivar, podendo fazer parte da dieta da população do semiárido. Além disso, conforme discutido anteriormente, por ser considerada uma das poucas fontes proteicas sem glúten, a quinoa passou a ser matéria prima de diversos alimentos e cosméticos, obtendo assim, nos últimos anos uma valorização comercial que superou até mesmo alguns cereais, como arroz e o milho (Figura 10).

Figura 9. A – Planta de quinoa (*Chenopodium quinoa*) em fase de produção; B – Detalhe da inflorescência da planta de quinoa. Fonte: Arquivo pessoal dos autores.



O preço das sementes de quinoa triplicou de 2006 a 2013, quando a cultura foi rotulada de “super crop” na Europa e Estados Unidos, passando de desconhecida para ingrediente em saladas de pessoas mais abastadas no Peru. A maior geração de recursos do comércio internacional da quinoa ajudou a aumentar os recursos dos produtores no Peru sem afetar significativamente o poder de consumo local do cereal (Bellemare et al., 2018). Contudo, a superprodução de quinoa se concentra em variedades favorecidas pelo comércio internacional e levou os produtores peruanos a abandonarem outras variedades que contêm genes necessários para que a cultura sobreviva às mudanças climáticas presentes e futuras.

Seguindo neste contexto, também é importante destacar que as áreas afetadas por sais do Nordeste brasileiro ficam inseridas em regiões produtoras de pequenos ruminantes, como ovinos e caprinos. Nestas regiões, a situação climática e agrícola tem limitado a disponibilidade de forragem para os animais, o que preocupa cada vez mais os produtores. Sendo assim, plantas como *A. nummularia* podem ser cultivadas em áreas próximas às instalações de criação, onde os animais podem pastar diretamente no campo ou serem consumidas na forma de feno, ou ainda em consórcio com outras plantas. Para esta região, o cultivo, bem como o fornecimento de atriplex associado com a palma e leucena, já são consideradas alternativas recém-adotadas por alguns produtores (IPA, 2021). No entanto, mais uma vez,

o cultivo de *atriplex* tem sido negligenciado pelos criadores, apesar de já existirem resultados interessantes de extração de sais por esta planta e sua capacidade de vegetar em solos salinos, produzindo biomassa mesmo em épocas de estiagem (Figura 11).

Figura 10. Comparação do preço da tonelada de grãos de quinoa em relação a outros grãos e cereais comercializados no Peru. Fonte: Stevens (2017).

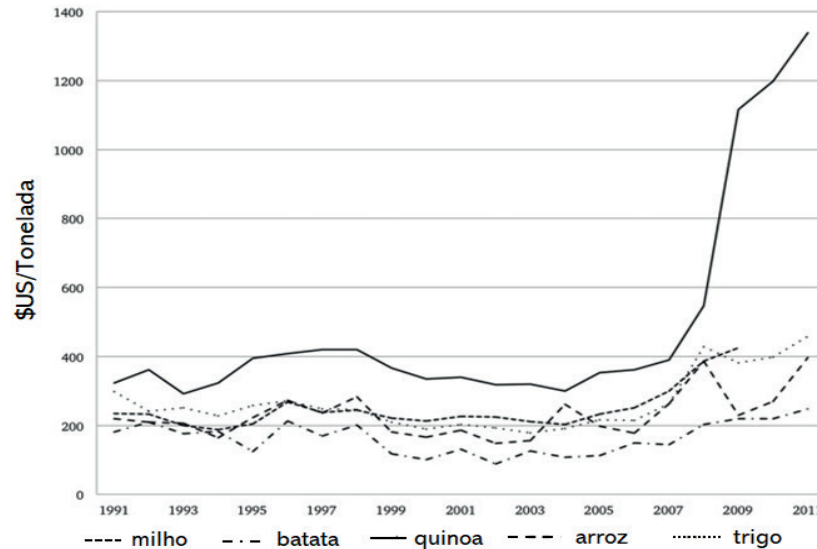


Figura 11. Cultivo de *Atriplex nummularia* em campo, sem irrigação, em área experimental no Perímetro Irrigado Cachoeira II (Serra Talhada, PE): A – Aspecto da planta de *atriplex* no período seco, aos 24 meses do transplântio; B – Aspecto da planta de *atriplex* no período chuvoso, aos 30 meses do transplântio. Fonte: Arquivo pessoal dos autores.



A produção de biodiesel a partir da biomassa de plantas halófitas também pode estimular mudanças econômicas na região. Apesar do potencial energético que o semiárido do Nordeste do Brasil apresenta, das 69 usinas de produção de biodiesel em funcionamento no Brasil, apenas 3 delas estão localizadas em municípios do semiárido: Floriano (PI), Jaguaruana (CE) e Iraquara (BA) (BIODIESELBR, 2023).

Considerando, ainda, a qualidade energética de plantas halófitas, como a salicórnia, e de glicófitas tolerantes, como o sorgo Sudão e a mamona, os solos afetados pelo acúmulo de sais no semiárido podem ser utilizados como fonte de renda e produção de alimentos, estimulando o plantio dessas plantas em áreas consideradas “não produtiva” pelos agricultores locais para a produção de biomassa lignificada e grãos, necessários à produção de etanol e biodiesel, bem como de biojet, biobutanol, gasogênio, biochar e bio-óleo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O avanço da salinidade e sodicidade em solos agricultáveis no mundo é uma realidade que afeta diversos países. Apesar desta problemática, algumas medidas podem ser adotadas para minimizar os impactos da salinização com alternativas e usos sustentáveis como discutido neste capítulo.

Desde a antiguidade, a salinização dos solos sempre foi um fator limitante para a humanidade, onde milhares de hectares foram abandonados ao longo dos milênios e diversas civilizações foram extintas. Atualmente, as perspectivas para o cultivo agrícola nestes solos, apesar de desafiadoras, são cada dia mais concretas. Novas técnicas e utilizações agrícolas para espécies tolerantes a sais e seca atuam como um novo nicho de mercado para comunidades que enfrentam diariamente a degradação de suas terras.

Como mencionado nos tópicos anteriores, as plantas tolerantes ao estresse salino podem ser utilizadas como fonte de alimento humano e animal, nas indústrias farmacológica e de produção de biocombustíveis, em projetos paisagísticos e ornamentais, em crédito de carbono e produção de materiais biotecnológicos, tornando-se alternativas viáveis de fonte de renda e desenvolvimento econômico e social em zonas degradadas ou em risco de degradação pelo acúmulo de sais e sódio.

O melhoramento genético de plantas, aliado a técnicas de remediação de solos afetados por sais, renova a esperança permitindo que espécies antes pouco tolerantes a estresses abióticos consigam se desenvolver em ambientes inóspitos, favorecendo a manutenção do homem no campo e a recuperação de solos degradados. As pesquisas e esforços nas áreas de proteção e recuperação destes ambientes e utilização comercial de espécies halófitas, ou glicófitas tolerantes a sais, devem continuar para mitigar a insegurança alimentar e econômica que afeta milhares de famílias que vivem em ambientes áridos e semiáridos propensos a salinização e sodificação dos solos.

LITERATURA CITADA

Adolf, V. I.; Jacobsen, S. E.; Shabala, S. Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental and Experimental Botany*, v.92, p.43–54, 2013.

- Alandia G.; Blajos J.; Rojas W. Economic aspects of quinoa throughout the world. In: Quinoa: an ancient crop to contribute to world food security. Santiago de Chile: FAO - Regional Office for the Americas and the Caribbean. 2011. Chapter 6, p.37–42.
- Alandia, G.; Rodriguez, J. P.; Jacobsen, S. E.; Bazile, D.; Condori, B. Global expansion of quinoa and challenges for the Andean region. *Global Food Security*, v.26, p.100429, 2020.
- Antunes, M. D.; Gago, C.; Guerreiro, A.; Sousa, A.R.; Julião, M.; Miguel, M.G.; Faleiro, M.L.; Panagopoulos, T. Nutritional characterization and storage ability of *Salicornia ramosissima* and *Sarcocornia perennis* for fresh vegetable salads. *Horticulturae*, v.7, p.1–12, 2021.
- ASSUFBA – Sindicato dos Trabalhadores Técnico-Administrativos em Educação das Universidades Públicas Federais no Estado da Bahia. Pesquisa revela que 47% da população no semiárido está em situação de fome. ASSUFBA, 2021. Disponível em: <<http://www.assufba.org.br/novo/pesquisa-revela-que-47-da-populacao-no-semiarido-esta-em-situacao-de-fome/>>. Acessado em: 12 out. 2023.
- Atwood, T. B.; Connolly, R. M.; Almahasheer, H.; Carnell, P. E.; Duarte, C. M.; Lewis, C. J. E.; Lovelock, C. E. Global patterns in mangrove soil carbon stocks and losses. *Nature Climate Change*, v.7, p.523-528, 2017. <http://dx.doi.org/10.1594/PANGAEA.874382>
- Barreira, L.; Resek, E.; Rodrigues, M. J.; Rocha, M. I.; Pereira, H.; Bandarra, N.; Custódio, L. Halophytes: Gourmet food with nutritional health benefits? *Journal of Food Composition and Analysis*, v.59, p.35-42, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.02.003>
- Bazile, D. Quinoa, a model crop for tomorrow’s agriculture. In: Varma, A. (ed.). *Biology and biotechnology of quinoa*. Singapore: Springer. 2021. Cap. 18, p.397-417.
- Behera, S.S.; Ramachandran, S. Potential uses of halophytes for biofuel production: opportunities and challenges. In: Ray, R. C. (ed.). *Sustainable biofuels: Opportunities and challenges*. Cambridge: Academic Press. 2021, Cap. 15, p.425-448. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820297-5.00015-3>
- Bellemare, M. F.; Fajardo-Gonzalez, J.; Gitter, S. R. Foods and fads: The welfare impacts of rising quinoa prices in Peru. *World Development*, v.112, p.163-179, 2018.
- Bilia, A. R.; Costa, M. D. C. Medicinal plants and their preparations in the European market: Why has the harmonization failed? The cases of St. John’s wort, valerian, ginkgo, ginseng, and green tea. *Phytomedicine*, v.81, p.153421, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2020.153421>

- BIODIESELBR. As usinas de biodiesel do Brasil. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/usinas_brasil> Acessado em: 19 ago. 2023.
- Bouaziz, M.; Matschullat, J.; Gloaguen, R. Improved remote sensing detection of soil salinity from a semi-arid climate in Northeast Brazil. *Comptes Rendus Geoscience*, v.343, p.795–803, 2011.
- Buhmann, A.; Papenbrock, J. An economic point of view of secondary compounds in halophytes. *Functional Plant Biology*, v.40, p.952-967, 2013. <https://doi.org/10.1071/FP12342>
- Carver, S. T.; Arnold, M. A.; Byrne, D. H.; Armitage, A. R.; Lineberger, R. D.; King, A. R. Effects of saline irrigation on four native Texas plant species with ornamental potential for coastal and arid climate landscapes. *Journal of Arid Land Studies*, v.24, p.213–221, 2014.
- Cassaniti, C.; Romano, D. The use of halophytes for Mediterranean landscaping. *Proceedings of the European COST Action FA901. The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, v. 5, p. 58-63, 2011.
- Cassaniti, C.; Romano, D.; Hop, M. E. C. M.; Flowers, T. J. Growing floricultural crops with brackish water. *Environmental and Experimental Botany*, v.92, p.165-175, 2013.
- Coelho, D. S.; Simões, W. L.; Salviano, A. M.; Souza, M. A. D.; Santos, J. E. D. Acúmulo e distribuição de nutrientes em genótipos de sorgo forrageiro sob salinidade. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.16, p.178–192, 2017. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v16n2p178-192>
- Cook, H. A. G. Salada de salicórnia, 2023. Disponível em: <<https://br.pinterest.com/pin/64105994686114390>> Acessado em: 12 out. 2023.
- Corrêa, L.; Dias, R. D.; Souza, R.; Martins, S.; Silva, P. D. S. Determinação de betacaroteno e licopeno em frutas e hortaliças por cromatografia líquida de alta eficiência (Clae). *Boletim de pesquisa e desenvolvimento. Petrolina: Embrapa Semiárido*, 2015. 18p.
- Christiansen, R. C. Sea asparagus can be oil feedstock. 2008. *Biomass Magazine*. Disponível em: <<http://www.biodieselmagazine.com/articles/2600/sea-asparagus-can-be-oilfeedstock/>> Acessado em: 14 set. 2023.
- CSSRI - Central Soil Salinity Research Institute. Vision 2050. Pragmatic assessment of the agricultural production and food demand scenario of India by the year 2050. Karnal: Central Soil Salinity Research Institute, 2014. 48p.

- Dantas J. P.; Marinho F. J. L.; Ferreira M. M. M.; Amorim M. S. N.; Andrade S. I.O.; Sales A. L. Avaliação de genótipos de caupi sob salinidade. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, p.425–430, 2002. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662002000300008>
- De Carvalho, G. G. P.; Rebouças, R. A.; Campos, F. S.; Santos, E. M.; Araújo, G. G. L.; Gois, G. C.; Cirne, L. G. A. Intake, digestibility, performance, and feeding behavior of lambs fed diets containing silages of different tropical forage species. *Animal Feed Science and Technology*, v.228, p.140-148, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.04.006>
- Duarte, B.; Feijão, E.; Pinto, M. V.; Matos, A. R.; Silva, A.; Figueiredo, A.; Fonseca, V. F.; Reis-Santos, P.; Caçador, I. Nutritional valuation and food safety of endemic mediterranean halophytes species cultivated in abandoned salt pans under a natural irrigation scheme. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v.265, p.107733, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107733>
- Ekanayake, S.; Egodawatta, C.; Attanayake, R. N.; Perera, D. From salt pan to saucepan: *Salicornia*, a halophytic vegetable with an array of potential health benefits. *Food Frontiers*, v.4, p.641-676, 2023.
- El Shaer, H. M.; Dakheel, A. Sustainable diversity of salt-tolerant fodder crop–livestock production system through utilization of saline natural resources: Egypt case study. In: Khan, M. A; Ozturk, M; Gul, B; Ahmed, M. Z. (eds.). *Halophytes for food security in dry lands*. Cambridge: Academic Press. 2016. Cap. 11, p.177-195. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801854-5.00011-X>.
- Faustino, M. V.; Faustino, M. A. F.; Pinto, D. C. G. A. Halophytic grasses, a new source of nutraceuticals? A review on their secondary metabolites and biological activities. *International Journal of Molecular Sciences*, v.20, p.1067, 2019. <https://doi.org/10.3390/ijms20051067>
- Ferreira, J. F. S.; Luthria, D. L.; Sasaki, T.; Heyerick, A. Flavonoids from *Artemisia annua* L. as antioxidants and their potential synergism with artemisinin against malaria and cancer. *Molecules*, v.15, p.3135-3170, 2010. <https://doi.org/10.3390/molecules15053135>
- Ferreira, J. F. S.; Silva Filho, J. B. da; Liu, X.; Sandhu, D. Spinach plants favor the absorption of K⁺ over Na⁺ regardless of salinity, and may benefit from Na⁺ when K⁺ is deficient in the soil. *Plants*, v.9, p.507, 2020. <https://doi.org/10.3390/plants9040507>
- Ferreira Neto M.; Gheyri H. R.; Holanda J. S.; Medeiros J. F.; Fernandes P. D. Qualidade do fruto verde de coqueiro em função da irrigação com água salina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, p.69–75, 2002. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662002000100013>

- Feitosa H. O.; Lacerda C. F.; Carvalho C. M.; Costa R. N. T.; Barbosa A. B.; Gheyi H. R. Productivity and economic analysis of sunflower/maize crop rotation under different levels of salinity and nitrogen. *African Journal Agricultural Research*, v.11, p.1999–2006, 2016.
- Fiedor, J.; Burda, K. Potential role of carotenoids as antioxidants in human health and disease. *Nutrients*, v.6, p.466–488, 2022. <https://doi.org/10.3390/nu6020466>
- Flowers, T. J.; Colmer, T. D. Salinity tolerance in halophytes. *The New Phytologist*, v.179, n.4, p.945-963, 2008.
- Forest Starr; Kim Starr. Leaves and flowers at Kanaha Beach, Maui, Hawaii (USA), 2001. Disponível em: <http://www.llifile.com/Encyclopedia/SUCCULENTS/Family/Aizoaceae/23810/Sesuvium_portulacastrum>. Acessado em: 12 out. 2023.
- Frutos, P.; Duncan, A. J.; Kyriazakis, I.; Gordon, I. J. Learned aversion towards oxalic acid-containing foods by goats: Does rumen adaptation to oxalic acid influence diet choice? *Journal of Chemical Ecology*, v.24, p.1573-1561, 1998. <https://doi.org/10.1023/A:1022544827979>
- Gardenia.Net. *Atriplex hortensis* var. *rubra*. Disponível em: < <https://www.gardenia.net/plant/atriples-hortensis-var-rubra-red-mountain-spinach>> Acessado em: 16 ago. 2023.
- Gheyi, H. R.; Lacerda, C. F.; Freire, M. B. G. S.; Costa, R. N. T.; Souza, E. R. D.; Silva, A. O. D.; Cavalcante, L.F. Management and reclamation of salt-affected soils: general assessment and experiences in the Brazilian semiarid region. *Revista Ciência Agronômica*, v.53, p.e20217917, 2022.
- Glenn, E. P.; O’Leary, J. W.; Watson, M. C.; Thompson, T. L.; Kuehl, R. O. *Salicornia bigelovii* Torr.: an oilseed halophyte for seawater irrigation. *Science* (80-) v.251, p.1065–1067, 1991.
- Gomez-Caravaca, A. M.; Iafelice, G.; Lavini, A.; Pulvento, C.; Caboni, M. F.; Marconi, E. Phenolic compounds and saponins in quinoa samples (*Chenopodium quinoa* Willd.) grown under different saline and nonsaline irrigation regiments. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, v.60, p.4620–4627, 2012. <https://doi.org/10.1021/jf3002125>
- Guil, J.L.; Rodríguez-Garcí, I.; Torija, E. Nutritional and toxic factors in selected wild edible plants. *Plant Foods for Human Nutrition*, v.51, p.99–107, 1997. <https://doi.org/10.1023/A:1007988815888>
- Harper, R. J.; Dell, B.; Ruprecht, J. K.; Sochacki, S. J.; Smettem, K. R. J. Salinity and the reclamation of salinized lands. In: Stanturf, J.A.; Callahan, M.A. *Soils and landscape*

- restoration. New York: Academic Press. 2021. Chapter 7, p.193-208. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813193-0.00007-2>
- Hasnain, M.; Abideen, Z.; Ali, F.; Hasanuzzaman, M.; El-Keblawy, A. Potential of halophytes as sustainable fodder production by using saline resources: A review of current knowledge and future directions. *Plants*, v.12, p.2150, 2023. <https://doi.org/10.3390/plants12112150>
- Hassani, A.; Azapagic, A.; Shokri, N. Global predictions of primary soil salinization under changing climate in the 21st century. *Nature Communications*, v.12, p.6663, 2021.
- Healthyoptions.Qa. BOB'S RED MILL Organic white quinoa grain, 2023. Disponível em: <<https://healthyoptions.qa/product/bobsredmillorganicwholegrainquinoa369/?v=0ab687c6a138> > Acessado em: 16 ago. de 2023.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE divulga o rendimento domiciliar per capita em 2022. Disponível em: < https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3100/rdpc_2022.pdf > Acesso em 12 out. 2023.
- IPA - Instituto Agronômico de Pernambuco. Atriplex: uma nova forrageira para solos salinizados do semiárido nordestino. Série documentos. Recife: IPA, 2000. Disponível em: < <https://site.ipa.br/publicacoes/folhetos-explicativos/> > Acessado em: 07 nov. 2023.
- IPA - Instituto Agronômico de Pernambuco. Atriplex: uma nova forrageira para solos salinizados do semiárido nordestino. Recife - PE, 2021. Disponível em: < <https://site.ipa.br/publicacoes/folhetos-explicativos/> > Acessado em: 07 nov. 2023.
- Irfan, M.; Chen, Q.; Yue, Y.; Pang, R.; Lin, Q.; Zhao, X.; Chen, H. Co-production of biochar, bio-oil and syngas from halophyte grass (*Achnatherum splendens* L.) under three different pyrolysis temperatures. *Bioresource Technology*, v.211, p.457-463, 2016.
- Jardim Cor. *Lobularia marítima* L. Disponível em: <<https://www.jardimcor.com/catalogo-de-especies/lobularia-maritima/>> Acessado em: 16 ago. de 2023.
- Joshi, A.; Kanthaliya, B.; Arora, J. Halophytes: The nonconventional crops as source of biofuel production. In: *Handbook of halophytes: From molecules to ecosystems towards biosaline agriculture*, 2021. p.2451-2477. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57635-6_126
- Kaundal, A.; Sandhu, D.; Singh, V.; Duenas, M.; Acharya, B. R.; Nelson, B.; Ferreira, J. F. S.; Litt, A. Transgenic expression of *Prunus persica* salt overly sensitive 2 (PpSOS2) in the *atsos2* mutant imparts salt tolerance in *Arabidopsis*. *ACS Agricultural Science & Technology*, v.2, p.153-164, 2022.

- Keith Edkins. *Limonium humile*. Disponível em: <<https://globalpollenproject.org/Taxon/ID/36cbfbaa-026f-43e7-8836-9da93c654cd0>>. Acessado em: 12 out. 2023.
- Khan, M.A.; Ansari, R.; Gul, B.; Qadir, M. Crop diversification through halophyte production on salt-prone land resources. CABI Reviews, v.2006, p.8, 2007.
- Kristensen, E.; Bouillon, S.; Dittmar, T.; Marchand, C. Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: a review. Aquatic Botany, v.89, p.201-219, 2008.
- Kullillaart. Tukka saltbush seeds, 2023. Disponível em: <<https://www.kullillaart.com.au/footeside-farm-saltbush-seed-40g-327526>> Acessado em: 16 ago. 2023.
- Lippert, A.; Renner, B. Herb-Drug Interaction in Inflammatory Diseases: Review of phytomedicine and herbal. Journal of Clinical Medicine, v.11, 1567, 2022. <https://doi.org/10.3390/jcm11061567>
- Lira J. B.; Andrade A. P.; Magalhães A. L. R.; Campos F.S.; Araújo G. G. L.; Deon D. S.; Gois G.C.; Regitano Neto A.; Cunha D. S.; Tabosa J. N.; Silva T. G. F.; Nagahama H.J. Production of pearl millet irrigated with different levels of brackish water and organic matter. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v.51, p.701-709, 2020. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1729794>
- Liu, X.Z.; Wang, C. Z.; Su, Q.; Li, C. K. The potential resource of halophytes for developing bioenergy in China coastal zone. Herald Journal of Agriculture and Food Science Research, v.1, p.44-51, 2012.
- Lu, D.; Zhang, M.; Wang, S.; Cai, J.; Zhou, X.; Zhu, C. Nutritional characterization and changes in quality of *Salicornia bigelovii* Torr. during storage. LWT-Food Science and Technology, v.43, n.3, p.519-524, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.09.021>
- Loconsole, D.; Cristiano, G.; De Lucia, B. Glassworts: from wild salt marsh species to sustainable edible crops. Agriculture v.9, p.14, 2019. <https://doi.org/10.3390/agriculture9010014>
- Lopes, M.; Cavaleiro, C.; Ramos, F. Sodium reduction in bread: A role for glasswort (*Salicornia ramosissima* J. Woods). Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, v.16, p.1056-1071, 2017. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12277>
- MacMohan, J. The seven most promising aviation biofuels. 2019. Disponível em: < <https://www.forbes.com/sites/jeffmcmahon/2019/01/24/the-7-most-promising-biofuels-for-airlines/#6b6e9f96174d> > Acessado em: 11 nov. 2023.

- Mourão, D. M.; Monteiro, J. B. R.; Stringheta, P. C.; Minim, V. P. R.; Dias, C. M. G. C. Ácido linoléico conjugado e perda de peso. *Revista de Nutrição*, v.18, p.391-399, 2005.
- Nevo, E.; Chen, G. Drought and salt tolerances in wild relatives for wheat and barley improvement. *Plant, Cell & Environment*, v.33, p.670-685, 2010.
- Nikalje, G. C.; Srivastava, A. K.; Pandey, G. K.; Suprasanna, P. Halophytes in biosaline agriculture: Mechanism, utilization, and value addition. *Land Degradation & Development*, v.29, p.1081-1095, 2018. <https://doi.org/10.1002/ldr.2819>
- Novotny, E. H.; Maia, C. M. B. D. F.; Carvalho, M. T. D. M.; Madari, B. E. Biochar: pyrogenic carbon for agricultural use - a critical review. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.39, p.321-344, 2015.
- Öztürk, M.; Altay, V.; Güvensen, A. Sustainable use of halophytic taxa as food and fodder: An important genetic resource in southwest Asia. In: Hasanuzzaman, M.; Nahar, K.; Öztürk, M. *Ecophysiology, abiotic stress responses and utilization of halophytes*. Singapore: Springer. 2019. Chapter 11, p.235-257. https://doi.org/10.1007/978-981-13-3762-8_11
- Panta, S.; Flowers, T.; Lane, P.; Doyle, R.; Haros, G.; Shabala, S. Halophyte agriculture: Success stories. *Environmental and Experimental Botany*, v.107, p.71-83, 2014.
- Pessoa, L. G. M.; Freire, M. B. G. S.; Green, C. H.; Miranda, M. F.; Araújo Filho, J. C.; Pessoa, W. R. Assessment of soil salinity status under different land-use conditions in the semiarid region of Northeastern Brazil. *Ecological Indicators*, v.141, p.109139, 2022a.
- Pessoa, L. G. M.; Silva, L. F. D. S.; Freire, M. B. G. D. S.; Ferreira-Silva, S. L.; Green, C. H. M.; Melo, H. F. de; Freire, F. J. Effectiveness of soil conditioners to enhance salt extraction ability of *Salicornia ramosissima* in saline-sodic soil for different soil moisture contents. *International Journal of Phytoremediation*, v.24, p.447-455, 2022b. <https://doi.org/10.1080/15226514.2021.1952924>
- Phys.org. How mangroves help keep the planet cool. University of Louisiana, USA. 2018. Disponível em: <<https://phys.org/news/2018-07-mangroves-planet-cool.html>>. Acessado em: 12 out. 2023.
- Rahman, M. S.; Di, L.; Eugene, G. Y.; Tang, J.; Lin, L.; Zhang, C.; Gaigalas, J. Impact of climate change on soil salinity: a remote sensing-based investigation in coastal Bangladesh. In: 2018 7th International Conference on Agro-geoinformatics. China: IEEE, 2018, p.1-5.

- Rede PENSSAN. II Inquérito nacional sobre insegurança alimentar no contexto da pandemia da COVID-19 no Brasil [livro eletrônico]: II VIGISAN: relatório final/Rede Brasileira de Pesquisa em Soberania e Segurança Alimentar – PENSSAN. São Paulo, SP: Fundação Friedrich Ebert: Rede PENSSAN, 2022.
- Ribeiro, M. R.; Freire, F. J.; Montenegro, A. A. A. Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: Ribeiro, M. R.; Freire, F. J.; Montenegro, A. A. A. Tópicos em ciência do solo. v.3. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016. Cap. 4, p.9-16.
- Rigó, G.; Valkai, I.; Faragó, D.; Kiss, E.; van Houdt, S.; van de Steene, N.; Szabados, L. Gene mining in halophytes: functional identification of stress tolerance genes in *Lepidium crassifolium*. Plant, Cell and Environment. v.39, p.2074-2084, 2016. <https://doi.org/10.1111/pce.12768>
- Rinchen, T.; Singh, N. Exploring nutritional potential of *Atriplex hortensis*. Indian Journal of Horticulture, v.60, p.16-17, 2015.
- Sá F.V.S.; Gheyi H. R, Lima G. S.; Paiva E. P.; Silva L. A.; Moreira R. C. L.; Fernandes P. D.; Dias A. S. Ecophysiology of West Indian cherry irrigated with saline water under phosphorus and nitrogen doses. Bioscience Journal, v.35, p.211–221, 2019. <https://doi.org/10.14393/BJ-v35n1a2019-41742>
- Sandhu, D.; Pudussery, M.V.; William, M.; Kaundal, A.; Ferreira, J.F. Divergent gene expression responses to salinity stress in 16 geographically diverse spinach genotypes. ACS Agricultural Science & Technology, v.3, n.9, p.795-804, 2023. <https://doi.org/10.1021/acsagscitech.3c00149>
- Sharma, R.; Wungrampha, S.; Singh, V.; Pareek, A.; Sharma, M. K. Halophytes as bioenergy crops. Frontiers in Plant Science, v.7, p.1372, 2016. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01372>
- Silanikove, N. The physiological basis of adaptation in goats to harsh environments. Small Ruminant Research, v.35, p.181-193, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(99\)00096-6](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(99)00096-6).
- Silanikove, N.; Gilboa, N.; Perevolotsky, A.; Nitsan, Z. Goats fed tannin-containing leaves do not exhibit toxic syndromes. Small Ruminant Research, v.21, p.195-201, 1996.
- Simões, J. G.; Medeiros, R. M. T.; Medeiros, M. A.; Olinda, R. G.; Dantas, A. F. M.; Riet-Correa, F. Nitrate and nitrite poisoning in sheep and goats caused by ingestion of *Portulaca oleracea*. Pesquisa Veterinária Brasileira, v.38, p.1549-1553, 2018. <https://doi.org/10.1590/1678-5150-PVB-5550>

- Sousa, C. H. C.; Lacerda C. F.; Silva F. L. B.; Neves A. L. R.; Costa R. N. T.; Gheyi, H. R. Yield of cotton/cowpea and sunflower/cowpea crop rotation systems during the reclamation process of a saline-sodic soil. *Engenharia Agrícola*, v.34, p.867–876, 2014.
- Souza, E. R.; Freire, M.B.G.S., da Cunha, K.P.V.; Nascimento, C. W. A. do; Ruiz, H. A., Lins; C. M. T. Biomass, anatomical changes and osmotic potential in *Atriplex nummularia* Lindl. cultivated in sodic saline soil under water stress. *Environmental and Experimental Botany*, v.82, p.20-27, 2012.
- SPECIALTYPRODUCE. Saltbush berries, 2023. Disponível em: <https://www.specialtyproduce.com/produce/Saltbush_Berries_10806.php>. Acessado em: 16 ago. de 2023.
- Squires, V.R.; Glenn, E.P. Salination, Desertification and Soil Erosion. In: Squires, V. R. The role of food, agriculture, forestry and fisheries in human nutrition. Singapore: EOLSS, 2011. V. III, Cap. 6, p.102-123.
- Stevens, A. W. Quinoa quandary: Cultural tastes and nutrition in Peru. *Food Policy*, v.71, p.132-142, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2017.08.003>
- STOCK.ADOBE. *Aster tripolium*. Disponível em:< <https://stock.adobe.com/br/search?k=%22aster%20tripolium%22>> Acessado em: 16 ago. 2023.
- Sung, J. H.; Park, S. H.; Seo, D. H.; Lee, J. H.; Hong, S.W.; Hong; S. S. Antioxidative and skin-whitening effect of an aqueous extract of *Salicornia herbacea*. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, v.73, p.552-556, 2009. <https://doi.org/10.1271/bbb.80601>
- TEA HEAVEN. Organic plantain leaf tea, 2023. Disponível em: < <https://www.teahaven.com/organic-plantain-leaf-tea/>> Acessado em: 16 ago. 2023.
- Terceiro Neto, C. P. C.; Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F.; Dias, N. S.; Campos, M. S. Produtividade e qualidade de melão sob manejo com água de salinidade crescente. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.4, p.354–362, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632013000400007>
- TUA SAÚDE. Ômega 6: para que serve e principais fontes. Disponível em: <<https://www.tuasaude.com/alimentos-ricos-em-omega-6/>> Acessado em: 09 ago. 2023.
- Tug, G.N.; Yaprak, A.E. Halophytes as a potential food source. *ANADOLU Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, v.27, n.2, p.78-81, 2017.

Uçgun, K.; Ferreira, J. F. S.; Liu, X.; Silva Filho, J. B.; Suarez, C. F.; Lacerda, D. L.; Sandhu, D. Germination and growth of spinach under potassium deficiency and irrigation with high-salinity water. *Plants* 2020, v.9, n.12, p.1739, 2020. <https://doi.org/10.3390/plants9121739>

Uddin, M. K.; Juraimi, A. S.; Hossain, M. S.; Nahar, M. A.; Ali, M. E.; Rahman, M. M. Purslane weed (*Portulaca oleracea*): a prospective plant source of nutrition, omega-3 fatty acid, and antioxidant attributes. *Scientific World Journal*, v.2014, p.951019, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/951019>

UN – United Nations. World population prospects. New York: UN, 2022. 54p.

USDA – United States Department of Agriculture. Oranges, raw, all commercial varieties, 2019. Disponível em: <<https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169097/nutrients>> Acessado em: 11 nov. 2023.

USNEWS. Where is marijuana legal? A guide to marijuana legalization. Disponível em: <<https://www.usnews.com/news/best-states/articles/where-is-marijuana-legal-a-guide-to-marijuana-legalization>> Acessado em: 17 out. 2023.

Vidal-Torrado, P.; Otero, X.L.; Ferreira, T.; Souza Júnior, V.S.; Macias, F.; Bicego, M.; García-González, M.T. Solos de mangue: características, gênese e impactos antrópicos. *Edafología*, v.12, p.199-244, 2005.

Volis, S.; Ormanbekova, D.; Yermekbayev, K. Role of phenotypic plasticity and population differentiation in adaptation to novel environmental conditions. *Ecology and Evolution*, v.5, p.3818-3829, 2015. <https://doi.org/10.1002/ece3.1607>

Wicke, B.; Smeets, E.; Dornburg, V.; Vashev, B.; Gaiser, T.; Turkenburg, W.; Faaij, A. The global technical and economic potential of bioenergy from salt-affected soils. *Energy & Environmental Science*, v.4, p.2669-2681, 2011. <https://doi.org/10.1039/C1EE01029H>

Williamson, J. A. Reducing the risk of nitrate and prussic acid poisoning in livestock. PennState Extension, 2023. Disponível em: <<https://extension.psu.edu/reducing-the-risk-of-nitrate-and-prussic-acid-poisoning-in-livestock>> Acessado em: 17 out. 2023.

WWF - World Wildlife Fund. Mangroves may be one of nature's best defenses against a changing climate, 2016. Disponível em: <<https://www.worldwildlife.org/magazine/issues/winter-2016/articles/mangroves-may-be-one-of-nature-s-best-defenses-against-a-changing-climate>> Acessado em: 16 ago. 2023.

- Yadav, S.; Mishra, A.; Jha, B. Elevated CO₂ leads to carbon sequestration by modulating C₄ photosynthesis pathway enzyme (PPDK) in *Suaeda monoica* and *S. fruticosa*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, v.178, p.310-315, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2017.11.022>
- Zammali, I.; Dabbous, A.; Youssef, S.; Ben Hamed, K. Effects of chemical priming on the germination of the ornamental halophyte *Lobularia maritima* under NaCl salinity. *Seeds*, v.1, p.99-109, 2022.
- Zanella, L.; Vianello, F. Functional food from endangered ecosystems: *Atriplex portulacoides* as a case study. *Foods*, v.9, p.1533, 2020. <https://doi.org/10.3390/foods9111533>
- Zhou, D.; Lin, Z.; Liu, L.; Zimmermann, D. Assessing secondary soil salinization risk based on the PSR sustainability framework. *Journal of Environmental Management*. v.128, p.642-654, 2013.

FORRAGENS PARA RUMINANTES

*Gherman Garcia Leal de Araújo¹, Fleming Sena Campos²,
Edson Mauro Santos³, Juliana Silva de Oliveira^{3,*}*

RESUMO: A produção animal é um dos setores agrícolas mais importantes do mundo e extremamente presente nas regiões áridas e semiáridas de várias regiões. Essas regiões estão caminhando para se tornar áridas e o processo de desertificação reduz a capacidade de suporte dos pastos e a produção de forragens como um todo. Desse modo, será estratégico para pecuária utilizar culturas eficientes no uso da água e tolerância a salinidade. Dentre as alternativas de grande potencial de produção de forragem é o uso de águas consideradas marginais ou de qualidades inferiores que podem ser utilizadas para irrigar algumas espécies tolerantes a sais, principalmente, às águas salobras, que são encontradas em abundância nos mais de 200 mil poços perfurados no Semiárido Brasileiro. Estudos ressaltam que existe uma diversidade de plantas que são capazes de desenvolver-se nas condições de solo e água salina e, que muitas dessas plantas representam um recurso alimentar para os animais ruminantes. Todavia, ainda são muito escassos os resultados de pesquisas com sistemas de produção biosalina de espécies forrageiras, que utilizam de forma sazonal e estratégica o aporte de águas salobras e práticas de manejo de solo, conforme os ciclos

¹ *Embrapa Semiárido, Petrolina - PE, Brasil*

² *Universidade Federal do Maranhão - UFMA, Chapadina - MA, Brasil*

³ *Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Areia - PB, Brasil*

* *Autor correspondente: oliveirajs@yahoo.com.br*

hidrológicos de distintas áreas do Semiárido. Objetivou-se com esse capítulo, gerar conhecimentos quanto ao cultivo de espécies em diferentes sistemas de produção irrigados e definir diferentes estratégias de integração do uso de águas salobras de poços subterrâneos, águas de chuvas e manejo do solo, por meio da geração de indicadores produtivos, morfogênicos, de eficiência de uso de água e de nutrientes, que proporcionem a máxima produtividade de biomassa forrageira e a sustentabilidade dos sistemas pecuários do Semiárido. **Palavras-chave:** Água salobra, *Atriplex numulária*, *Gliricidia sepium*, *Pennisetum glaucum* *Sorghum bicolor*.

BIOSALINE PRODUCTION OF FORAGES FOR RUMINANTS

ABSTRACT: Animal production is one of the most important agricultural sectors in the world and extremely present in the arid and semi-arid regions of several regions. These regions are on the way to becoming arid and the desertification process reduces the capacity of pastures and forage production. Thus, it will be strategic for livestock to use crops that are efficient in water use and salinity tolerance. Among the alternatives with great potential for forage production is the use of water considered marginal or inferior quality that can be used to irrigate some salt-tolerant species, mainly brackish water, which is found in abundance in more than 200,000 wells drilled in the Brazilian Semi-arid region. Studies point out that there is a diversity of plants that are capable of developing with soil and saline water conditions, and that many of these plants represent a food resource for ruminant animals. However, research results on biosaline production systems of forage species are still very scarce, which seasonally and strategically use the input of brackish water and soil management practices, according to the hydrological cycles of different areas of the semi-arid region. The objective of this chapter was to generate knowledge regarding the cultivation of species in different irrigated production systems and to define different strategies for integrating the use of brackish water from underground wells, rainwater and soil management, through the generation of productive indicators, morphogenic, efficient use of water and nutrients, which provide maximum productivity of forage biomass and sustainability of livestock systems in the semi-arid region.

Key words: Brackish water, *Atriplex numulária*, *Gliricidia sepium*, *Pennisetum glaucum*, *Sorghum bicolor*.

1 INTRODUÇÃO

A utilização de água com elevada concentração de sais é uma prática relativamente antiga que remonta aos idos dos anos de 1950, quando então alguns pesquisadores idealizaram o aproveitamento das águas do Mar Vermelho para irrigação de áreas secas do Estado de Israel. Atualmente, tem-se a consciência que a água de qualidade é um recurso finito e já se vivencia a crise da água em todo o mundo, com perspectiva de a cada ano, a água ser ainda mais escassa. Assim, para lidar com a escassez de água doce tem havido um interesse renovado no uso das águas com diferentes condutividades elétricas em todo o mundo.

Dentre as atividades que necessitam de volumes consideráveis de água tem-se a pecuária. Os pecuaristas, principalmente, das regiões semiáridas vêm enfrentando problemas seríssimos com a disponibilidade hídrica para atender a produção de forragens e a dessedentação de seus animais. A maioria deles não possui água suficiente e de qualidade para dessedentação de seus animais, bem como para produção de forragens. A necessidade, então, de um planejamento alimentar e hídrico é imprescindível para a pecuária, principalmente em regiões em que o único recurso hídrico é a água salina (SHOKAT et al. 2019). Nessas condições, o uso de culturas alternativas tolerantes à salinidade, que podem sobreviver em condições adversas, são cruciais para a sustentabilidade nessas regiões do Brasil e do mundo (CUEVAS et al., 2019; MANSOUR et al., 2019).

Objetiva-se com este capítulo, fazer um relato do potencial de uso de águas salobras ou salinas, de corpos subterrâneos, como fonte hídrica para uso estratégico e sazonal de produção de forragens, com base na “Agricultura Biossalina”.

2 QUALIDADE DA ÁGUA E PRODUÇÃO DE FORRAGENS

A agricultura biossalina quase sempre envolve algum compromisso sobre rendimentos das culturas, até mesmo para aquelas espécies tolerantes ao sal. O uso de água salina para irrigação tem um efeito adverso nas relações solo-água-planta, impactando a atividade fisiológica e a capacidade produtiva das lavouras (MURTAZA et al. 2020). Segundo Lacerda et al. (2011), entre as características que determinam a qualidade de água para irrigação, a concentração de salinidade ou sais solúveis é um dos principais fatores que limitam o crescimento e desenvolvimento de diversas culturas.

De acordo com Cordeiro (2001), água contendo menos de 0,6g/L de sais dissolvidos totais (SDT) podem ser usadas para irrigação de quase todos os cultivos; entre 0,5 e 1,5g/L de SDT tem sido usada na irrigação de plantas sensíveis a sais em solos com boa drenagem; de 1,5 a 2,0g/L de SDT para irrigação de plantas moderadamente tolerantes; e por fim, águas contendo acima de 3,0g/L de SDT produzem rendimentos apenas irrigando culturas altamente tolerantes aos sais.

Dentre as culturas que são tolerantes as águas contendo acima de 1,5 g/L de SDT (água salobra e água do mar) têm-se várias espécies de halófitas e xerófitas, e é por isso, que é crescente a procura por elas, que são naturalmente resistentes ou tolerantes a níveis expressivos de salinidade e seca, sendo uma opção promissora para ser cultivadas com água salobra (WILSON *et al.*, 2000) para alimentação dos animais ruminantes.

A quantidade de biomassa forrageira produzida em condições bioassalinas é um dos principais determinantes para a produção pecuária em diferentes regiões áridas e semiáridas no mundo e este volume de biomassa a ser produzida está intimamente ligada às características fisiológicas das diferentes espécies, bem como aos teores de sais encontrados nas águas e nos solos. A salinidade tem tanto efeitos osmóticos quanto de íons específicos que influenciam no crescimento das plantas. O ambiente de elevado teor de sal pode causar uma perda de água a partir das células e uma diminuição da turgescência. Ao mesmo tempo, há acumulação de íons específicos nos tecidos vegetais, tais como o sódio e cloreto, os quais podem interferir diretamente com os processos bioquímicos internos.

Outro fator que deve-se considerar, é que o estresse osmótico é geralmente imediato e particularmente prejudicial para a germinação de sementes, emergência e vigor de plântulas, enquanto os efeitos de íons específicos são acumulativos. Para lidar com essas tensões, plantas tolerantes ao sal podem ser capazes de excluir sal no nível de raiz, limitar o seu transporte para a parte aérea, mover íons de sal para fora do citoplasma, excretar o excesso de sal a partir das folhas, ou utilizar uma combinação destes mecanismos (MASTERS *et al.*, 2007).

Masters *et al.* (2007) ressaltaram que existe uma grande variedade de plantas que são capazes de crescer nas condições de solos salinos e águas ricas em sais. Muitas dessas plantas representam um recurso alimentar para os animais ruminantes. Nos níveis mais baixos de salinidade (<15 dS/m), as leguminosas e gramíneas com tolerância moderada de sal são capazes de fornecer 5 a 10 toneladas de matéria seca comestível por ano, especialmente, quando a disponibilidade de água é elevada. Em concentrações salinas elevadas (> 25 dS/m), os níveis de produção caem e as opções de plantas diminuem significativamente. No entanto, mesmo com essas altas salinidades, há uma variedade de gramíneas e arbustos halófitas que irão produzir entre 0,5 e 5 toneladas de matéria seca comestível por ano.

3 PRODUÇÃO DE FORRAGEIRAS HALÓFITAS OU MIOHALÓFITAS

Áreas salinizadas são exploradas com êxito graças à utilização de plantas que convivem com teores de sais diversos, como as halófitas (plantas que toleram e realizam seu ciclo de vida em ambiente com elevada concentração salina), ou as plantas miohalófitas (toleram a quantidade de sais até um limite, a partir do qual decresce sua produção com o aumento da salinidade no solo). Portanto, o uso de plantas halófitas e miohalófitas pode ser uma alternativa para tornar áreas altamente vulneráveis às secas e áreas dependentes de chuvas, em áreas com potencial produtivo bem mais seguro, desde que o cultivo destas espécies seja realizado com o uso estratégico e sazonal de águas de poços subterrâneos,

que geralmente apresentam certos graus de salinidade, mas dentro de uma faixa aceitável para uma suplementação hídrica, em solos mais arenosos e drenáveis.

Existem várias espécies forrageiras cultivadas em regiões de semiaridez (cactáceas, leguminosas e gramíneas) que são tolerantes a certos níveis de sais na água e no solo. Estudos realizados no Campo Experimental da Caatinga, pertencente à Embrapa Semiárido, no sertão do estado do Pernambuco, mostraram um bom comportamento produtivo da Erva Sal (*Atriplex nummularia*) quando cultivada com rejeito de dessalinizadores, bem como da Palma Forrageira (*Opuntia stricta* Haw), da Gliricídia (*Gliricidia sepium*), do milheto (*Pennisetum glaucum*) e do sorgo (*Sorghum bicolor*) quando submetidos às lâminas de irrigação com águas salobras de poços subterrâneos.

3.1 Sistemas bioassalinos na produção de Erva Sal

Dentre as halófitas cultiváveis para fins de forragem, as espécies do gênero *Atriplex* L. merecem destaque especial, em vista de sua rusticidade e capacidade de crescimento em áreas altamente salinas com baixos índices pluviométricos (Le-Houérou, 1992). Espécies deste gênero têm sido introduzidas com sucesso em solos com altos níveis de salinidade, sob irrigação com águas de fontes naturalmente salinas ou ainda com dejetos de águas salinizadas por aquacultura ou processos industriais, sem prejuízo de suas qualidades forrageiras, especialmente úteis na alimentação de caprinos e ovinos (Swingle, 1996; Valderrábano *et al.*, 1996; Hopkins e Nicholson, 1999; Brown *et al.* 1999).

A Erva Sal (*Atriplex nummularia*) é um arbusto forrageiro de porte médio (Figura 1), perene, originário da Austrália, o seu nome é atribuído pela sua capacidade de absorver sal através de seu sistema fisiológico. Esta espécie é adaptada aos solos salinos, absorvendo o sódio do solo e acumulando-o em seus tecidos, o que lhe atribui sabor salgado (Ben Salem *et al.* 2010). Essa planta é caracterizada como espécie halófitas obrigatória, com características xerófitas de fácil adaptação às condições ambientais extremas de salinidade, bem como solos secos e climas áridos e semiáridos.

A atriplex é também resistente a doenças e pragas, tem fácil propagação, pode se desenvolver e produzir em regiões com pluviosidades médias entre 200 e 400mm/ano e é considerada como a dicotiledônea terrestre mais resistente ao calor, sendo utilizada como importante recurso forrageiro para suplementação de ruminantes. Segundo Bem Salen (2010), o aproveitamento da matéria seca comestível da *Atriplex nummularia* é composta por folhas e ramos macios e galhos com diâmetros inferiores a 6 mm, podendo a mesma compor entre 27 a 50% do total da matéria seca.

No Brasil, tem sido relatado produção anual entre 5 e 33 toneladas/hectare (ton/ha) de matéria seca/ano, com teor de proteína de 15,5 a 21,3%, fibra em detergente neutro (FDN) de 50% e digestibilidade da matéria seca de 52,0 a 39,4%, sendo esta variação dependente de condições climáticas, irrigação, espaçamento entre plantas e idade de corte (Araújo, 2012). Uma única planta de erva sal é capaz de produzir um quilograma de matéria seca (MS) utilizando 250 g de água. Como diversas plantas C4, sua maior produtividade tende a ser no

verão e no outono, período esse de maior disponibilidade hídrica e maiores temperaturas (Norman et al., 2009).

De acordo com Heywood (1993) muitas espécies do gênero *Atriplex* tem ocorrência em solos salinos, capazes de tolerar altos teores de salinidade, sendo classificadas como halófitas obrigatórias ou facultativas. As plantas que são sensíveis ao sal tendem a ter uma diminuição no crescimento de 50% em 4–5 dS/m (7–9% de água do mar). Halófitas são altamente tolerantes ao sal e têm taxas de crescimento aumentadas quando submetidas a 4-5 dS/m e uma diminuição de 50% no crescimento em 40 dS/m (87% de água do mar) (Masters et al. 2007; Barrett-Lennard et al., 2003). A *Atriplex* pode ser introduzida com êxito em solos com altos níveis de salinidade, com irrigação com **água** salina, ou por dejetos da aquicultura em **água** salina, ou por procedimentos industriais, sem prejudicar a qualidade na produção das forrageiras, o que as torna extremamente úteis na alimentação de caprinos e ovinos. (Glenn et al., 1998; Hopkins e Nicholson, 1999).

Figura 1. Produção de erva sal em sistemas bioassalinos realizado na Embrapa Semiárido, Campo Experimental da Caatinga (CEC) no município de Petrolina – PE.



O plantio da erva-sal pode ser realizado com espaçamentos que variam de 1 m x 1 m a 4 m x 4 m entre linhas e plantas, com densidades que podem atingir 10 mil plantas por hectare, e o corte pode ser realizado em intervalos de 6 a 12 meses (Melo e Voltolini, 2019). Porto et al. (2016) pesquisando o rendimento de material forrageiro da erva-sal, irrigada com concentrado da dessalinização, para diferentes espaçamentos (1x1, 2x2, 3x3 e 4x4m) e idades de corte (6, 9 e 12 meses) na Embrapa Semiárido em Petrolina – PE, observaram que a erva-sal irrigada com 25,0 litros/planta de rejeito da dessalinização (teor salino de 11,0 dS/m), semanalmente, durante dois anos, demonstrou resultados superiores no espaçamento e idade de corte para 1,0 m x 1,0 m e 12 meses, respectivamente, com valores médios observados de 55,97 ton/ha em comparação aos 6 meses (33,77 ton/ha) e aos 9 meses (39,30 ton/ha) e aos diferentes espaçamentos de 2x2 m (19,76 ton/ha), 3x3 m (7,96 ton/ha) e 4x4 m (5,40 ton/ha).

De acordo com Ben Salem et al. (2010) a produtividade da *Atriplex numulária* pode variar de 0,5 ton/ha.ano⁻¹ de matéria seca em áreas salinizadas e 12 ton/ha.ano⁻¹ quando irrigada, podendo atingir valores entre 15 e 20 ton/ha.ano⁻¹, influenciadas pela textura do solo, disponibilidade de **água** e salinidade, apresentando significativas alterações físico-químicas do solo, como redução do conteúdo de oxigênio no solo, respiração anaeróbica pelas raízes e seca fisiológica (Bouksila *et al.*, 2013), essas mudanças são consequências da pressão osmótica inversa quando a *Atriplex* é irrigada com água de diferentes condutividades elétricas (Melo, 2014).

De acordo com alguns resultados apresentados na literatura com a utilização da erva sal produzidos em sistemas biohalinos, pode-se afirmar que seu cultivo tolera ambientes considerados de alta salinidade sendo eficiente no uso de **água** e na remoção de sais incorporados ao solo devido, principalmente, à irrigação utilizada em sistemas produtivos. Além de possuir características nutricionais favoráveis e variáveis de acordo com a idade da planta, localidades, época do ano e do material genético das espécies, com valores médios protéicos próximos a 25% e teores de sais minerais que podem ser aproveitados na alimentação de ruminantes.

No Semiárido Brasileiro, o desenvolvimento de pesquisas em agricultura biohalina teve um de seus tentáculos a Embrapa Semiárido, que foi uma das pioneiras na utilização de rejeitos de dessalinizadores em um sistema integrado de produção. Este sistema é uma combinação de ações integradas que se complementam, sendo seus principais componentes: obtenção de água potável para consumo humano pelo processo de dessalinização de águas salobras; produção de peixe; produção de forrageira irrigada (*Atriplex numularia*) e engorda de caprinos/ovinos. Neste sistema, a produção do peixe é realizada em tanques escavados, impermeabilizados, e com grande capacidade de armazenamento da água residual do processo de dessalinização. O sistema produz minerais necessários para o cultivo da erva-sal, que apresenta boa resposta à irrigação com água residual proveniente de tanques de piscicultura. Nestes experimentos o rendimento da *Atriplex* obtido foi de 9,7 toneladas de matéria seca/hectare/ano, com teor de proteína bruta de 18,64%, se destacando como grande potencial forrageiro.

Segundo Porto et al. (2006), a utilização de rejeitos salinos provenientes de dessalinizadores com condutividade média de 8,3 a 11,4 dS/m resultou em valores médios de condutividade elétrica do extrato de saturação superficial do solo de 10,7 a 13,0 dS/m, após um ano de cultivo. De acordo com os autores, em cultivo de *Atriplex nummularia* irrigado semanalmente com rejeito de dessalinizador com 75 litros por planta, observou-se que a produtividade de matéria fresca e matéria seca por hectare foi de 26,0 e 9,4 ton/ha, respectivamente, com aproveitamento médio de 81,7% das plantas como forragem após serem trituradas.

3.2 Produção biohalina de palma forrageira

A palma forrageira tem grande destaque em regiões semiáridas (REDA & ATSBHA, 2019). Sua fisiologia é caracterizada pelo emprego de uma via de fixação de carbono denominada metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), na qual há redução na perda de água devido

ao fechamento estomático diurno e à abertura estomática noturna e fixação de dióxido de carbono (DAVIS et al., 2019). Os mecanismos adaptativos desta forrageira asseguram elevada produtividade em áreas áridas e semiáridas, tendo resistência às adversidades edafoclimáticas dessas regiões (SOUZA et al., 2008) e alta eficiência no uso da água, com aproximadamente 50 kg de água para cada um quilograma de matéria seca produzida, enquanto as plantas C3 e C4 apresentam essa relação por volta de 1000:1 e 500:1, respectivamente (SAMPAIO, 2005).

A irrigação da palma com água salina é possível, e se torna uma alternativa para maximizar a produtividade da palma forrageira, principalmente no Semiárido Brasileiro, desde que utilizada com critérios técnicos. De acordo com Nunes (2018), avaliando o desempenho da palma forrageira sob diferentes lâminas de água e níveis de matéria orgânica em sistema de agricultura bioessalina no Semiárido brasileiro (Figura 2), a aplicação regular e crescente de lâminas de irrigação de 192 a 456 mm/ano e precipitação pluviométrica de 110 mm/ano em sistemas bioessalinos de palma forrageira potencializa expressivamente o crescimento, produtividades de matéria verde e seca e, a composição química da palma forrageira.

O incremento de matéria orgânica entre 30 e 45 ton/ha aumenta linearmente o desempenho agrônômico da palma forrageira e sua composição química. Nessas condições, Nunes (2018) verificou que o cultivo da palma forrageira utilizando 360 mm combinado com cargas de matéria orgânica de 45 ton/ha proporcionou a produção de matéria verde, matéria seca e água de 161 ton/ha, 10,5 ton/ha e 150,5 ton/ha, respectivamente.

Figura 2. Produção de palma forrageira em sistemas bioessalinos realizado na Embrapa Semiárido, Campo Experimental da Caatinga (CEC) no município de Petrolina – PE.



Dantas (2015), ao avaliar os efeitos de lâminas de água salina (0; 7,5; 15 e 30 mm mensais) e doses de adubação orgânica com esterco bovino, sobre as características morfológicas e produção da palma Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dick) em cultivo adensado, observou uma elevação na produtividade de matéria verde obtendo-se maior produção (191,25 ton/ha/ano) na lâmina de 30 mm em que apresentou aumento de produção de matéria verde da ordem de 225,09% em relação à palma na ausência de irrigação. A maior concentração de matéria seca foi encontrada na ausência de lâmina de água (13,11%) e menor teores para a

maior lâmina (30mm) de irrigação (7,14%). Lâminas excessivas de águas salobras intensificam a carga de sais no solo (Fonseca et al., 2019) e, a depender do tempo de exposição e ao grau de salinidade, a planta pode sofrer efeito tóxico por excesso de sais absorvidos, causando a queda no rendimento (ACOSTA-MOTOS et al., 2017; JARDIM et al., 2020).

Em pesquisa realizada por Fonseca et al. (2019), avaliando as características morfológicas e fisiológicas e a eficiência do uso de água da palma forrageira 'Gigante' sob diferentes configurações de lâmina de irrigação e intervalos de irrigação com água salina, observaram que a condição de aplicação de água salina ($3,6 \text{ dSm}^{-1}$) com até 33% evapotranspiração (ET_o) e intervalo de irrigação de três dias promove aumento na altura da planta, número de cladódios, índice de área do cladódio, produção de massa verde, produção de matéria seca e eficiência do uso de água da palma forrageira 'Gigante', sem promover à salinização do Latossolo vermelho-amarelo (Latossolo), após dois anos de produção e uma estação chuvosa.

Segundo Araújo (2012), tecnologias que aumentam as possibilidades da utilização da água salobra como o cultivo sob irrigação sazonal de clones de palma forrageira possibilitam o aumento da produtividade e sustentabilidade das unidades pecuárias, principalmente nos períodos mais secos das regiões semiáridas que possuem características próprias e a presença de sal em boa parte dos seus solos e lençóis freáticos.

3.3 Produção bioessalina de genótipos de sorgo

O sorgo possui potencial para se desenvolver e se expandir em regiões que apresentam riscos de ocorrência de deficiência hídrica, distribuição irregular de chuvas e altas temperaturas (LANDAU & SANS, 2010; PEREIRA et al., 2014). Essa planta é indicada para regiões que apresentam regime hídrico desfavorável com precipitações variando de 400 a 600 mm por ano ou menos, sendo cultivada em áreas do Semiárido Brasileiro. Segundo Silva (2003), para alcançar altas produtividades, o sorgo requer dias e noites quentes, com temperaturas médias acima de 25°C, atingindo a maturidade entre 90 e 140 dias.

Comparado a outras culturas convencionais, o sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) tem sido identificado como uma cultura com alto potencial para uso em áreas salinizadas do semiárido, devido ao seu alto valor energético e produção de biomassa, além de sua adaptação à ambientes secos, salgados e quentes, que são limitantes para o cultivo de outras espécies forrageiras, como milho (*Zea mays* L.) ou cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) (ZHU et al. 2019).

No entanto, o grau de tolerância à salinidade e a eficiência do uso da água pela planta pode se manifestar de forma diferenciada entre genótipos, refletindo diretamente no seu crescimento e produtividade. Trindade et al. (2006) verificaram que genótipos de sorgo forrageiro mais tolerantes à salinidade podem apresentar mecanismos que restringem o transporte de íons de sódio (Na⁺) e cloro (Cl⁻) para as folhas. Lacerda et al. (2001), por exemplo, verificaram maior acúmulo desses íons nas folhas fisiologicamente ativas de um genótipo de sorgo forrageiro considerado mais sensível à salinidade, quando comparadas com um genótipo mais tolerante.

Guimaraes (2017) avaliando a produtividade de massa fresca (MF), seca (MS) e de grãos (PG) de plantas de sorgo irrigados com água salina, submetido a diferentes frações de lixiviação (Figura 3), observou que houve um aumento na produtividade de MF (27,9%), MS (19,08%) e PG (36,04%) em relação a condição de sequeiro nas variedades Ponta negra e IPA 2502 quando utilizada frações de lixiviação de 15% e condutividade elétrica de 4,19 dS m⁻¹ (Figura 3).

Figura 3. Produção de genótipos de sorgo em sistemas bioassalinos realizado na Embrapa Semiárido, Campo Experimental da Caatinga (CEC) no município de Petrolina – PE.



A diminuição da matéria seca está agregada ao efeito tóxico do íon como Na⁺ e Cl⁻ sobre a fixação líquida de carbono e consequentemente à produção de fotoassimilados (ACOSTA-MOTOS et al., 2017). Essa diminuição da matéria seca em relação ao nível de salinidade diferem dos valores encontrados por Guimarães et al. (2017) que ao avaliar genótipos de sorgo forrageiro irrigado sob diferentes frações de lixiviação, observaram um aumento linear na produção de biomassa seca com aumento da salinidade da água.

3.4 Sistemas bioassalinos na produção de milho

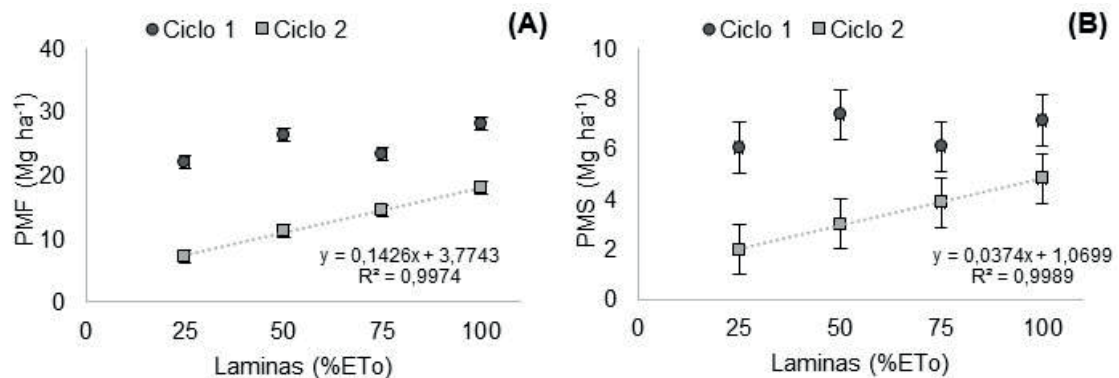
O milho é uma planta que se destaca pela capacidade de adaptação a ambientes salinos e semiáridos (Lira et al. 2020). Esse fato se deve à melhor capacidade de adaptação osmótica das plantas, que permite a absorção de água suficiente, mesmo em meio salino (TAIZ et al. 2017; TODERICH et al. 2018; TRAVASSOS et al. 2019).

O milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown) é considerado uma excelente alternativa para a produção de grãos e forragem em regiões áridas ou semiáridas em virtude de sua adaptação à seca e aos solos arenosos com baixo teor de matéria orgânica e baixa fertilidade (SANTOS et al. 2017). Essas propriedades evidenciam o seu potencial promissor como uma planta forrageira que pode ser usada estrategicamente na alimentação animal nas condições de semiárido, com produtividade e desenvolvimento satisfatórios (DIAS-MARTINS et al. 2018; LAKEW AND BERHANU 2019) irrigada com água salina (NAGAZ et al. 2012),

água salina combinada a matéria orgânica (LIRA et al. 2020) e com técnicas de gessagem (ESTEVES e ROSOLEM, 2011; CARVALHO e NASCENTE, 2014).

Segundo Lira et al. (2020) avaliando lâminas de irrigação com água salobra (LA) e níveis de matéria orgânica (MO) não observaram efeito da utilização da LA e MO no primeiro corte (64 dias) com médias de 25,049 e 6,660 mg/ha, respectivamente, com precipitação de 138,4 mm. Para o segundo corte da cultura (46 dias), não houve efeito do uso da matéria orgânica na produção de biomassa, porém, houve efeito das lâminas aplicadas, para produção de matéria verde (PMV) e matéria seca (PMS) com comportamento linear crescente (Figura 4). Ou seja, com o aumento no percentual de água salobra na irrigação observou-se uma maior produtividade da cultura do milho em baixa precipitação pluviométrica (1.3 mm). Lira et al. (2020) também observaram que o percentual de folhas no segundo corte foi 24,31% menor quando se aplicou uma maior quantidade de água salobra (100% ETo) em relação aos menores níveis utilizados (25% ETo), com redução de 12,23% entre o maior e o menor percentual de folhas, demonstrando um possível efeito da salinidade (Figura 4).

Figura 4: Produção de matéria verde (A) e de matéria seca (PMS) (B) de plantas de milho submetidas a diferentes lâminas de irrigação com água salina, por ciclo. Fonte: Lira et al. (2020).



Esse efeito sob o estresse hídrico possivelmente afeta o crescimento e desenvolvimento das plantas, pois limita o acesso aos recursos necessários para a fotossíntese devido ao fechamento estomático e à redução do transporte interno de água (McDowell *et al.*, 2011;). Quase todas as culturas mostram sensibilidade a altos níveis de sal, mas é muito diferente entre as espécies e ligeiramente entre o tipo de cultivar dentro de uma espécie (Liang *et al.*, 2018). O estágio de desenvolvimento da planta, e os fatores ambientais externos também alteram a resposta da planta em relação à salinidade (Phogat *et al.*, 2018).

No presente estudo, possivelmente a ausência do efeito negativo da água salina aplicada pode ser atribuída à tolerância da cultura ao estresse salino, porém a produção de matéria fresca está abaixo do esperado para a cultura, pois, estima-se que enquanto forrageira, a planta de milho, em condições ótimas de umidade e fotoperíodo, pode produzir até 70 ton/ha de fitomassa verde (BONAMIGO, 1993). A Figura 5 ilustra o bom desenvolvimento da cultura em área do semiárido brasileiro.

Figura 5. Produção de genótipos de milho em sistemas bioassalinos realizado na Embrapa Semiárido, Campo Experimental da Caatinga (CEC) no município de Petrolina – PE.



Segundo Silva et al. (2015) e Souza et al. (2017), a maior oferta de água afeta o crescimento vegetativo do milho, com influência direta no alongamento, expansão, divisão celular e fotossíntese, o que promove aumento na altura da planta e no diâmetro do caule.

3.5 Sistemas bioassalinos na produção de gliricídia

A gliricídia é uma espécie que predomina em clima tropical e tem sua adaptação até 1600 metros de altitude em regiões secas e sub-úmidas. Além disso, suporta longos períodos de seca. No entanto, a espécie não suporta períodos com geadas e o seu maior potencial de desenvolvimento se encontra em precipitações anuais que variam entre 1.500 e 2.000mm (QUINTERO DE VALLEJO, 1993).

De acordo com Drumond et al. (1999), a temperatura ideal de ocorrência natural da espécie é de 22 e 28° C, podendo ser cultivada perfeitamente em regiões com temperaturas máximas entre 34 e 41° C e mínimas variando entre 14 e 20° C.

O desenvolvimento da gliricídia é prevacente em diversos tipos de solo, dos mais arenosos até os pedregosos. Sua capacidade adaptativa nos solos varia com pH de 4,3 a 5,0, com baixo desenvolvimento em solos com alta alcalinidade (HUGHES, 1987). Apesar de sua adaptação em diversos tipos de solo, obtém-se maiores produtividades em solos profundos e férteis.

As plantas glicófitas, a exemplo da gliricídia, ativam diversas repostas ao estresse, permitindo resistir perturbações fisiológicas atribuídas a elevados teores de sais em seu ambiente, ao exemplo da rota SOS (*salt overly sensitive*), que leva ao aumento do efluxo de sódio a partir das células e reduzindo a toxicidade pelo elevado teor de sal (Taiz et al., 2017).

Rodrigues (2017), em estudo sobre avaliação de plantas de gliricídia, submetida a diferentes lâminas de irrigação com água salina (17%, 26%, e 32% Eto), doses de matéria orgânica (0, 15, 30, 45 ton/ha) e idades de corte (3, 6, 9 e 12 meses) em sistemas bioassalinos, observou que a produção de matéria seca foi influenciada em relação a quantidade de água salina utilizada. Ou seja, as plantas irrigadas com até 32% de ETo de referência (615 mm) tiveram

produção de 2,435 ton/ha no 3º corte (9 meses) com redução de 6,7% em relação ao 4º corte (12 meses) com 2,27 ton/ha.

Figura 6. Produção de gliricidia em sistemas biossalinos realizado na Embrapa Semiárido, Campo Experimental da Caatinga (CEC) no município de Petrolina – PE.



Os efeitos observados nos dados de produtividade na pesquisa de Rodrigues (2017) podem está associados à perda de folhas pelas plantas, devido às características de deciduidade da espécie, quando permanece por um longo período de estiagem no campo. Já a interação entre o intervalo de corte e lâmina de água promoveu um aumento no incremento de massa de forragem da gliricídia de 4.895 kg/ha de matéria seca.

Segundo Quintero de Vallejo (1993), as condições ideais de chuva para cultivo de Gliricídia é em média 1500,00 mm/ano. Logo, a lâmina de 615 mm aplicada no trabalho de Rodrigues (2017), representa apenas 41% do aporte hídrico exigido pela cultura. Clavero, T. e Razz R. (2002) pesquisando o efeito da salinidade no crescimento da gliricidia observaram que as concentrações excessivas de sal na água de irrigação causam diminuição no crescimento, biomassa, número de nódulos e atividade fotossintética das plantas, especialmente se a condutividade elétrica da água estiver acima de 3 dS/m.

4 TECNOLOGIAS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA SALOBRA NA PRODUÇÃO DE FORRAGENS

A irrigação com água salina torna-se uma prática desejável (LIMA et al., 2014) na produção de forragem, mantendo a capacidade de suporte e reduzindo as perdas econômicas através da redução produtiva dos animais. Um aspecto negativo da salinidade é que esta apresenta-se como um dos fatores abióticos que comprometem o desenvolvimento de plantas sensíveis ao estresse salino, afetando a fisiologia e processos metabólicos das plantas (SZYMANSKA et al., 2018), provocando também algum nível de alteração no perfil nutricional das forrageiras. Desse modo, estratégias de manejo para otimizar o uso da água salina têm sido realizadas

para minimizar a toxicidade dos sais e melhorar as propriedades do solo (MACHADO e SERRALHEIRO, 2017; HAJ-AMOR et al., 2018; WANG et al., 2019).

Inicialmente torna-se necessário realizar análise físico-química da água para que seja realizada a tomada de decisão quanto ao seu uso, tal como, observar os teores de sódio presentes e a razão de adsorção de sódio, sendo que esse elemento pode danificar a estrutura do solo e causar efeito tóxico às plantas (SUN et al., 2012). De acordo com Silva et al. (2014), os solos devem ser levados em consideração como essencial, pois sua profundidade e proporções de areia podem induzir as plantas a um maior potencial produtivo quando irrigados com águas com certos teores de salinidade.

Dentre das estratégias que podem ser utilizadas, a aplicação de matéria orgânica como forma de mitigar os efeitos da salinidade sobre plantas constitui uma estratégia de aumentar a disponibilidade de nutrientes às plantas e estimular o seu desenvolvimento (MACHADO e SERRALHEIRO, 2017; MELO FILHO et al., 2018; LIRA et al., 2020). Além disso, a utilização de matéria orgânica contribui também para a formação de agregados no solo, altera a composição das substâncias húmicas e possibilita o aumento da produtividade das culturas (CAVALCANTE et al., 2010, CAMPOS et al., 2011, SOUTO et al., 2013).

Ao favorecer o desenvolvimento e a manutenção da microbiota do solo, a implementação dos cultivos com adubos orgânicos resulta em impactos positivos sobre a ciclagem de nutrientes (MURCHIE et al., 2015). A utilização de adubos orgânicos de origem animal, proporcionam aumento significativo na qualidade da fauna nos solos estudados (SEGAT et al., 2015).

A qualidade da biota do solo é fundamental para degradação da matéria orgânica, processo necessário para que os nutrientes presentes no adubo se tornem disponíveis para as plantas. A absorção de água e nutrientes pela planta em ambiente salino pode ser favorecida com a utilização de biofertilizantes, pois estes podem induzir o ajuste osmótico, ao favorecer o acúmulo de solutos orgânicos na planta (CAVALCANTE et al., 2011).

Segundo Silva et al. (2014), o uso de água salina quando respeitado alguns fatores como um manejo mais adequado do solo, rotação de culturas e a combinação de águas com diferentes concentrações de sais, pode contribuir com a minimização dos impactos nas propriedades químicas e físicas do solo e evitar o estresse salino promovido pelo efeito tóxico aos vegetais. As relações iônicas que afetam a disponibilidade, absorção e transporte de nutrientes são complexas, mesmo na ausência de salinidade e de outros estresses (NEVES et al., 2009).

O uso combinado de lâminas de água e doses de matéria orgânica, em cultivos de palma forrageira e outras culturas adaptadas ao Semiárido, é de extrema importância na composição química e controle da salinidade do solo. A água irá promover o carreamento dos minerais presentes na matéria orgânica do solo que serão absorvidos pelas raízes. Sem a água esse transporte é reduzido demorando mais tempo até que a planta consiga absorver os elementos minerais necessários para seu desenvolvimento (NUNES, 2018).

Entre as técnicas disponíveis de manejo, a utilização do gesso agrícola também tem sido uma alternativa viável para reduzir a sodicidade dos solos salino-sódicos na camada subsuperficial do solo (OLIVEIRA et al. 2016; SANTOS et al. 2019). O gesso mineral aplicado em solos salino-sódicos interfere na dinâmica da água ao longo do perfil do solo, em virtude do

deslocamento dos íons nos sítios de troca e microporos, substituindo o sódio pelo cálcio na solução do solo, indo esse sódio para a lâmina de lixiviação (TAVARES FILHO et al., 2012).

Alternativas como a associação de águas salinas associadas com água de baixas concentrações de sais também se tornam eficientes no manejo estratégico na produção vegetal em regiões com estiagens prolongadas assegurando a exploração racional dos recursos hídricos no Semiárido (SILVA et al. 2014). Contudo, a utilização desses recursos requer estratégias de longo prazo que garantam a sustentabilidade socioeconômica e ambiental dos sistemas agrícolas, permitindo a obtenção de colheitas rentáveis sem que ocorra degradação do solo (SOARES et al., 2013).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção de halófitas ou de espécies glicófitas tolerantes à irrigação complementar com águas salinas, vem se tornando uma alternativa bastante viável para aumentar a capacidade de suporte forrageiro das unidades familiares do Semiárido Brasileiro, nas quais a principal fonte de renda vem da criação de pequenos e grandes ruminantes.

Em todo Semiárido Brasileiro são estimados mais de 200 mil poços perfurados, com uma enorme capilaridade. As águas subterrâneas desses poços apresentam níveis de salinidades que em sua maioria podem servir tanto para dessedentação de ruminantes, bem como para produção de algumas espécies forrageiras, desde que sejam conhecidas suas composições químicas e que critérios técnicos sejam adotados dentro dos princípios da agricultura biohalina.

O uso dessa prática para produção de biomassa forrageira tem um enorme potencial e deve ter como referência o uso mínimo e sazonal dessas águas com base no regime hidrológico de cada região associado à utilização de plantas tolerantes à salinidade, da matéria orgânica, cobertura morta e solos bem drenáveis, como forma de remediar os possíveis efeitos das elevadas concentrações de cátions e ânions nessas águas.

LITERATURA CITADA

- Acosta-Motos, J.R., Ortuño, M.F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M.J., Hernandez, J.A. Plant responses to salt stress: Adaptive mechanisms. *Agronomy*, v.7, p.1-38, 2017.
- Araújo, B. A. M. De. Alocação de água no Ceará: diagnóstico e desafios. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Engenharia Hidráulica e Ambiental). Fortaleza: Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, 2012. 92p.

- Barrett-Lennard, E. The interaction between waterlogging and salinity in higher plants: causes, consequences and implications. *Plant and Soil*, v. 253, p.35–54, 2003.
- Bonamigo, L.A . O plantio direto no cerrado do Mato Grosso do Sul. In: Simpósio internacional sobre plantio direto em sistemas sustentáveis, Castro PR. Anais. Castro: Fundação ABC, p.13-16, 1993.
- Brown, R.H. Agronomic Implications of C₄ photosynthesis. In: Sage e Monson (Editores) *C4 Plant Biology*. San Diego: Academic Press, 1999.
- Campos, F. S.; Santos, E. M.; Benedetti, E. Rendimento forrageiro de genótipos de milho em função da adubação nitrogenada no Semiárido Paraibano. *Fazu*, n. 8, p. 177-181, 2011.
- Carvalho, M.C.C.S., Nascente, A.S. Calcário, gesso e efeito residual de fertilizantes na produção de biomassa e ciclagem de nutrientes de milho. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 44, p. 370-380, 2014.
- Castro, A. M. C.; Ruppenthal, V.; Rando, E. M.; Marchione, M. S.; Gomes, C. J. A. Calcário e gesso no desenvolvimento do milho cultivado em um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico. *Cultivando o Saber*, v.6, p.8-16, 2013.
- Cavalcante, E.P.; Prado, H. Ambientes de produção de cana-de-açúcar de latossolos da região de Araxá-MG. *Nucleus*, v.7, n.2, p.115-124, 2010.
- Cavalcante, L.F.; Dias, T.J.; Nascimento, R.; Freire, J.L.O. Clorofila e carotenoides em maracujazeiro-amarelo irrigado com águas salinas no solo com biofertilizante bovino. *Revista Brasileira de Fruticultura [online]*, v. 33, p. 699-705, 2011.
- Clavero, T.; Razz, R. Efecto de la salinidad en el crecimiento de *Gliricidia sepium*. *Revista Científica*, v. 12, n. Suplemento 2, p517-518, 2002.
- Coelho, D. S.; Simões, W. L.; Salviano, A. M.; Souza, M. A.; Santos, J. E. Acúmulo e distribuição de nutrientes em genótipos de sorgo forrageiro sob salinidade. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.16, n.2, p. 178-192, 2017.
- Cordeiro, G.G. Salinidade em agricultura irrigada (conceitos básicos e práticos). Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2001.
- Cuevas, J., Daliakopoulos, I.N., Del Moral, F., Hueso, J.J., Tsanis, I.K. A review of soil-improving cropping systems for soil salinization. *Agronomy*, v.9, p.1-22, 2019.

- Dias-Martins, A. M., Pessanha, K.L.F., Pacheco, S., Rodrigues, J.A.S., Carvalho, C.W.P. Potential use of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) in Brazil: Food security, processing, health benefits and nutritional products. *Food Research International*, v.109, p.175 – 186, 2018.
- Drumond, M.A; Carvalho Filho, O.M. de. Introdução e avaliação de *Gliricidia sepium* na região semiárida do Nordeste Brasileiro. In: QUEIRÓZ, M.A. de, GOEDERT, C.O., RAMOS, S.R.R., (ed.) Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro. (online). Versão 1.0. Petrolina-PE: Embrapa Semiárido /Brasília-DF:, 1999.
- Esteves, J. A. F., & Rosolem, C. A. Triticale, milho e adubação fosfatada para formação de palhada em semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, n.3, p.981-990, 2011.
- Fonseca, V. A., Santos, M. R. D., Silva, J. A. D., Donato, S. L. R., Rodrigues, C. S., & Brito, C. F. B. Morpho-physiology, yield, and water-use efficiency of *Opuntia ficus-indica* irrigated with saline water. *Acta Scientiarum, Agronomy*, v. 41, e42631, 2019.
- Guimarães, M.J.M. Tolerância de variedades de sorgo granífero à salinidade em condições semiáridas. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2017.
- Haj-Amor, Zied, Hossein Hashemi And Salem Bouri. “The consequences of saline irrigation treatments on soil physicochemical characteristics”. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*. v.3, n.22. p.1-12, 2018.
- Heywood, J.S. Biparental inbreeding depression in the self-incompatible annual plant *Gaillardia pulchella* (asteraceae). *American Journal of Botany*, v.80, p.545-550, 1993.
- D.L Hopkins, D.L.; Nicholson, A. Meat quality of wether lambs grazed on either saltbush (*Atriplex nummularia*) plus supplements or lucerne (*Medicago sativa*), *Meat Science*, v.51, n.1, p. 91-95, 1999.
- Jardim, A.M.R.F., Silva, T.G.F., Souza, L.S.B., Souza, M.S. Interaction of agroecosystem intercropped with forage cactus-sorghum in the semi-arid environment: a review. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v.5, p.69-87, 2020.
- Lacerda, C.F.; Sousa, G.G.; Silva, F.L.; Guimarães, F.V.; Silva, G.L.; Cavalcante, L.F. Soil salinization and maize and cowpea yield in the crop rotation system using saline waters. *Engenharia Agrícola*, v.31, n.4, p.663-675, 2011.

- Lakew, A.; Berhanu, T. Determination of intra and inter row spacing on the yield of pearl millet (*Pennisetum glaucum L.*) in the dry land areas of Wag Himra, eastern Amhara, Ethiopia. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, v.4, n.1, p.45-49, 2019.
- Landau, E. C.; Sans, L. M. A. Cultivo de sorgo: Clima. Sistema de Produção, 2, 6 eds., Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010.
- Le Houérou, H. N. The role of saltbushes (*Atriplex* spp.) in arid land rehabilitation in the Mediterranean Basin: a review. *Agroforestry systems*, v. 18, n. 2, p. 107-148, 1992.
- Liang, W., Cui, W., Ma, X., Wang, G., & Huang, Z. Function of wheat ta-unp gene in enhancing salt tolerance in transgenic arabidopsis and rice. *Biochemical and biophysical research communications*, v. 450, n. 1, p. 794-801, 2014.
- Lima, G. S., Nobre, R. G. Gheyi, H. R. Soares, L. A. A. Silva, A. O. Crescimento e componentes de produção da mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. *Revista de Engenharia Agrícola*, v.34, n.5, p. 854-866, 2014.
- Lira, J.B., Andrade, A.P., Magalhães, A.L.R., Campos, F.S., Araújo, G.G.L., Deon, D.S., Gois, G.C., Regitano Neto, A., Cunha, D.S., Tabosa, J.N., Silva, T.G.F., Nagahama, H.J. Production of pearl millet irrigated with different levels of brackish water and organic matter. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.51, p.701 – 709, 2020.
- Machado, R.M.A., Serralheiro, R.P. Soil salinity: Effect on vegetable crop growth. management practices to prevent and mitigate soil salinization. *Horticulturae*, v.3, p.1 – 13, 2017.
- Mansour, H.A., Hongjouan R., Jiandong, H., Feng, B.H., Changmei, L. Performance of water desalination and modern irrigation systems for improving water productivity. In.: Ricart, S., Rico, A.M., Olcina, J. *Irrigation - Water productivity and operation, sustainability and climate change*. London: Intechopen. p.1 – 24, 2019.
- Masters D, Benes Se, Norman H . Biosaline agriculture for forage and livestock production. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v.119, p.234–248, 2007.
- Mcdowell, N. G., Beerling, D. J., Breshears, D. D., Fisher, R. A., Raffa, K. F., Stitt, M. The interdependence of mechanisms underlying climate-driven vegetation mortality. *Trends in ecology & Evolution.*, v. 26, p. 523–532, 2011.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Melo, R. F.; Voltolini, T. V. Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido. Embrapa Semiárido-Livro técnico (INFOTECA-E), 2019.

- Melo Filho, J.S., Vêras, M.L.M., Silva, T.I., Alves, L.S., Dias, Tj. Organic fertilizers as mitigating effects of water salinity on *Passiflora cincinnata* seedlings. *Acta Agronômica*, v.67, p.501-511, 2018.
- Melo, I. S., Queiroz, S. D. N., Mendes, R., Fiore, M. D. F., Pellizari, V., Taketani, R., Melo, S., Souza, A.O., Kavamura, V.N., Santos, S.N., Oliveira, V.M., Nakayama, C. Biodiversidade e bioprospecção de micro-organismos na Caatinga. In: Embrapa Meio Ambiente-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Fórum De Apresentação De Resultados De Pesquisa: Avanços E Oportunidades, 1., 2014, Campinas. Anais... Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2014. RE014. 4 p., 2014.
- Murtaza G., Sarwar G., Noor-Us-Sabah N., Tahir M. A., Mujeeb F., Muhammad S., Manzoor M. Z. & Zafar A. Judicious use of saline water for growing sorghum fodder through the application of organic matter. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, v.33, n.1, p.106-112, 2020.
- Nagaz, K.; Masmoudi, M. M.; Mechlia, N. B. Impacts of irrigation regimes with saline water on carrot productivity and soil salinity. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, v.11, n.1, p.19-27, 2012.
- Neves, A. L. R., Lacerda, C. F. D., Guimarães, F. V. A., Hernandez, F. F. F., Silva, F. B. D., Prisco, J. T., & Gheyi, H. R. Acumulação de biomassa e extração de nutrientes por plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. *Ciência Rural*, v.39, p. 758-765, 2009.
- Norman, H. C., Wilmot, M. G., Thomas, D. T., Masters, D. G., Revell, D. K.. Stable carbon isotopes accurately predict diet selection by sheep fed mixtures of C3 annual pastures and saltbush or C4 perennial grasses. *Livestock Science*, v.12, p.162-172, 2009.
- Nunes, T.C.M.D. Sistemas bio-salinos de produção de palma forrageira recebendo crescentes lâminas de água e doses de matéria orgânica. 2018. 46p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Ciências Agrárias, Petrolina, 2018.
- Oliveira, P. C. P., Gloaguen, T. V., Gonçalves, R. A. B., Santos, D. L., Couto, C. F. Soil Chemistry after Irrigation with Treated Wastewater in Semiarid Climate. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. v.40, 2016.
- Pereira, O., Pinho, R., Paula, R., Roseira, J., Pimentel, F., Mantovani, H. PSVIII-26 Fermentation and aerobic stability of sorghum silages inoculated with wild strains of *Lactobacillus*

- buchneri isolated from tropical sorghum silage. *Journal of Animal Science*, v. 96, n. suppl_3, p. 216-217, 2018.
- Phogat, V., Pitt, T., Cox, J. W., Simunek, J., Skewes, M. A. Soil water and salinity dynamics under sprinkler irrigated almond exposed to a varied salinity stress at different growth stages. *Agricultural water management*, v. 201, p. 70-82, 2018.
- Porto, E. R., De Amorim, M. C., Dutra, M. T., Paulino, R. V., Brito, L. T. D. L., & Matos, A. N. Rendimento da *Atriplex nummularia* irrigada com efluentes da criação de tilápia em rejeito da dessalinização de água. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, p. 97-103, 2006.
- Porto, E.R. Relatório técnico contendo propostas de documento referente as diretrizes e ações do componente Sistemas Produtivos do Programa Água Doce. IICA, Brasília, DF (Brasil), 2016.
- Quintero De Vallejo, V.E. Evaluación de leguminosas arbustivas em la alimentación de conejos. *Livestock Research for Rural Development*, v.5, n.3, p.1-7, 1993.
- Reda, T.H., Atsbha, M.K. Nutritional composition, antinutritional factors, antioxidant activities, functional properties, and sensory evaluation of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) seeds grown in Tigray Region, Ethiopia. *International Journal of Food Science*, p.1-7, 2019.
- Rodrigues, C. T. A., Nunes, T., Carvalho, H. D. S., Da Silva, T. G. F., & De Araujo, G. G. L. Variabilidade espacial da umidade do solo em cultivo de gliricídia. In: Embrapa Semiárido- Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Congresso Brasileiro De Agrometeorologia, 20; Simpósio De Mudanças Climáticas E Desertificação No Semiárido Brasileiro, 5., 2017, Juazeiro, BA. A agrometeorologia na solução de problemas multiescala: anais. Petrolina: Embrapa Semiárido; Juazeiro: UNIVASF; Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2017.
- Sánchez-Rodríguez, E., Rubio-Wilhelmi, M., Cervilla, L. M., Blasco, B., Rios, J. J., Rosales, M. A., Ruiz, J. M. Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Plant Science*, v. 178, n.1, p.30-40, 2010.
- Sampaio, E. V., & Silva, G. C. Equações para estimar a biomassa de plantas da caatinga do semi-árido brasileiro. *Acta Botanica Brasílica*, v. 19, p. 935-943, 2005.

- Santos, R.D., Boote, K.J., Sollenberger, L.E., Neves, A.L.A., Pereira, L.G.R., Scherer, C.B., Gonçalves, L.C. Simulated optimum sowing date for forage pearl millet cultivars in multi-location trials in Brazilian Semi-Arid region. *Frontiers in Plant Science*, v. 8, p. 2074, 2017.
- Santos, P. D., Cavalcante, L. F., Gheyi, H. R., Lima, G. S. De, Gomes, E. M., & Bezerra, F. T. C.. Saline-sodic soil treated with gypsum, organic sources and leaching for successive cultivation of sunflower and rice. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.23, n.12, p.891-898. Epub November 25, 2019.
- Segat, J.C.; Alves, P.R.L.; Barreta, D. & Cardoso, E.J.B.N. Ecotoxicological evaluation of swine manure disposal on tropical soils in Brazil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v.122, p.91–97, 2015.
- Shokat, S.; Großkinsky, D. K. Tackling salinity in sustainable agriculture—What developing countries may learn from approaches of the developed world. *Sustainability*, v.11, n.17, p. 4558, 2019.
- Shrivastava, P., Kumar, R. Soil salinity: a serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, v. 22, n. 2, p. 123-131, 2015.
- Silva, J. S. Caracteres fisiológicos e bioquímicos de dois genótipos de sorgo forrageiro submetidos à salinidade. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Ceará, 2003.
- Silva, J. L. A.; Medeiros, J. F.; Alves, S. S. V.; Oliveira, F. A.; Silva Junior, M. J.; Nascimento, I. B. Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.66-72, 2014.
- Silva, J. L. A., J. F. Medeiros, S. S. Alves, F. A. Oliveira, M. J. Silva Junior, Nascimento, I.B. 2015. Use of saline waters as an alternative for irrigation and production of fodder in the northeastern semiarid region. *Revista Brasileira De Engenharia Agrícola e Ambiental* , v.18, p.66–72, 2015.
- Soares, R., Escaleira, V., Campos, D. V. B. D., Monteiro, M. I. C., Santelli, R. E., & Bernardi, A. C. D. C. Comparação de métodos convencional e alternativo para determinar Cu, Fe, Mn e Zn em extratos de solos obtidos com solução de Mehlich-1. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, p. 707-714, 2013.

- Souto, A. G. De L.; Cavalcante, L. F.; Nascimento, J. A. M. Do.; Mesquita, F. De O.; Neto, A. J. L. Comportamento do noni à salinidade da água de irrigação em solo com biofertilizante bovino. *Irriga*, Botucatu, v.18, n.3, p. 442-453, 2013.
- Souza, P. G. R., T. V. A. Viana, C. M. Carvalho, A. M. Sousa, C. P. M. Costa, Azevedo, B.M. 2017. Effect of different grounds of irrigation and soil coverage on the growth of sorghum culture. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.11, p.1528-37, 2017.
- Sun, J. Soil salinity management with drip irrigation and its effects on soil hydraulic properties in north China coastal saline soils. *Agricultural Water Management*, v.115, p.10-19, 2012.
- Swingle, R. S.; Glenn, E. P.; Squires, V. Growth performance of lambs fed mixed diets containing halophyte ingredients. *Animal Feed Science and Technology*, v. 63, n. 1-4, p. 137-148, 1996.
- Szymańska, S., Borruso, L., Brusetti, L., Hulisz, P., Furtado, B., & Hryniewicz, K. Bacterial microbiome of root-associated endophytes of *Salicornia europaea* in correspondence to different levels of salinity. *Environmental Science and Pollution Research*, v.25, n.25, p. 25420-25431, 2018.
- Taiz, L., E. Zeiger, I. M. Møller, And A. Murphy. 2017. *Plant Physiology And Development*. 6th Ed. Porto Alegre: Artmed. Toderich, K., E. Shuyskaya, Z. Rakhmankulova, R. Bukarev, T. Khujanazarov, R. Zhapaev, S. Ismail, S. K. Gupta, N. Yamanaka, And F. Boboev. Threshold tolerance of new genotypes of *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. to salinity and drought. *Agronomy*, v. 8, p.1-13, 2018.
- Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, 2013.
- Tavakkoli, E. Paull, J., Rengasamu, P., McDonald, G.K. Comparing genotypic variation in faba bean (*Vicia faba* L.) in response to salinity in hydroponic and field experiments. *Field Crops Research* v.127, p.99-108, 2012.
- Tavares Filho, A. N., Barros, M. D. F., Rolim, M. M., & Silva, Ê. F. D. F. Incorporação de gesso para correção da salinidade e sodicidade de solos salino-sódicos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, p.247-252, 2012.
- Toderich, K., E. Shuyskaya, Z. Rakhmankulova, R. Bukarev, T. Khujanazarov, R. Zhapaev, S. Ismail, S. K. Gupta, N. Yamanaka, And F. Boboev. Threshold tolerance of new genotypes of *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. to salinity and drought. *Agronomy*, v.8, p.1-13, 2018.

- Travassos, K. D., H. R. Gheyi, H. M. M. Barros, F. A. L. Soares, C. A. Uyedal, N. S. Dias, M. G. Tavares, And R. Chipana-Rivera. Water consumption of the sunflower crop irrigated with saline water. *DYNA*, v.86, p.221–26, 2019.
- Trindade, A. R., Lacerda, C. F. D., Gomes Filho, E., Prisco, J. T., & Bezerra, M. A. Influência do acúmulo e distribuição de íons sobre a aclimatação de plantas de sorgo e feijão-de-corda, ao estresse salino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.804-810, 2006.
- Wang, T., Xu, Z., Pang, G. Effects of irrigating with brackish water on soil moisture, soil salinity, and the agronomic response of winter wheat in the yellow river delta. *Sustainability*, v.11, p.1-16, 2019.
- Willadino, L.; Camara, T. R. Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. *Enciclopédia Biosfera*, v. 6, n. 11, p. 1-23, 2010.
- Wilson, J. R., Rees, M., Holst, N., Thomas, M. B., & Hill, G. Water hyacinth population dynamics. In: *ACIAR PROCEEDINGS*. ACIAR; p. 96-104, 2000.
- Zhu G., An L., Jiao X., Chen X., Zhou G. & Mclaughlin N. Effects of gibberellic acid on water uptake and germination of sweet sorghum seeds under salinity stress. *Chilean Journal of Agricultural Research*, v.79, n.3, p.415 – 424, 2019.

HORTALIÇAS CULTIVO HIDROPÔNICO

Alide Mitsue Watanabe Cova^{1}, Mairton Gomes da Silva²,
Petterson Costa Conceição Silva³, José Amilton dos Santos Júnior⁴,
Tales Miler Soares², Hans Raj Gheyi²*

RESUMO: Devido à escassez de água de baixa salinidade no Nordeste brasileiro, assim como em diferentes partes do mundo, as águas salobras têm sido utilizadas na irrigação. No entanto, muitas vezes as concentrações de sais presentes nessas águas podem limitar o crescimento das culturas, além de tornar o solo menos fértil e desvalorizado. Nesse contexto, o cultivo hidropônico pode ser uma alternativa para o uso das águas salobras, pois nesse sistema os efeitos dos sais são menos deletérios sobre as culturas em comparação ao cultivo em solo. Na literatura, encontram-se muitos estudos com águas salobras sob condições hidropônicas, os quais mostram que, para uma gama de culturas, em termos produtivos, tem sido viável o cultivo sob níveis moderados de salinidade da água. Nesses estudos pouco se aborda a qualidade das plantas hidropônicas produzidas em condições de estresse salino, parâmetro esse de grande relevância para comercialização do produto. Nesse contexto, este capítulo apresenta os aspectos relacionados à qualidade das plantas produzidas hidroponicamente com o uso de águas salobras.

¹ Universidade Estadual de Feira de Santana, UEFS, Feira de Santana, BA, Brasil

² Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, Cruz das Almas, BA, Brasil

³ Instituto Federal do Amazonas – IFAM, Maués, AM, Brasil

⁴ Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Recife, PE, Brasil

* Autor correspondente: alidewatanabe@yahoo.com.br

Palavras-chave: Cultivo sem solo, estresse salino, disponibilidade hídrica, qualidade pós-colheita.

VEGETABLES - HYDROPONIC CULTIVATION

ABSTRACT: Due to the scarcity of low-salinity water in the Brazilian Northeast, as well as in several parts of the world, brackish waters have been used for irrigation. However, often the concentrations of salts present in these waters can limit the growth of crops, in addition to making the soil less fertile and devalued. In this context, hydroponic cultivation can be an alternative to use brackish waters, since in this system the effects of salts are less harmful to crops when compared to cultivation in soil. In the literature, there are many studies with brackish waters under hydroponic conditions, which show that, for a variety of crops, in terms of productivity, cultivation with moderate levels of water salinity has been feasible. In these studies, little is discussed about the quality of hydroponic plants produced under salt stress conditions, a parameter of great relevance for the commercialization of the product. In this context, this chapter presents aspects related to the quality of plants produced hydroponically with brackish waters.

Key words: Soilless cultivation, salt stress, water availability, postharvest quality.

1 INTRODUÇÃO

A produção de alimentos é extremamente dependente da disponibilidade e qualidade de água, sendo estes fatores limitantes nas regiões de clima árido e semiárido. Nessas regiões é recorrente a presença e a utilização de águas salobras na irrigação das culturas, causando sérios danos na produção agrícola e no solo. Para amenizar os impactos, o manejo sustentável das águas salobras tem sido objeto de estudos em várias espécies de plantas.

Diversos estudos com diferentes estratégias de manejo de águas salobras na irrigação já foram realizados, visando, sobretudo, mitigar a escassez de água de baixa salinidade e os efeitos da salinidade nas plantas. Mencionam-se, por exemplo, os trabalhos: a mudança da qualidade de água com a fase de desenvolvimento da cultura do meloeiro ‘Pele de Sapo’ (Cordão Terceiro Neto et al., 2014) e do maracujá (Lima et al., 2020a; Lima et al., 2022); uso de irrigação por gotejamento via pulsos com água salobra em feijão-vagem (Almeida et al., 2018) e berinjela (Arriero et al., 2020; Damasceno et al., 2021). Não obstante, nas estratégias testadas nos trabalhos citados, os sais presentes na água acumularam no solo próximo as raízes das plantas reduzindo o crescimento e produção.

Por outro lado, uma tecnologia que tem sido utilizada para minimizar os impactos dos problemas causados pelos sais é a hidroponia. Nesse sistema de cultivo sem solo, os efeitos da salinidade nas plantas podem ser atenuados quando comparado ao solo, decorrente a disponibilidade de água e nutrientes, em conjunto com a baixa resistência ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas em condições hidropônicas (Leal et al., 2020).

Na literatura são relatados vários sistemas hidropônicos e estratégias de preparo e manejo de soluções nutritivas com águas salobras, que podem ser utilizadas pelos produtores, sem ter reduções drásticas na produção das culturas (Silva et al., 2021a). Na maioria desses estudos foram empregadas culturas folhosas, mas diversos trabalhos têm sido realizados recentemente com diversas espécies, dos quais citam-se: quiabo (Modesto et al., 2019), couve-flor (Costa et al., 2020), pimenta ‘Biquinho’ (Bione et al., 2021), minimelancia (Ó et al., 2021), abobrinha (Dantas et al., 2022), entre outras.

Os efeitos da utilização dessas águas salobras no preparo das soluções nutritivas, mesmo em sistemas hidropônicos podem afetar não só a produção das plantas, mas atenuar ou mesmo melhorar as características visuais, bioquímicas e organolépticas dos produtos hidropônicos. Nesse contexto, este capítulo aborda as características físico-químicas e sazonalidade das águas encontradas na região Nordeste do Brasil e apresenta estratégias de utilização de águas salobras no cultivo hidropônico e seus efeitos na análise sensorial, qualidade visual e nutricional em diferentes culturas.

2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS ÁGUAS NO NORDESTE BRASILEIRO

Diversos aspectos relacionados aos recursos hídricos, a exemplo da composição físico-química, distribuição e disponibilidade, estão relacionados a problemas ambientais e

sociais, sobretudo no contexto do recorte semiárido brasileiro. Uma análise comparativa revela que as reservas brasileiras de água doce, que representam aproximadamente 12% do volume total mundial, não estão distribuídas de maneira uniforme. Por exemplo: na Região Amazônica, onde residem apenas 7% da população, detém-se 78% das águas superficiais brasileiras, enquanto a Região Nordeste possui 28% da população e 3% dessas águas (Lima et al., 2009), sendo a maior parte localizada na bacia do Rio São Francisco.

As barragens de águas superficiais são as mais utilizadas nos principais planos de ação contra as secas no Nordeste, correspondendo a 67% das soluções adotadas pelo governo. Em nível nacional, 43% de todos os municípios adotaram fontes de águas superficiais, enquanto 40% consomem água subterrânea e 17% abastecem seus sistemas com uma mistura de ambos (ANA, 2021). Em 2019, em estudo realizado pelo Instituto Trata Brasil, estimaram-se mais de 2,5 milhões de poços tubulares, sendo a maioria privado e 88% considerados desconhecidos por não ter sido incluído em nenhuma base do governo, que captam mais de 17.580 Mm³ por ano, em todo o país (Hirata et al., 2019).

Durante o processo hidrogeológico, as águas superficiais são abastecidas principalmente em decorrência das águas pluviais. No semiárido, as águas subterrâneas também são provenientes em parte das águas pluviais que infiltram e percorrem os sistemas interconectados de fendas, fraturas e descontinuidades da rocha, formando reservatórios descontínuos e com extensão limitada (Holanda et al., 2016). O uso de águas subterrâneas vem ganhando destaque devido à baixa vulnerabilidade à contaminação, quando comparadas com as águas superficiais (Coutinho et al., 2013). Em regiões áridas e semiáridas o uso de águas oriundas de poços pode ser a principal alternativa de consumo devido à escassez hídrica destas regiões.

A composição das águas superficiais e subterrâneas está diretamente relacionada com a hidrogeologia da região em estudo (Silva Júnior et al., 1999). Neste sentido, alguns parâmetros devem ser levados em consideração para a avaliação da qualidade da água usada para fins agrícolas, a saber: riscos de ocasionar problemas de salinidade, infiltração de água no solo e toxicidade de íons específicos (Ayers & Westcot, 1994). Nessas águas de diversas localidades do Nordeste observa-se elevado pH e teores de Ca²⁺, K⁺, Na⁺, Cl⁻ e HCO₃⁻, principalmente nas águas subterrâneas (Tabela 1).

As mudanças climáticas nos últimos anos têm causado transtornos ambientais, principalmente no aquecimento global. Entre as regiões mais susceptíveis, encontra-se a região semiárida. Nessa região, o baixo índice de precipitação média faz com que venha a ter um grande risco de desertificação, clima mais seco, com solos empobrecidos e menor diversidade biológica. Com a diminuição das chuvas, uma quantidade menor de água percola no solo, reduzindo a recarga dos lençóis freáticos e aumentando a concentração de sais presentes. A elevada salinidade dessas águas dificulta e muitas vezes torna inviável seu uso para atividades agrícolas. A partir daí, diversos estudos, com o uso de novas tecnologias vêm sendo realizados para tornar cada vez mais possível o uso racional dessas águas, minimizando seus efeitos potencialmente negativos.

Tabela 1. Composição química das águas superficiais (açudes) e subterrâneas (poços) de diversas localidades do semiárido brasileiro

Local	pH	CEa (dS m ⁻¹)	Cátions				Ânions				RAS ^o (mmol L ⁻¹) ^{0,5}	Classificação ^{**}
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻		
			(mg L ⁻¹)									
Águas superficiais												
1	6,7	1,7	178,0	51,6	ND	103,5	376,6	ND	317,2	2,9	2,3	C3-S1
2	7,9	2,4	142,0	93,6	8,58	237,8	675,9	22,8	19,5	140,2	2,9	C3-S1
3	8,3	1,4	7,8	4,7	22,6	207,2	120,7	9,0	143,3	0,48	9,3	C3-S1
4	8,2	0,5	25,0	18,1	9,7	59,1	102,2	6,9	117,7	4,32	2,1	C1-S2
5	7,6	0,2	26,0	8,4	10,9	7,13	5,3	ND	126,3	1,44	0,3	C1-S2
6	7,9	6,0	118,0	157,2	25,4	880,9	1828,3	6,0	170,8	ND	13,1	C4-S1
Águas subterrâneas												
7	6,6	0,3	45,6	24,1	16,3	21,8	95,3	ND	77,9	5,2	0,61	C1-S2
8	7,1	1,0	90,4	41,8	24,8	53,4	148,4	ND	455,6	27,8	1,46	C2-S1
9	7,6	0,7	69,4	42,2	14,8	55,1	112,7	ND	299,8	18,0	1,51	C3-S1
10	6,2	1,2	32,4	34	34,3	60,6	214,2	ND	57	54,6	1,58	C3-S1
11	7,3	2,1	100,8	177,9	13,2	159,1	744,6	ND	254,8	31,1	2,36	C3-S1
12	7,7	13,8	60,1	1146,0	10,5	1283,9	4893,0	82,1	755,0	137,6	53,6	C4-S4

CEa – Condutividade elétrica da água; * RAS^o – razão de adsorção de sódio corrigida, sugerida por Suarez (1981) e descrita por Silva et al. (2013); ND – valor não disponível; ** classificação da água para irrigação (Holanda et al., 2016); 1 – Açude no município de Quixeré – CE; 2 – Açude no município de Simão Dias – SE; 3 – Açude no município de Caicó – RN; 4 – Açude no município de Congo – PB; 5 – Açude no município de Canudos – BA; 6 – Rio Capiá – AL; 7 – Poço São Bento – CE; 8 – Poço Olho d'Água da Bica – CE; 9 – Poço Alto do Mendes – CE; 10 – Poço Lagoa do Meio – CE; 11 – Poço Várzea Grande – CE; 12 – Poço Sítio Angicos – RN. Elaborada com dados de Pereira et al. (1992), Moraes et al. (1998), Silva Júnior et al. (1999), Medeiros et al. (2003), Brito et al. (2005), Mendes et al. (2008), Lobato et al. (2008), Santiago et al. (2008), Fernandes et al. (2009), Barreto & Garcia (2010), Vieira et al. (2011), Medeiros et al. (2012), Silva Neta et al. (2013), Holanda et al. (2016), Lima (2020b), Monteiro et al. (2021) e Santos Júnior et al. (2021)

3 HIDROPONIA COM ÁGUAS SALOBRAS

3.1 Ordenamento energético – solo vs hidroponia

A hidroponia mostra-se um sistema de cultivo condizente para o uso de águas salobras (Atzori et al., 2019; Silva et al., 2020a; Bione et al., 2021), sendo possível o cultivo de diferentes espécies de plantas, como girassol (Santos Júnior et al., 2011; Maciel et al., 2012), coentro (Silva et al., 2015; Silva et al., 2016), alface (Cova et al., 2017; Silva et al., 2018a; Freitas et al., 2021; Silva et al., 2021b), pimentão (Furtado et al., 2017; Santos et al., 2018), manjerição (Santos, 2017; Gondim Filho et al., 2018), chicória (Alves et al., 2019; Silva et al., 2020b), quiabo (Modesto et al., 2019), couve-flor (Costa et al., 2020), pimenta ‘Biquinho’ (Bione et al., 2021), entre outras.

Neste sistema de cultivo, para o mesmo nível de salinidade da água a produtividade é mais elevada quando comparado ao cultivo em solo (Leal et al., 2020). Na hidroponia, leva-se em consideração a seguinte hipótese: não há potencial matricial quando as plantas são cultivadas diretamente em soluções nutritivas (Silva et al., 2020b). Portanto, anula-se o potencial

matricial, resultando efetivamente apenas no efeito do estresse osmótico (Silva et al., 2021a). No entanto, os sais estão prontamente disponíveis para ser absorvidos pelas plantas, o que aumenta a absorção e riscos de toxidez. No estudo de Leal et al. (2020), as plantas cultivadas sob hidroponia acumularam cinco vezes mais sódio que as plantas sob cultivo em solo. Também absorvem muito mais água, conseqüentemente, mais nutrientes; com isso, houve um maior crescimento das plantas, independente da salinidade. Em geral, a hidroponia tende a gerar maior produção absoluta, mas não necessariamente maior tolerância relativa aos sais. Em todo caso, são dois sistemas completamente distintos, e as comparações não levam em consideração diversos outros aspectos em relação ao solo, como a textura, teor de umidade, fertilidade, temperatura do substrato, condições ambientais, estratégia de cultivo, entre outros.

3.2 Sazonalidade das características físico-químicas das águas e os impactos nos cultivos hidropônicos

As águas salobras apresentam em sua composição diferentes íons, como mostrado na Tabela 2. Nesses estudos sob condições hidropônicas as águas salobras foram empregadas diretamente no cultivo (Silva et al., 2018a), diluídas em águas de chuva (Cavalcante, 2018; Furtado, 2019) e/ou misturadas com água dessalinizada do mesmo poço e seu rejeito da dessalinização (Santos et al., 2010; Santos et al., 2011; Silva et al., 2011; Bione et al., 2014).

Tabela 2. Composição química de águas salobras empregadas em cultivos hidropônicos.

pH	CEa	Cátions				Ânions				Fonte
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	
	dS m ⁻¹	mg L ⁻¹								
7,40	1,70	74,19	71,86	2,73	179,79	383,72	52,85	361,24	133,40	Santos et al. (2010) ¹
8,24	0,85	68,80	41,50	6,20	81,60	117,00	10,70	179,00	62,70 ²	Silva et al. (2018a)
7,75	2,62	162,00	88,60	ND	ND	722,00	18,90	144,00	86,20 ³	
7,15	2,51	291,00	97,70	87,50	212,00	568,00	0,00	262,00	219,00 ⁴	
7,27	7,62	1217,00	397,00	25,00	500,00	2575,00	0,00	354,00	217,00 ⁵	
7,70	0,96	72,40	9,11	14,86	90,62	227,59	0,00	79,94	ND	Xavier et al. (2018) ⁶⁽ⁱ⁾
7,40	1,00	39,60	22,84	16,03	107,87	227,94	0,00	76,88	ND	Xavier et al. (2019) ⁶⁽ⁱ⁾
8,24	29,15	410,00	1200,00	12,00	5500,00	ND	ND	ND	ND	Furtado (2019) ⁷⁽ⁱⁱ⁾

CEa – Condutividade elétrica da água; ¹ poço localizado na comunidade Poço do Boi, Ibimirim – PE, experimento realizado no mesmo local; ², ³, ⁴ e ⁵ respectivamente, poços localizados na UFRB (Cruz das Almas – BA), comunidade Caminhoá (Cruz das Almas – BA), comunidade Brito (Sapeçu – BA) e comunidade Ipiranga (Conceição do Coité – BA), experimento realizado na UFRB, Cruz das Almas – BA; ⁶ poço localizado na zona rural do município de Lagoa Seca – PB, experimentos realizados na UEPB, Lagoa Seca – PB; ⁷ água oriunda da barragem do Assentamento Vitória (Campina Grande – PB), experimento realizado no INSA, Campina Grande – PB; ⁽ⁱ⁾ e ⁽ⁱⁱ⁾ valores convertidos a partir das unidades originais em mmol_c L⁻¹ e g L⁻¹, respectivamente; ND – não disponível

Os estudos de Santos et al. (2010), Santos et al. (2011) e Silva et al. (2011) foram conduzidos na zona rural de Ibimirim – PE, município que faz parte do Semiárido brasileiro. Há uma forte sazonalidade no regime pluviométrico da região, alterando a composição química das

águas subterrâneas. Como pode ser visto nesses estudos, por exemplo, a análise química da água de poço foi realizada antes da implantação do experimento de Santos et al. (2010), registrando-se valor de CEa de 1,70 dS m⁻¹. Porém, quando o experimento foi realizado entre os meses de agosto e setembro de 2008, a CEa foi de 2,44 dS m⁻¹. Posteriormente, entre os meses de janeiro e fevereiro de 2009, o estudo de Silva et al. (2011) foi realizado com água do mesmo poço, registrando-se valor de CEa de 3,51 dS m⁻¹. Por fim, Santos et al. (2011) registraram uma CEa de 2,47 dS m⁻¹ em estudo conduzido entre os meses de agosto e setembro de 2009. Os últimos dois estudos foram realizados em sequência ao primeiro estudo; assim, as análises químicas das águas não foram realizadas.

Esta sazonalidade na composição química das águas utilizadas no cultivo hidropônico foi registrada em outros estudos na Paraíba. Em estudos com o pimentão, Cavalcante (2018) e Furtado (2019) utilizaram água com CE de 29,15 dS m⁻¹ após diluição, oriunda de uma barragem localizada no Assentamento Vitória, Campina Grande – PB. Essa água foi misturada com água de chuva, reduzindo para uma CE de até 10,2 dS m⁻¹ no primeiro estudo (realizado entre os meses de agosto e novembro de 2016) e de 3,0 dS m⁻¹ no segundo estudo (realizado entre os meses de novembro de 2017 e março de 2018).

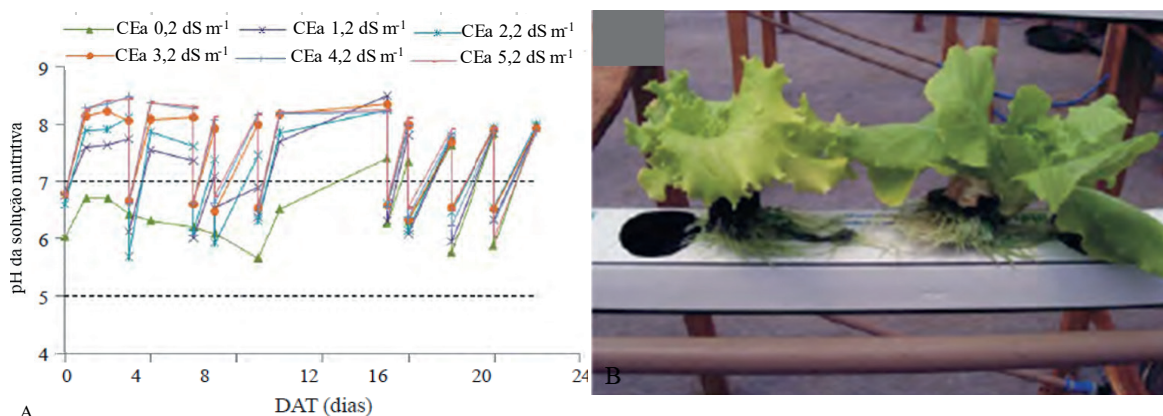
Em tais estudos as águas foram coletadas após seis meses sem ocorrência de chuvas. Anteriormente, em estudo conduzido por Santos Júnior, J. A. et al. (2023) entre os meses de julho e agosto de 2013, a CE da água dessa mesma barragem foi de 9,93 dS m⁻¹.

Assim como nos estudos de Cavalcante (2018) e Furtado (2019), essa água foi misturada com água de chuva em diferentes proporções (v/v) para o cultivo do coentro. Em geral, nesses estudos não foram registrados quaisquer sintomas de toxicidade no pimentão (plantas e frutos) e no coentro.

Ao se fazer o uso de águas salobras no cultivo hidropônico, sua composição química deve ser determinada e, não tomar como base para uso apenas medições da CEa. Esta observação reforça os resultados encontrados no estudo de Santos et al. (2010), os quais registraram em cultivo com alface elevados valores de pH das soluções nutritivas (fora da faixa ideal para o cultivo hidropônico: valores recomendados entre 5,5 e 6,5) (Figura 1A), atribuído a presença de carbonatos (CO₃²⁻) e bicarbonatos (HCO₃⁻) na água, como mostrado na Tabela 2. Portanto, os autores sugeriram a necessidade de tratamento prévio do pH da água subterrânea mediante neutralização do CO₃²⁻ e HCO₃⁻. Adicionalmente, registraram-se deposição de sais nas raízes das plantas (Figura 1B) devido à ocorrência de precipitados (CO₃²⁻ e HCO₃⁻) na solução.

O uso de águas salobras, em certos casos, proporciona a ocorrência de danos visuais e, além disso, perdas de biomassa que limitam o uso comercial das culturas. Estes resultados podem ser verificados em estudos sob cultivo em sistema hidropônico NFT (técnica do fluxo laminar de nutrientes); por exemplo, Silva et al. (2011) verificaram que a clorose, mais predominante nas bordas, foi o sintoma mais aparente nas plantas da rúcula quando expostas aos níveis de CEa de 4,2 e 5,2 dS m⁻¹. Por outro lado, utilizando a água do mesmo poço apenas na reposição do consumo hídrico das plantas de alface, Santos et al. (2011) não registraram quaisquer sintomas, nem redução na biomassa da parte aérea sob CEa de 2,47 dS m⁻¹.

Figura 1. Valores de pH das soluções nutritivas durante o ciclo de alface sob diferentes níveis de condutividade elétrica da água – CEa (A) e deposição de sais precipitados nas raízes das plantas (B) Fonte: Santos et al. (2010)



3.3 Impacto da predominância catiônica das águas salobras em cultivos hidropônicos

Em grande parte dos estudos envolvendo o uso de águas salobras sob condições hidropônicas, as águas foram produzidas artificialmente, ou seja, águas frescas foram salinizadas mediante a adição controlada de NaCl (Silva et al., 2015; Silva et al., 2018b; Costa et al., 2020; Bione et al., 2021). Atribui-se a essa escolha, a verificada predominância de íons de Na⁺ e Cl⁻ nas águas salobras caracterizadas, sobretudo naqueles cujos poços catalogados, estão situados no embasamento cristalino, dentro do recorte semiárido brasileiro (Santos Júnior et al., 2021).

Não obstante, a prevalência de outros cátions também verificada nas águas salobras, mesmo que em menor escala, foi representada em alguns trabalhos sob condições hidropônicas (Martins et al., 2019; Batista et al., 2021; Cruz et al., 2021; Muchecua et al., 2022; Navarro et al., 2022; Silva et al., 2023), os quais, além do NaCl, testaram a predominância de outros cátions nas águas salobras utilizadas no preparo das soluções nutritivas e, neste caso, as águas frescas foram salinizadas com a adição controlada de sais como CaCl₂, MgCl₂ e KCl, de forma combinada e/ou isolada.

Nesta direção, dois experimentos foram realizados por Martins et al. (2019), em que plantas de salsa foram submetidas a seis níveis de CEa (entre 0,12 – controle e 5,12 dS m⁻¹) induzidos isoladamente pelos sais NaCl, CaCl₂, MgCl₂ ou KCl. No primeiro experimento (estação da primavera) as águas salobras foram usadas apenas para o preparo das soluções nutritivas e a reposição do consumo hídrico das plantas foi feita com água de abastecimento (CEa 0,12 dS m⁻¹); no segundo experimento (estação do verão), as águas salobras foram usadas para o preparo das soluções e a reposição do consumo hídrico das plantas.

De acordo com os resultados encontrados por Martins et al. (2019), no primeiro experimento houve interação significativa entre os níveis de salinidade e a natureza catiônica das águas. Registraram-se maiores perdas de massa fresca da parte aérea (MFPA) sob indução da salinidade pelos sais CaCl₂ e MgCl₂, quando as plantas foram submetidas ao

tratamento sob maior salinidade (CEa 5,12 dS m⁻¹, correspondendo a uma CE da solução nutritiva – CEsol de 6,7 dS m⁻¹), em que as produtividades relativas não ultrapassaram 40%. Já no segundo experimento, os efeitos dos sais de diferentes naturezas catiônicas foram menos pronunciados, quando os valores de MFPA variaram entre 30,47 g maço⁻¹ (sob CaCl₂) e 31,88 g maço⁻¹ (sob NaCl). Independentemente do tipo do sal utilizado, sob maior salinidade (CEsol 6,7 dS m⁻¹) a MFPA foi 4,6% menor em comparação ao tratamento controle (CEsol 1,7 dS m⁻¹).

As espécies de plantas respondem de forma diferenciada ao estresse salino induzido por diferentes tipos de sais. Exemplo disso pode ser visto na Tabela 3 em estudo realizado por Silva et al. (2023) com o coentro cultivado em sistema hidropônico NFT. Sob CEa de 6,5 dS m⁻¹ induzida pelos sais NaCl, CaCl₂, MgCl₂ ou KCl em combinação e/ou isolados, independentemente do tipo dos sais, as produções de MFPA para um maço composto por 6 plantas foram estatisticamente iguais. À medida que se aumentaram o número de plantas por maço, os valores médios de MFPA se diferenciaram estatisticamente de acordo com o tipo de sal utilizado. Por exemplo, para maços formados com 30 plantas registraram-se produção de MFPA de apenas 18,51 g quando se utilizou MgCl₂ como fonte para salinização da água (CEa 6,5 dS m⁻¹), enquanto para o tratamento controle sem estresse salino (CEa 0,25 dS m⁻¹) a MFPA foi de 77,16 g maço⁻¹. É importante ainda destacar os benefícios quando se aumentaram o número de plantas por maço para compensar as perdas ocasionadas pelo estresse salino, por exemplo, sob CEa de 6,5 dS m⁻¹ produzida pela combinação dos sais NaCl + CaCl₂ + KCl (em proporções equivalentes 7:2:1, em base de massa), registraram-se MFPA de 46,42 g para um maço com 30 plantas, valor este comparável com aquele obtido no tratamento controle para um maço com 6 plantas (47,03 g).

Tabela 3. Massa fresca da parte aérea do coentro cultivado hidroponicamente usando densidades de plantas variáveis e águas salobras de diferentes naturezas catiônicas no preparo das soluções nutritivas.

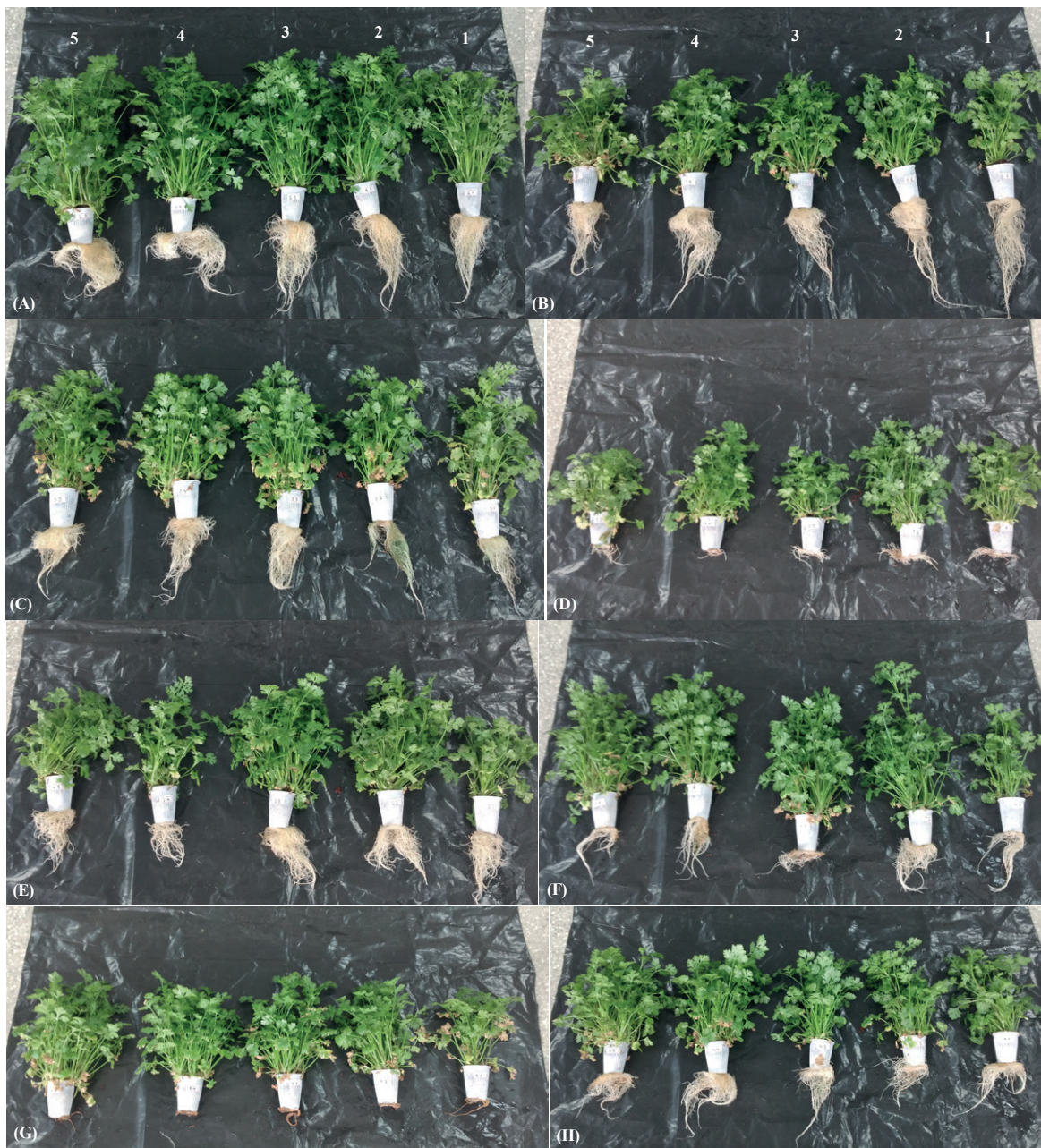
Natureza catiônica	Número de plantas por unidade de cultivo*				
	6	12	18	24	30
Controle (CEa 0,25 dS m ⁻¹)	47,03a	64,90a	70,56a	72,44a	77,16a
NaCl (CEa 6,5 dS m ⁻¹)	15,81b	26,08b	24,73c	24,73c	30,66c
KCl (CEa 6,5 dS m ⁻¹)	26,78b	33,02b	34,14b	36,99b	37,86c
MgCl ₂ (CEa 6,5 dS m ⁻¹)	19,17b	16,06c	25,60c	24,20c	18,51d
CaCl ₂ (CEa 6,5 dS m ⁻¹)	21,18b	27,48b	32,25b	25,17c	31,99c
NaCl + CaCl ₂ + MgCl ₂ (7:2:1 [#] CEa 6,5 dS m ⁻¹)	26,68b	34,78b	32,05b	30,01c	32,24c
NaCl + CaCl ₂ + KCl (7:2:1 [#] CEa 6,5 dS m ⁻¹)	22,35b	29,69b	26,93c	28,55c	46,42b
NaCl + CaCl ₂ + MgCl ₂ + KCl (7:2:0,5:0,5 [#] CEa 6,5 dS m ⁻¹)	24,20b	32,61b	35,81b	35,92b	37,76c

CEa – Condutividade elétrica da água; * nas colunas as médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p = 0,05$); [#] proporções equivalentes em base de massa. Fonte: Silva et al. (2023)

Quanto aos aspectos visuais das plantas de coentro produzidas sem estresse salino e com salinidade da água de 6,5 dS m⁻¹ preparada a partir de sais de diferentes naturezas catiônicas (Figura 2), Silva et al. (2023) registraram necrose nas folhas mais velhas das

plantas, sintomas estes que variaram conforme o tipo de sal empregado para o preparo da água salobra, bem como em função do número de plantas por maço.

Figura 2. Aspecto visual de plantas do coentro cultivado em condições hidropônicas aos 25 dias após o transplantio, sem estresse salino – CEa de $0,25 \text{ dS m}^{-1}$ (A) e água com CE de $6,50 \text{ dS m}^{-1}$ preparada com NaCl (B), KCl (C), MgCl_2 (D), CaCl_2 (E), NaCl + CaCl_2 + MgCl_2 nas proporções 7:2:1 em base de massa (F), NaCl + CaCl_2 + KCl nas proporções 7:2:1 em base de massa (G) e NaCl + CaCl_2 + MgCl_2 + KCl nas proporções 7:2:0,5:0,5 em base de massa (H)



1, 2, 3, 4 e 5 – maços formados por 6, 12, 18, 24 e 30 plantas, respectivamente. Fonte: Silva et al. (2023)

Em estudo realizado por Batista et al. (2021) com o tomateiro em hidroponia NFT, utilizaram-se água salobra ($CEa=1,8 \text{ dS m}^{-1}$) de poço artesiano. Estudaram-se cinco níveis de $CEsol$, quais sejam: 2,5 (controle); 4,0; 5,5; 7,0 e 8,5 dS m^{-1} , após a dissolução dos nutrientes na água salobra. A partir do segundo nível de $CEsol$, nas soluções nutritivas misturaram-se os sais $NaCl$, $CaCl_2$ e $MgCl_2$ na proporção 7:2:1 (em base de massa). Conforme os resultados registrados pelos autores, estimaram-se massa fresca de frutos de 392,40 e 411,23 g planta^{-1} para as cultivares ‘Samambaia’ e ‘Tomate Vermelho’ sob os níveis de $CEsol$ de 4,75 e 3,77 dS m^{-1} , respectivamente. Ainda que, para níveis mais elevados de salinidade, as produções de frutos sob valores de $CEsol$ estimados em 7,0 e 5,0 dS m^{-1} para as cultivares ‘Samambaia’ e ‘Tomate Vermelho’, respectivamente, foram comparáveis com o controle. Portanto, mesmo com a incorporação de sais ($NaCl$, $CaCl_2$ e $MgCl_2$) em uma água já salobra, até esses últimos níveis de $CEsol$, as produções de frutos do tomateiro não foram afetadas pela salinidade das soluções nutritivas.

3.4 Estratégias empregadas para o uso de águas salobras em cultivos hidropônicos

A depender da disponibilidade dos recursos hídricos (fresca e/ou salobra), três principais estratégias têm sido empregadas no cultivo de várias espécies de plantas em condições hidropônicas, quais sejam: uso exclusivo de águas salobras, tanto para o preparo das soluções nutritivas como para reposição do consumo hídrico das plantas (Lira et al., 2018; Silva et al., 2018b; Alves et al., 2019; Martins et al., 2019; Silva et al., 2020b; Souza et al., 2020a); águas salobras usadas apenas para reposição do consumo hídrico das plantas (Soares et al., 2010; Alves et al., 2011; Silva et al., 2015; Silva et al., 2022) ou apenas para o preparo das soluções nutritivas (Soares et al., 2015; Campos Júnior et al., 2018; Silva Júnior et al., 2019; Costa et al., 2020).

Dentre as estratégias mencionadas, os resultados que implicaram em menor dano salino foram verificados sob o uso de água doce no preparo das soluções nutritivas e águas salobras na reposição do consumo hídrico das plantas. Por exemplo, nos estudos de Alves et al. (2011) com alface, Silva et al. (2015) com o coentro e Silva et al. (2022) com a rúcula, que utilizaram como estratégia águas doces para o preparo das soluções e águas salobras para reposição do consumo hídrico das plantas, os quais registraram que não houve diferença significativa nas produções de MFPA dessas culturas. Portanto, quando possível, a combinação de águas doces e salobras em condições hidropônicas, essa tem sido a melhor estratégia.

Ao adotarem estratégia similar, Silva et al. (2022) registraram diferenças significativas nas produções de MFPA do coentro aos 10, 20 e 25 dias após o transplantio (DAT), com produtividades relativas de aproximadamente 80, 93 e 88%, respectivamente, sob CEa de 6,5 dS m^{-1} em comparação ao tratamento controle (sem estresse salino – CEa de 0,3 dS m^{-1}). Já aos 15 DAT, não houve diferença significativa. Portanto, nos primeiros 10 dias houve um maior prejuízo nas plantas, apesar do baixo aporte de sais oriundos da água salobra em

detrimento do baixo consumo de água pelas plantas nessa fase de cultivo. Posteriormente, mesmo com o aumento gradual da CEsol pelo aporte de sais, as plantas acumularam biomassa em maiores taxas do que no período inicial de crescimento.

Portanto, pode não ser viável comercialmente fazer a alternância do uso de água fresca e salobra de acordo com o estágio de crescimento das culturas, pois se fazem necessárias trocas das soluções nutritivas, aumentando assim, os custos de produção com os sais nutrientes. Esse comentário pode não ser válido para todas as culturas produzidas hidroponicamente, sendo voltado para o cultivo das hortaliças folhosas. Em geral, os ciclos de cultivo das hortaliças folhosas são curtos, variando entre 25 e 30 dias. Nesse caso, sem considerar a fase de berçário, quando as mudas são produzidas usando água de baixa salinidade.

Em geral, dentre as estratégias para o uso de águas salobras em condições hidropônicas, quando empregadas em todo o processo produtivo (uso exclusivo), registraram-se maiores reduções no rendimento das plantas (Alves et al., 2011; Soares et al., 2015; Silva Júnior et al., 2019). Apesar das maiores reduções no rendimento das culturas, o uso exclusivo dessas águas pode ser feito; porém, deve-se ter maior cuidado no verão. Conforme Silva et al. (2021a), com as altas temperaturas, o efeito da salinidade é potencializado, pois, devido à alta demanda evapotranspirométrica, ocorre aumento significativo da absorção de água e de íons oriundos das águas salobras.

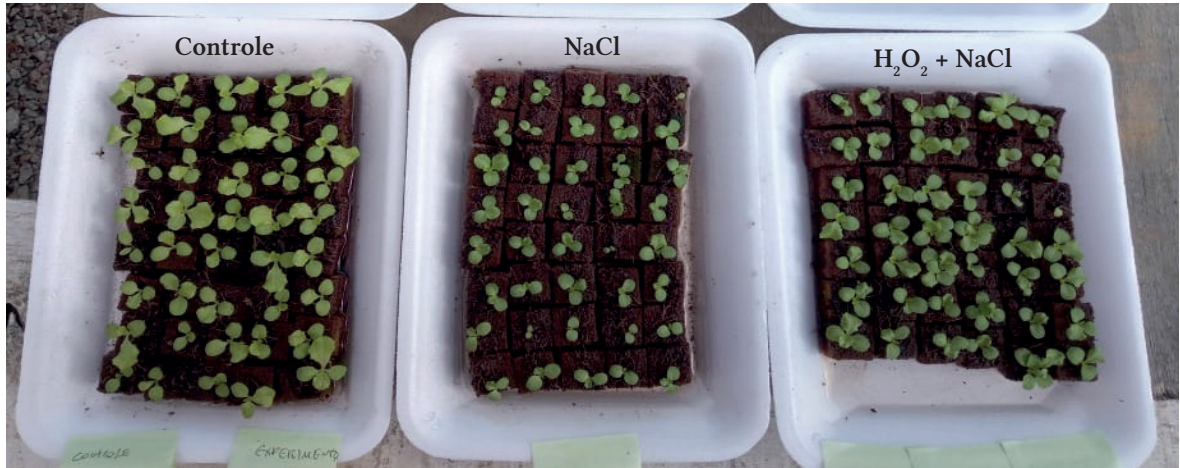
Como forma de mitigar os efeitos da salinidade, em estudos recentes realizados por (Silva et al.) com alface (Figura 3A) e por Cova, A. M. W. (informação pessoal) com couve-folha (Figura 3B), já na fase de berçário as plantas foram submetidas ao estresse salino logo após a germinação. Para isso, as sementes foram tratadas inicialmente com peróxido de hidrogênio (H_2O_2) nas concentrações de 0,1 a 100 mM por 12, 24 e 36 h. Portanto, essa técnica pode ser bastante promissora quando a única fonte hídrica disponível for salobra para uso em todo o processo produtivo.

3.5 Respostas das plantas à salinidade: antagonismo iônico e desequilíbrio nutricional

Como já mencionado, as plantas cultivadas sob condições hidropônicas utilizando águas salobras no preparo das soluções nutritivas podem apresentar melhores respostas em relação às plantas cultivadas em solo quando irrigadas com águas de mesma salinidade. Apesar dos benefícios, quando se empregam águas salobras nesse sistema de produção, a depender da concentração e tipos de sais presentes nessas águas, assim como no solo, o cultivo pode ser inviabilizado. Isso porque, certos íons em altas concentrações podem alterar o equilíbrio iônico no meio de cultivo (solução nutritiva). Portanto, as águas salobras podem promover precipitação de sais e alterações no pH das soluções como mostrado nas Figuras 1B e 1A, respectivamente (Santos et al., 2010), como também interações antagonicas entre íons no processo de absorção de água pelas raízes (Santos et al., 2017). Assim, podendo causar um desequilíbrio nutricional em função da alta concentração de certos íons na solução nutritiva, inibindo a absorção de outros cátions pelo Na^+ (Soares et al., 2016).

Figura 3. Mudanças de alface (A) e couve-folha (B) com 7 e 15 dias de semeadura, respectivamente, com sementes pré-tratadas com peróxido de hidrogênio (0,1; 1,0; 10 e 100 mM) por diferentes tempos de embebição (12, 24 e 36 horas), posteriormente expostas à salinidade de ~ 5,0 dS m⁻¹ (50 mM de NaCl)

A



B



O K⁺ é o nutriente essencial catiônico absorvido em maior quantidade pelas plantas. Entretanto, sua absorção pode ser afetada em condições salinas, isso devido a competição entre os íons K⁺ e Na⁺ pelos mesmos transportadores na membrana plasmática. Nestas condições, os íons de Na⁺ tendem a substituir os íons de K⁺ nos sítios de absorção (Sperling et al., 2014). Sob condições hidropônicas usando águas salobras, relação inversa entre o K⁺ e o Na⁺ foi observada em plantas de alface (Soares et al., 2016; Cova et al., 2017), manjeriço (Santos, 2017) e cebolinha (Souza et al., 2020b).

Portanto, o aumento da concentração de Na⁺ na solução nutritiva pode favorecer sua absorção em detrimento à do K⁺, o que pode afetar o crescimento das plantas, especialmente aquelas mais sensíveis a salinidade. A razão Na⁺/K⁺ tem sido adotada em vários estudos como indicadora do antagonismo entre esses íons (Cova et al., 2017; Silva et al., 2021b; Muchecua

et al., 2022). A razão $\text{Na}^+/\text{K}^+ \leq 1,0$ (base mmol g^{-1} massa seca) é considerada ótima para a eficiência metabólica (Greenway & Munns, 1980).

No estudo de Cova et al. (2017) com alface submetida a CEsol de $7,25 \text{ dS m}^{-1}$ (preparada em água com CE de $5,3 \text{ dS m}^{-1}$) em sistemas hidropônicos (NFT e DFT – técnica do fluxo profundo) e frequências de circulação da solução, registraram valores da razão $\text{Na}^+/\text{K}^+ \geq 1,0$ (variando entre 1,30 e 1,65). Isso explica parcialmente a redução no crescimento das plantas de alface. Assim, para uma possível redução da razão Na^+/K^+ para valores menores que 1, deve-se aumentar a concentração de K^+ na solução nutritiva, reduzindo a competição entre os íons. No estudo de Muchecua et al. (2022) com águas salobras preparadas com NaCl, registraram-se valores da razão $\text{Na}^+/\text{K}^+ \leq 1,0$ (variando entre 0,48 e 0,92) quando as plantas de salsa foram submetidas aos níveis de CEa entre 1,12 e $3,12 \text{ dS m}^{-1}$ (correspondendo aos níveis de CEsol variando de 2,7 a $4,7 \text{ dS m}^{-1}$). Já para os maiores níveis de CEa (4,12 e $5,12 \text{ dS m}^{-1}$, correspondentes aos níveis de CEsol de 5,7 e $6,7 \text{ dS m}^{-1}$), registraram-se valores da razão $\text{Na}^+/\text{K}^+ \geq 1,0$ (variando entre 1,14 e 1,36). As águas salobras foram utilizadas em todo o processo produtivo.

Portanto, conforme os resultados desses estudos, o acúmulo de Na^+ no tecido foliar das plantas, além da concentração de sais em que são submetidas, depende também da espécie. Por exemplo, no estudo de Silva et al. (2019) o conteúdo de Na^+ em folhas de manjeriço sob salinidade (80 mM NaCl na solução nutritiva, por 25 dias) não diferenciou estatisticamente do controle (0 mM NaCl). No caule das plantas, o conteúdo de Na^+ sob salinidade foi substancialmente maior do que nas folhas. Portanto, essa retenção de Na^+ nos tecidos do caule representou um mecanismo de tolerância aos sais, aliviando a toxicidade deste íon nos tecidos fotossinteticamente ativos das folhas. Ainda de acordo com os autores, houve redução no conteúdo de K^+ nas folhas sob salinidade, porém com valores acima da faixa normal para o cultivo dos vegetais, indicando que a redução na produção de massa seca induzida pelo estresse salino não foi por conta de distúrbios na nutrição de K^+ .

Cabe ainda ressaltar as estratégias adotadas para atenuar o estresse salino, por exemplo, no estudo de Freitas et al. (2019) quando as plantas de alface foram submetidas ao estresse salino (40 mM NaCl na solução nutritiva) e tratadas com aplicações foliares de enxofre (1,5 ou $3,0 \text{ g L}^{-1}$), a razão Na^+/K^+ foi menor que 1 (aproximadamente 0,8, com base nos teores em mg g^{-1} de massa seca). Já no tratamento com NaCl e sem a aplicação de enxofre, a razão Na^+/K^+ foi de aproximadamente 1,15. Ainda de acordo com os autores, isso ocorreu como consequência da pulverização foliar com enxofre, que reverteu parcialmente o acúmulo de Na^+ e a redução de K^+ causado pelo estresse salino. Portanto, os resultados mostraram que a fertilização com o enxofre nas folhas de alface também diminui a absorção de elementos tóxicos, como o Na^+ , que são prejudiciais às plantas. Esta homeostase de K^+ induzida pela fertilização com o enxofre é um mecanismo relevante para a tolerância de plantas de alface ao estresse salino.

No estudo de Silva et al. (2020c), as plantas de girassol foram tratadas com H_2O_2 . Sob salinidade (100 mM NaCl na solução nutritiva e 1 mM H_2O_2 com pulverização nas folhas), o

conteúdo de Na^+ (mmol g^{-1}) nas folhas do girassol foi em média 40% menor em comparação com as plantas sem tratamento com H_2O_2 . Quanto ao K^+ (mmol g^{-1}), nas plantas tratadas com o H_2O_2 houve um aumento no conteúdo desse íon nas folhas em 59% (35 dias de cultivo) em comparação com as plantas sem tratamento.

4 QUALIDADE DE HORTALIÇAS PRODUZIDAS COM ÁGUAS SALOBRAS

A qualidade dos alimentos produzidos pela agricultura, independente da forma de cultivo, é fundamental para o sucesso de qualquer sistema de cultivo, principalmente para os dias atuais com consumidores cada vez mais exigentes. Entre os diferentes sistemas, a hidroponia destaca-se por apresentar maior produtividade, alta qualidade dos alimentos e precocidade quando comparada ao cultivo em solo. No entanto, a depender da concentração e tipos de sais presentes nas águas utilizadas no preparo das soluções nutritivas hidropônicas, pode-se afetar a qualidade visual, sensorial e nutricional das plantas. Conforme abordado por Rouphael et al. (2018), o manejo nutricional e da salinidade em hortaliças pode melhorar a qualidade dos produtos e conteúdo de compostos fitoquímicos, agregando valor econômico e nutricional aos produtos cultivados sob estresse salino.

4.1 Qualidade visual

A qualidade visual de um determinado produto é extremamente importante para atrair o consumidor, podendo ser avaliado pelas características físicas como textura, comprimento longitudinal e transversal dos frutos, massa fresca e seca, número e tamanho das folhas, área foliar, porcentagem de frutos comercializáveis e não-comercializáveis, entre outras.

Os produtos hidropônicos, normalmente, apresentam boas características visuais, mas sob condições de estresse salino elevado se verifica, em certos níveis, o comprometimento do desenvolvimento e produção das plantas. Os principais danos visuais causados pela salinidade são: redução da biomassa, os distúrbios nutricionais e toxidez.

A redução no desenvolvimento das plantas sob estresse salino, em diferentes sistemas de cultivos hidropônicos, tem sido reportada em diversas culturas, entre elas: coentro (Silva et al., 2016), alface (Cova et al., 2017), pimentão (Furtado et al., 2017; Santos et al., 2018), rúcula (Campos Júnior et al., 2018), manjerição (Gondim Filho et al., 2018), chicória (Alves et al., 2019), agrião e couve chinesa (Lira et al., 2019), cebolinha (Silva Júnior et al., 2019), couve-flor (Costa et al., 2020), entre outras. Portanto, a aceitação pelos consumidores desses produtos quando comercializado *in natura* pode diminuir decorrente, principalmente do aspecto visual das plantas afetadas pela salinidade. Dessa forma, é necessário conhecer a salinidade limiar das culturas, principalmente em plantas hortícolas, de modo que não comprometa a comercialização, que comumente são vendidas *in natura*.

Outros efeitos da salinidade nas plantas hidropônicas são causados pelos íons sódio e cloreto, como foi observado por Soares et al. (2016) sintomas de toxidez em plantas de alface sob sistema NFT com CEa de $5,2 \text{ dS m}^{-1}$, comprometendo a comercialização. No entanto, em coentro sob níveis de salinidade de até $8,53 \text{ dS m}^{-1}$ com dois níveis de disponibilidade de solução nutritiva (2,75 e $5,50 \text{ L}$ por maço de 24 plantas) e quatro níveis de condutividade elétrica da água (CEa): 0,43 (testemunha); 3,09; 6,87 e $8,53 \text{ dS m}^{-1}$ não se comprometeu a comercialização por não causar quaisquer sintomas de distúrbios fisiológicos e desequilíbrio nutricional (Silva et al., 2015).

Em alface cultivado em sistema DFT e diferentes frequências de recirculação da solução nutritiva, a concentração de sódio na solução nutritiva não afetou a aparência do produto sob CEa de $5,3 \text{ dS m}^{-1}$ (Viana et al., 2018). Para a chicória também não foi observada alteração visual na coloração quando aumentou a CEsol de 2,57 até $7,35 \text{ dS m}^{-1}$, mas os níveis de CEsol elevados ($5,94$ e $7,35 \text{ dS m}^{-1}$) diminuíram o porte das plantas (Alves et al., 2019). Em manjerição hidropônico utilizando a CEa de até $8,48 \text{ dS m}^{-1}$ para o preparo das soluções nutritivas, apesar de reduzir as massas fresca e seca, não houve sintomas que compromettesse a sua comercialização (Bione et al., 2014).

No cultivo de couve-folha, a salinidade de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$ não afetou a qualidade comercial (aparência do produto), mas foram observadas reduções de 7,29 e 11,34% na massa fresca acumulada e área foliar aos 105 dias após tratamentos, segundo Viana (2017). Naquele estudo, a redução dessas variáveis importantes para a comercialização da couve-folha pode ser compensada pelo aumento do número de plantas por área (reduzindo o espaçamento entre plantas e/ou entre fileiras).

No estudo de Sarmento et al. (2014) com duas cultivares de alface (Verônica e Quatro Estações) cultivadas em sistema hidropônico utilizando fibra de coco e expostas a concentrações de águas salobras (provenientes de rejeito de dessalinizador), registraram que a cv. Quatro Estações foi classificada como 'ótima', para as variáveis cor, presença de insetos e manchas tanto na colheita como após três dias de conservação. Para cv. Verônica, após o período de conservação foi classificada 'bom' quanto a cor e presença de manchas, nas salinidades de $5,7$ e $2,4 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente. Segundo esses autores, a classificação da cv. Verônica foi decorrente ao menor conteúdo de clorofila e a menor tolerância a salinidade.

Em minimelancia cv. Sugar Baby sob sistema hidropônico DFT utilizando soluções nutritivas com condutividades elétricas variando de $2,5$ a $6,5 \text{ dS m}^{-1}$, as reduções na massa do fruto, espessura da casca e circunferência transversal do fruto foram de 5,70; 8,86 e 2,94% por incremento unitária da salinidade, representando para a massa do fruto variação de $1,74 \text{ kg}$ ($2,5 \text{ dS m}^{-1}$) e $1,25 \text{ kg}$ no nível mais elevado ($6,5 \text{ dS m}^{-1}$) (Ó et al., 2021).

Para a mesma cultivar e níveis de salinidade sob cultivo fertigado e utilizando como substrato a fibra de coco, as reduções foram de 4,28, 8,14, 2,23 e 5,0% por aumento unitário da salinidade para as massas do fruto, massa da casca e circunferência longitudinal e transversal, respectivamente (Ó et al., 2020).

A redução da massa do fruto de minimelancia pode ser considerada até uma característica desejável devido à redução do número de pessoas por família e facilidade de transporte.

Dessa forma, os níveis de salinidade (CEsol 2,5 a 6,5 dS m⁻¹) não comprometeram a comercialização, mas a redução da espessura e massa da casca do fruto requerem mais cuidados no transporte e manuseio dos frutos que foram considerados redondos (Ó et al., 2020). Em ambos os estudos, os frutos foram considerados redondos, sendo uma característica atrativa ao consumidor frutos esféricos. Segundo Kyriacou et al. (2018), as condições ambientais e as práticas de manejo pouco afetam o formato dos frutos, sendo determinado pelo fator genético.

Em outras culturas também foram observadas reduções do tamanho dos frutos com o aumento da salinidade das soluções nutritivas. Em pimenta 'Biquinho' cultivada em sistema hidropônico NFT foram observadas reduções na massa dos frutos de 26,67% com CEsol variando entre 2,70 e 7,77 dS m⁻¹ (Bione et al., 2021). Nesse estudo, não foram observados sintomas de toxidez ou de deficiência nutricional, nem a podridão apical, comumente relatado em plantas sob condições de estresse salino (Bione, 2017).

Em pimentão também em sistema NFT com CEa variando de 0,29 a 7,09 dS m⁻¹ foram observadas reduções de 10,50% na massa dos frutos por planta com o acréscimo de salinidade (Santos et al., 2018). No tomate cereja, quando aumentou a CEsol de 3,0 até 10,40 dS m⁻¹, também foram observadas reduções na massa fresca e seca e diâmetro transversal dos frutos (Santos et al., 2016).

Apesar dos estudos apresentados terem efeitos negativos na qualidade visual com o aumento da salinidade na solução nutritiva, estas respostas das plantas não ocorrem para todas as culturas e genótipos, a exemplo do manjeriço e pimenta 'Biquinho'. No manjeriço o aumento da salinidade da solução nutritiva em sistema hidropônico também pode melhorar a qualidade de armazenamento. Segundo Bekhradi et al. (2015), o aumento da salinidade (CEsol 8,62 dS m⁻¹) reduziu a qualidade comercial pelo escurecimento das folhas do manjeriço Green Iranian após sete dias de armazenamento a 12 °C, enquanto sob CEsol de 1,23 dS m⁻¹ com apenas cinco dias as plantas perderam a qualidade comercial. Para o manjeriço Purple Iranian não foram observadas diferenças com a salinidade, preservando a qualidade do produto. Para a pimenta 'Biquinho', os níveis de CEsol de 4,58 até 7,70 dS m⁻¹ proporcionaram frutos sem fissuras cuticulares, ao contrário das observadas nas CEsol 2,70 e 3,64 dS m⁻¹ (Bione, 2017). Com base nos resultados desses estudos, a utilização de águas salobras nos sistemas hidropônicos até determinado nível de salinidade afeta a produção sem apresentar necrose decorrente a salinidade, sendo um dos principais danos visuais que pode afetar a comercialização.

4.2 Conteúdo nutricional

A cada dia as pessoas estão buscando por hábitos alimentares mais saudáveis, decorrentes das diversidades de enfermidades causadas por uma alimentação desequilibrada. Assim, a demanda por alimentos que tenham qualidade nutricional e higiênica são cada vez mais crescentes. Portanto, algumas práticas de cultivo e tratamentos pré-colheitas vem sendo realizados para melhorar a produção de compostos bioativos nos alimentos (Rouphael et al., 2018). Neste contexto, o cultivo hidropônico pode minimizar os impactos ambientais quando

utiliza água salobra, por exemplo, e potencializar a produção de alimentos com qualidade sanitária e, principalmente nutricional para um consumidor cada vez mais exigente.

Estudos têm apresentado resultados satisfatórios para algumas culturas sob condições hidropônicas com soluções nutritivas preparadas com águas salobras ou aumento da CEsol com adição de sais. Os teores de vitamina C aumentaram em 0,043% por incremento unitário da salinidade em cultivares de alface crespa utilizando o sistema hidropônico NFT com o aumento da CEsol entre 2,4 e 4,9 dS m⁻¹, sendo os maiores teores observados nas cultivares Cristina e Veneranda, com médias de 54,80 e 56,17 mg 100g⁻¹, respectivamente em relação a cv. Elba (Xavier et al., 2021).

Também foram observados com o aumento da salinidade da solução nutritiva, preparada com água de rejeito de dessalinizadores, nas cultivares de alface Verônica e Quatro Estações, maiores teores de vitamina C com CEsol variando de 1,1 a 5,7 dS m⁻¹ (Sarmiento et al., 2014). Dessa forma, observa-se que as cultivares de alface foram influenciadas pela salinidade da solução nutritiva.

Em pimentão sob sistema hidropônico com perlita o teor de fenóis totais, carotenoides e atividade antioxidante lipofílica aumentaram, especialmente quando o estresse salino (CEsol 4,0 dS m⁻¹) foi induzido pela adição de NaCl na solução nutritiva, em relação ao mesmo nível de salinidade induzida pelos nutrientes (Giuffrida et al., 2014). Nesse estudo, também aumentou o teor de vitamina C em 30 e 9% com a salinidade dos nutrientes e NaCl, respectivamente. Dessa forma, para o pimentão o tipo do sal na solução nutritiva influencia os teores de compostos bioativos do produto.

O teor de óleo essencial também tem sido avaliado em sistema hidropônico utilizando água salobra no preparo da solução nutritiva. Em sistema hidropônico DFT o teor de óleo essencial em manjeriço variou conforme o genótipo, sob salinidade de 80 mM de NaCl (CEsol 10 dS m⁻¹) aumentou o teor de óleo em 244% no genótipo Genaro de Menta e reduziu 30% no genótipo Toscano de Folha de Alface, em relação ao controle (Azevedo Neto et al., 2019). Entre os genótipos Alfavaca Basilicão, Grecco a Palla e Toscano Folha de Alface, cultivado em sistema hidropônico DFT com níveis crescentes de CEsol variando de 2,54 até 12,27 dS m⁻¹, o Grecco a Palla se destacou por maior teor de óleo essencial com acréscimo de 20,3% a cada dS m⁻¹ de salinidade, seguido do genótipo Toscano Folha de Alface com 9,7% (Gondim Filho et al., 2018).

Em relação ao teor de ácidos fenólicos totais, houve aumento com a salinidade para o manjeriço Green Iranian quando comparada as plantas controle, mas para o manjeriço Purple Iranian o teor não foi influenciado pela salinidade (Bekhradi et al., 2015). Portanto, estudos são necessários para determinar o genótipo mais indicado para a necessidade do produtor.

A preocupação com alimentos produzidos sob hidroponia têm sido o acúmulo de alguns íons nos tecidos vegetais, que pode causar efeitos na saúde humana. Cova et al. (2017) observaram que a relação Cl⁻/NO₃⁻ e Na⁺/K⁺ aumentaram nas folhas de alface com a salinidade nos diferentes sistemas hidropônicos e frequência de recirculação da solução nutritiva, diminuindo os riscos do nitrato na saúde humana. Para a cultura do espinafre em sistema

hidropônico floating não se recomenda CEa superior a 4,5 dS m⁻¹ por elevar o teor de Na⁺ nas folhas (>20% da recomendação diária) (Leal et al., 2020).

Dessa forma, pode-se observar que o conteúdo nutricional tem sido um parâmetro que vem sendo e deve ser avaliado nas plantas hidropônicas sob estresse salino antes de serem consumidos, com o intuito de fornecer ao consumidor um produto de qualidade nutricional satisfatória e sem riscos de prejuízos a saúde.

4.3 Análise sensorial

O produtor ao introduzir um determinado alimento no mercado deve ficar atento a todas as características que afetem a sua aceitação pelo consumidor, que pode ser avaliada pela análise sensorial (Viana et al., 2018). Segundo Paulus et al. (2012), a análise sensorial é utilizada para medir, analisar e interpretar reações das características dos alimentos e que são percebidas pelos sentidos da visão, olfato, paladar, tato e audição. Assim, a análise sensorial é recomendável quando as técnicas de manejo agrícola podem interferir nos parâmetros sensoriais, como pode ocorrer nos produtos hidropônicos com água salobra.

Em análise sensorial com alface da cv. Verônica e Roxa produzidas sob condições hidropônicas com salinidade variando de 0,43 a 7,43 dS m⁻¹, o parâmetro sabor da cv. Verônica embora obteve melhores resultados na salinidade de 1,53 e 5,55 dS m⁻¹, mas ambas cultivares obtiveram boa aceitação por parte de consumidores nos diferentes níveis de salinidade (Paulus et al., 2012). Resultados similares também foram reportados por Viana et al. (2018) em couve-folha cultivada em sistema hidropônico NFT, no qual a CEsol entre 2,3 e 7,5 dS m⁻¹ não afetou o sabor, aparência, textura, impressão global e atitude de consumir o produto, indicando que o consumidor poderia adquirir o produto pela aparência e textura, mas para repetir a compra o sabor deve agradar o paladar do consumidor. Para pimenta 'Biquinho' sob cultivo com CEsol até 5,28 dS m⁻¹, não aumentou a pungência e a escala de avaliação mais baixa foi na aparência em relação aos demais parâmetros aroma, sabor e textura, devido à redução no tamanho e rachaduras dos frutos (Bione, 2017).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este texto apresenta uma visão abrangente e analítica dos principais temas relacionados com a utilização das águas salobras em cultivos hidropônicos e suas consequências para a produção e qualidade de diversas espécies. De modo geral, foi mostrado que a hidroponia com água salobra é uma técnica viável para o cultivo de diversas espécies, como hortaliças, plantas medicinais e outras. Além disso, mostra que em muitos casos o uso de águas salobras pode melhorar a qualidade de produtos avaliada pelo teor de óleo essencial, podendo então ser uma fonte de renda alternativa para os pequenos produtores dessa região.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelo apoio financeiro aos bolsistas.

LITERATURA CITADA

Almeida, W. F. de; Paz, V. P. da S.; Jesus, A. P. C. de; Silva, J. S. da; Gonçalves, K. S.; Oliveira, A. S. de. Yield of green beans subjected to continuous and pulse drip irrigation with saline water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.22, p.476-481, 2018

Alves, L. S.; Silva, M. G. da; Gheyi, H. R.; Paz, V. P. da S.; Soares, T. M.; Rafael, M. R. S. Uso de águas salobras no cultivo da chicória em condições hidropônicas. *Irriga*, v.24, p.758-769, 2019.

Alves, M. S.; Soares, T. M.; Silva, L. T.; Fernandes, J. P.; Oliveira, M. L. A.; Paz, V. P. S. Estratégias de uso de água salobra na produção de alface em hidroponia NFT. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.491-498, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000500009>

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Atlas águas: segurança hídrica do abastecimento urbano. Brasília, 2021. 332p.

Arriero, S. S.; Almeida, W. F. de; Paz, V. P. da S.; Damasceno, L. F. Yield of eggplant using low quality water and pulse drip irrigation. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.24, p.822-826, 2020. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n12p822-826>

Atzori, G.; Mancuso, S.; Mais, E. Seawater potential use in soilless culture: A review. *Scientia Horticulturae*, v.249, p.199-207, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.035>

Ayers, R. S.; Westcot, D. W. Water quality for agriculture. Rome: FAO, 1994. 130p. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Revision. 1.

Azevedo Neto, A. D. de; Menezes, R. V.; Gheyi, H. R.; Silva, P. C. C.; Cova, A. M. W.; Ribas, R. F.; Ribeiro, M. de O. Salt-induced changes in solutes, pigments and essential oil of two basil (*Ocimum basilicum* L.) genotypes under hydroponic cultivation. *Australian Journal of Crop Science*, v.13, p.1856-1864, 2019. <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.11.p2015>

- Barreto, P. R.; Garcia, C. A. B. Caracterização da qualidade da água do açude Buri – Frei Paulo/SE. *Scientia Plena*, v.6, p.1-21, 2010.
- Batista, M. C.; Nascimento, R. do; Maia Júnior, S. de O.; Nascimento, E. C. S.; Bezerra, C. V. de C.; Lima, R. F. de. Physiology and production of cherry tomato cultivars in a hydroponic system using brackish water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.25, p.219-227, 2021.
- Bekhradi, F.; Delshad, M.; Marín, A.; Luna, M. C.; Garrido, Y.; Kashi, A.; Babalar, M.; Gil, M. I. Effects of salt stress on physiological and postharvest quality characteristics of different Iranian genotypes of basil. *Horticulture, Environment and Biotechnology*, v.56, p.777-785, 2015.
- Bione, M. A. A. Cultivo hidropônico de pimenteira ‘Biquinho’ com águas salobras. Cruz das Almas: UFRB, 2017. 119p. Tese Doutorado
- Bione, M. A. A.; Paz, V. P. da S.; Silva, F. da; Ribas, R. F.; Soares, T. M. Crescimento e produção de manjerição em sistema hidropônico NFT sob salinidade. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.1228-1234, 2014.
- Bione, M. A. A.; Soares, T. M.; Cova, A. M. W.; Paz, V. P. da S.; Gheyi, H. R.; Rafael, M. R. S.; Modesto, F. J. N.; Santana, J. da A.; Neves, B. S. L. das. Hydroponic production of ‘Biquinho’ pepper with brackish water. *Agricultural Water Management*, v.245, 106607, 2021.
- Brito, L. T. de L.; Anjos, J. B. dos; Porto, E. R.; Cavalcanti, N. de B.; Gnadlinger, J.; Xenofonte, G. H. S. Avaliação da qualidade das águas de açudes nos municípios de Petrolina e Ouricuri, PE e Canudos e Uauá, BA: estudo de caso. In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, 5, 2005, Teresina. Anais... Teresina: ABCMAC/Governo do Estado do Piauí/Embrapa Semiárido/IRPAA/ASA, 2005. p.1-9.
- Campos Júnior, J. E.; Santos Júnior, J. A.; Martins, J. B.; Silva, E. F. de F. e; Almeida, C. D. G. C. de. Rocket production in a low cost hydroponic system using brackish water. *Revista Caatinga*, v.31, p.1008-1016, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252018v31n424rc>
- Cavalcante, A. R. Aspectos fisiológicos e produtivos do pimentão sob estresse salino e densidade de plantas em hidroponia de baixo custo. Campina Grande: UFCG, 2018. Dissertação Mestrado.
- Cordão Terceiro Neto, C. P.; Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F. de; Dias, N. da S.; Silva, M. V. T. da; Lima, K. da S. Crescimento do meloeiro ‘Pele de Sapo’ irrigado com água salobra com diferentes estratégias de manejo. *Revista Caatinga*, v.27, p.87-100, 2014.

- Costa, L. F. da; Soares, T. M.; Silva, M. G. da; Modesto, F. J. N.; Queiroz, L. de A.; Pereira, J. de S. Cauliflower growth and yield in a hydroponic system with brackish water. *Revista Caatinga*, v.33, p.1060-1070, 2020. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n421rc>
- Coutinho, J. V.; Almeida, C. das N.; Gadelha, C. L. M.; Targino, D. F.; Linhares, F. M.; Coelho, V. H. R. Avaliação integrada da qualidade da água subterrânea em uma bacia hidrográfica representativa do litoral da Região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.18, p.197-212, 2013. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v18n4.p197-212>
- Cova, A. M. W.; Freitas, F. T. O. de; Viana, P. C.; Rafael, M. R. S.; Azevedo Neto, A. D. de; Soares, T. M. Content of inorganic solutes in lettuce grown with brackish water in different hydroponic systems. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.21, p.150-155, 2017.
- Cruz, R. I. F.; Silva, G. F. da; Silva, Ê. F. de F. e; Soares, H. R. e; Santos Júnior, J. A.; Santos, H. R. B. Water yield and consumption of cauliflower plants grown in a hydroponic system using brackish waters and different flow rates. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.25, p.422-428, 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n6p422-428>
- Damasceno, L. F.; Belo, L. R. M.; Gheyi, H. R.; Cova, A. M. W.; Lima, G. S. de; Marques, L. de J. Qualidade da berinjela irrigada com águas salobras via gotejamento contínuo e por pulsos. *Irriga*, v.1 (Edição Especial – Nordeste), p.1-13, 2021. <https://doi.org/10.15809/irriga.2021v1n1p1-13>
- Dantas, M. V.; Lima, G. S. de; Gheyi, H. R.; Pinheiro, F. W. A.; Silva, P. C. C.; Soares, L. A. dos A. Gas exchange and hydroponic production of zucchini under salt stress and H₂O₂ application. *Revista Caatinga*, v.35, p.436-449, 2022. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252022v35n219rc>
- Fernandes, J. G.; Freire, M. B. G. dos S.; Cunha, J. C.; Galvíncio, J. D.; Correia, M. M.; Santos, P. R. dos. Qualidade físico-química das águas utilizadas no Perímetro Irrigado Cachoeira II, Serra Talhada, Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.4, p.27-34, 2009.
- Freitas, F. T. O. de; Soares, T. M.; Silva, M. G. da; Rafael, M. R. S. Cultivo de alface sob intervalos de recirculações das soluções nutritivas em sistemas hidropônicos usando água salobra. *Irriga*, v.1 (Edição Especial – Nordeste), p.67-96, 2021. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2021v1n1p67-96>
- Freitas, W. E. de S.; Oliveira, A. B. de; Mesquita, R. O.; Carvalho, H. H. de; Prisco, J. T.; Gomes-Filho, E. Sulfur-induced salinity tolerance in lettuce is due to a better P and K uptake, lower Na/K ratio and an efficient antioxidative defense system. *Scientia Horticulturae*, v.257, 108764, 2019.

- Furtado, G. de F. Cultivo de pimentão hidropônico utilizando água com diferentes qualidades: salobra, residuária e de chuva. Campina Grande: UFCG, 2019. 141p. Tese Doutorado
- Furtado, G. de F.; Cavalcante, A. R.; Chaves, L. H. G.; Santos Júnior, J. A.; Gheyi, H. R. Growth and production of hydroponic pepper under salt stress and plant density. *American Journal Plant Sciences*, v.8, p.2255-2267, 2017. <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.89151>
- Giuffrida, F.; Graziani, G.; Fogliano, V.; Scuderi, D.; Romano, D.; Leonardi, C. Effects of nutrient and NaCl salinity on growth, yield, quality and composition of pepper grown in soilless closed system. *Journal of Plant Nutrition*, v.37, p.1455-1474, 2014. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.881874>
- Gondim Filho, H.; Silva, P. C. C.; Silva, M. G. da; Pereira, M. M.; Soares, T. M.; Azevedo Neto, A. D. de; Vasconcelos, R. S.; Gheyi, H. R. Growth, production and essential oil content of basil genotypes in hydroponic conditions under salt stress. *Journal of Experimental Agriculture International*, v.25, p.1-10, 2018. <https://doi.org/10.9734/JEAI/2018/43023>
- Greenway, H.; Munns, R. Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes. *Annual Review of Plant Physiology*, v.31, p.149-190, 1980. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.31.060180.001053>
- Hirata, R.; Suhogusoff, A. V.; Marcellini, S. S.; Villar, P. C.; Marcellini, L. A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2019. 35p.
- Holanda, J. S. de; Amorim, J. R. A. de; Ferreira Neto, M.; Holanda, A. C. de; Sá, F. V. da S. Qualidade da água para irrigação. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. da S.; Lacerda, C. F. de; Gomes Filho, E. (eds.). Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. 2.ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. Cap.4, p.35-50.
- Kyriacou, M. C.; Leskovar, D. I.; Colla, G.; Rouphael, Y. Watermelon and melon fruit quality: The genotypic and agro-environmental factors implicated. *Scientia Horticulturae*, v.234, p.393-408, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.032>
- Leal, L. Y. de C.; Souza, E. R. de; Santos Júnior, J. A.; Santos, M. A. dos. Comparison of soil and hydroponic cultivation systems for spinach irrigated with brackish water. *Scientia Horticulturae*, v.274, 109616, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109616>
- Lima, E. A. de; Beraldo, V. J.; Guilera, S. C.; Brandão, L. C. R.; Costa, E. A. Mapa de variação da qualidade das águas subterrâneas da região Nordeste do Brasil para uso na irrigação. *Águas Subterrâneas, Suplemento (Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo, 1)*, 2009. 13p.

- Lima, G. S. de.; Pinheiro, F. W. A.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. dos A.; Sousa, P. F. do N.; Fernandes, P. D. Saline water irrigation strategies and potassium fertilization on physiology and fruit production of yellow passion fruit. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.26, p.180-189, 2022. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n4p180-189>
- Lima, G. S. de.; Silva, J. B. da; Pinheiro, F. W. A.; Soares, L. A. dos A.; Gheyi, H. R. Potassium does not attenuate salt stress in yellow passion fruit under irrigation management strategies. *Revista Caatinga*, v.33, p.1082-1091, 2020a. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n423rc>
- Lima, R. B. de. Qualidade da água para consumo humano e irrigação no município de Orós-CE. Mossoró: UFERSA, 2020b. 58p. Trabalho de Conclusão de Curso
- Lira, R. M. de; Silva, Ê. F. de F. e; Silva, A. O. da; Medeiros, P. R. F. de; Silva, G. F. da; Soares, H. R. e. Watercress and Chinese cabbage in a hydroponic system using groundwater. *Revista Caatinga*, v.32, p.1038-1047, 2019. <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n420rc>
- Lira, R. M.; Silva, E. F. F. e; Silva, G. F.; Soares, H. R.; Willadino, L. G. Growth, water consumption and mineral composition of watercress under hydroponic system with brackish water. *Horticultura Brasileira*, v.36, p.13-19, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620180103>
- Lobato, F. A. de O.; Andrade, E. M. de; Meireles, A. C. M.; Crisostomo, L. A. Sazonalidade na qualidade da água de irrigação do Distrito Irrigado Baixo Acaraú, Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, v.39, p.167-172, 2008.
- Maciel, M. P.; Soares, T. M.; Gheyi, H. R.; Resende, E. P. L.; Oliveira, G. X. S. Produção de girassol ornamental com uso de águas salobras em sistemas hidropônicos NFT. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, p.165-172, 2012.
- Martins, J. B.; Santos Júnior, J. A.; Silva Júnior, F. J. da; Silva, G. F. da; Medeiros, S. de S. Production of parsley in hydroponic conditions under isosmotic brackish nutrient solutions. *Ciência e Agrotecnologia*, v.43, e023418, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/1413-7054201943023418>
- Medeiros, J. F. de; Gheyi, H. R.; Nascimento, I. B. do. Salinidade de solo e da água e seus efeitos na produção agrícola. In: Gheyi, H. R.; Paz, V. P. da S.; Medeiros, S. de S.; Galvão, C. de O. (eds.). *Recursos hídricos em regiões semiáridas: Estudos e aplicações*. 1.ed. Campina Grande: INSA, 2012. Cap.10, p.190-218.
- Medeiros, J. F. de; Lisboa, R. de A.; Oliveira, M. de; Silva Júnior, M. J. da; Alves, L. P. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, p.469-472, 2003.

- Mendes, J. da S.; Chaves, L. H. G.; Chaves, I. de B. Qualidade de águas para fins de irrigação da região do Congo, PB. *Revista Caatinga*, v.21, p.131-138, 2008.
- Modesto, F. J. N.; Santos, M. Â. C. M. dos; Soares, T. M.; Santos, E. P. M. dos. Crescimento, produção e consumo hídrico do quiabeiro submetido à salinidade em condições hidroponicas. *Irriga*, v.24, p.86-97, 2019. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2019v24n1p86-97>
- Monteiro, A. S. C.; Silva, E. L. da; Silva, R. R. M.; Alves, J. P. H. Mecanismos que controlam as características das águas dos reservatórios do estado de Sergipe, Nordeste do Brasil. *Scientia Plena*, v.17, p.1-16, 2021. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2021.011701>
- Morais, E. R. C. de; Maia, C. E.; Oliveira, M. de. Qualidade da água para irrigação em amostras analíticas do banco de dados do Departamento de Solos e Geologia da Escola Superior de Agricultura de Mossoró, RN. *Revista Caatinga*, v.11, p.75-83, 1998.
- Muchecua, S. M. H.; Santos Júnior, J. A.; Menezes, S. M. de; Silva, G. F. da; Chaves, L. H. G.; Cruz, R. I. F. Ionic relationships between macronutrients and sodium in parsley under nutrient solutions prepared with brackish water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.26, p.11-20, 2022. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n1p11-20>
- Navarro, F. E. C.; Santos Júnior, J. A.; Martins, J. B.; Cruz, R. I. F.; Silva, M. M. da; Medeiros, S. de S. Physiological aspects and production of coriander using nutrient solutions prepared in different brackish waters. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.26, p.831-839, 2022.
- Ó, L. M. G. do; Cova, A. M. W.; Azevedo Neto, A. D. de; Souza, M. G.; Santos, A. L.; Gheyi, H. R. Production, water-use efficiency and post-harvest quality of hydroponic mini watermelon under salinity stress. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.51, e67054, 2021.
- Ó, L. M. G. do; Cova, A. M. W.; Gheyi, H. R.; Silva, N. D. da; Azevedo Neto, A. D. de. Production and quality of mini watermelon under drip irrigation with brackish water. *Revista Caatinga*, v.33, p.766-774, 2020. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n320rc>
- Paulus, D.; Dourado Neto, D.; Paulus, E. Análise sensorial, teores de nitrato e de nutrientes de alface cultivada em hidroponia sob águas salinas. *Horticultura Brasileira*, v.30, p.18-25, 2012.
- Pereira, F. A. M.; Holanda, J. S. de; Medeiros, J. D. F.; Brito, R. A. L. Qualidade de água para irrigação no Seridó-RN. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 9, 1992, Brasília. Anais... Brasília: ABID, 1992. p.543-562.

- Rouphael, Y.; Petropoulos, S. A.; Cardarelli, M.; Colla, G. Salinity as eustressor for enhancing quality of vegetables. *Scientia Horticulturae*, v.234, p.361-369, 2018.
- Santiago, M. M. F.; Silva, C. M. S. V.; Ferreira, R. M. da S.; Mendes Filho, J.; Teixeira, Z. A.; Frischkorn, H. A qualidade das águas subterrâneas usadas na irrigação da Chapada do Apodi. *Águas Subterrâneas, Suplemento (Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 15)*, 2008. 11p.
- Santos, A. C. dos; Silva, M. G. da; Boechat, C. L.; Chagas, D. S.; Mendes, W. de S. Brackish water: an option for producing hydroponic *Capsicum annuum* in laminar flows of mineral nutrients. *Revista Colombiana de Ciência Hortícolas*, v.12, p.147-155, 2018.
- Santos, A. N.; Silva, Ê. F. de F. e; Silva, G. F. da; Barnabé, J. M. C.; Rolim, M. M.; Dantas, D. da C. Yield of cherry tomatoes as a function of water salinity and irrigation frequency. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.20, p.107-112, 2016.
- Santos, A. N.; Soares, T. M.; Silva, Ê. F. F.; Silva, D. J. R.; Montenegro, A. A. A. Cultivo hidropônico de alface com água salobra subterrânea e rejeito da dessalinização em Ibimirim, PE. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.961-969, 2010.
- Santos, A. N. dos; Silva, Ê. F. de F. e; Silva, G. F. da; Bezerra, R. R.; Pedrosa, E. M. R. Concentração de nutrientes em tomate cereja sob manejos de aplicação da solução nutritiva com água salobra. *Revista Ciência Agronômica*, v.48, p.576-585, 2017. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170067>
- Santos, A. N. dos; Silva, Ê. F. de F. e; Soares, T. M.; Dantas, R. M. L.; Silva, M. M. da. Produção de alface em NFT e floating aproveitando água salobra e o rejeito da dessalinização. *Revista Ciência Agronômica*, v.42, p.319-326, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000200009>
- Santos, J. F. dos. Cultivo hidropônico de manjerição sob estresse salino: crescimento, produção e aspectos bioquímicos. Cruz das Almas: UFRB, 2017. Tese Doutorado.
- Santos Júnior, J. A.; Gheyi, H. R.; Freire, M. M.; Barboza, M. L.; Lima, L. R. F.; Cavalcante, A. R. Coriander production under nutrient solution prepared with brackish waters and seeding densities. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.27, p.645-652, 2023. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n9p645-652>
- Santos Júnior, J. A.; Gheyi, H. R.; Guedes Filho, D. H.; Dias, N. da S.; Soares, F. A. L. Cultivo de girassol em sistema hidropônico sob diferentes níveis de salinidade. *Revista Ciência Agronômica*, v.42, p.842-849, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000400004>

- Santos Júnior, J. A.; Lacerda, C. F. de; Gheyi, H. R. Fontes de águas salobras no semiárido brasileiro: ocorrência e caracterização química. In: Cerqueira, P. R. S.; Lacerda, C. F. de; Araujo, G. G. L. de; Gheyi, H. R.; Simões, W. L. (ed.). Agricultura irrigada em ambientes salinos. Brasília: Codevasf, 2021. Cap.4, p.118-148.
- Sarmiento, J. D. A.; Morais, P. L. D. de; Almeida, M. L. B.; Sousa Neto, O. N. de; Dias, N. da S. Qualidade e conservação da alface cultivada com rejeito da dessalinização. Revista Caatinga, v.27, p.90-97, 2014.
- Silva, A. C. R. A. da; Silva, G. F. da; Menezes, S. M. de; Cruz, R. Í. F.; Santos Júnior, J. A.; Rolim, M. M. Accumulation of cations in lettuce cultivars under low-cost hydroponic system with brackish waters. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.25, p.833-839, 2021b.
- Silva, A. O. da; Silva, D. J. R. da; Soares, T. M.; Silva, Ê. F. de F. e; Santos, A. N. dos; Rolim, M. M. Produção de rúcula em sistema hidropônico NFT utilizando água salina do Semiárido - PE e rejeito de dessalinizador. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.6, p.147-155, 2011.
- Silva, Ê. F. de F. e; Soares, T. M.; Gheyi, H. R. Qualidade da água para agricultura irrigada. In: Aguiar Netto, A. de O.; Bastos, E. A. (ed.). Princípios agronômicos da irrigação. Brasília: Embrapa, 2013. Cap.7, p.193-218.
- Silva, H. H. B.; Azevedo Neto, A. D. de; Menezes, R. V.; Silva, P. C. C.; Gheyi, H. R. Use of hydrogen peroxide in acclimation of basil (*Ocimum basilicum* L.) to salt stress. Turkish Journal of Botany, v.43, p.208-217, 2019. <https://doi.org/10.3906/bot-1807-80>
- Silva, J. S. da; Paz, V. P. da S.; Soares, T. M.; Almeida, W. F. de; Fernandes, J. P. Production of lettuce with brackish water in NFT hydroponic system. Semina: Ciências Agrárias, v.39, p.947-962, 2018a.
- Silva, M. G.; Alves, L. S.; Soares, T. M.; Gheyi, H. R.; Bione, M. A. A. Growth, production and water use efficiency of chicory (*Cichorium endivia* L.) in hydroponic systems using brackish waters. Advances in Horticultural Science, v.34, p.243-253, 2020b. <https://doi.org/10.13128/ahsc8855>
- Silva, M. G. da; Oliveira, I. de S.; Soares, T. M.; Gheyi, H. R.; Santana, G. de O.; Pinho, J. de S. Growth, production and water consumption of coriander in hydroponic system using brackish waters. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.22, p.547-552, 2018b.
- Silva, M. G. da; Silva, P. C. C.; Cova, A. M. W.; Gheyi, H. R.; Soares, T. M. Experiências com o uso de águas salobras em hidroponia no Nordeste brasileiro. In: Cerqueira, P. R. S.;

- Lacerda, C. F. de; Araujo, G. G. L. de; Gheyi, H. R.; Simões, W. L. (ed.). Agricultura irrigada em ambientes salinos. Brasília: CODEVASF, 2021a. Cap.10, p.290-321.
- Silva, M. G. da; Soares, T. M.; Gheyi, H. R. Production of coriander using the hydroponic technique. In: Ramadan, M. F. (ed.). Handbook of coriander (*Coriandrum sativum*): Chemistry, functionality and applications. 1st ed. Boca Raton: CRC Press, 2023. Cap.4, p.39-62.
- Silva, M. G. da; Soares, T. M.; Gheyi, H. R.; Oliveira, I. de S.; Silva Filho, J. A. da; Carmo, F. F. do. Frequency of recirculation of the nutrient solution in the hydroponic cultivation of coriander with brackish water. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.20, p.447-454, 2016.
- Silva, M. G. da; Soares, T. M.; Gheyi, H. R.; Oliveira, M. G. B. de; Santos, C. C. dos. Hydroponic cultivation of coriander using fresh and brackish waters with different temperatures of the nutrient solution. Engenharia Agrícola, v.40, p.674-683, 2020a.
- Silva, M. G. da; Soares, T. M.; Gheyi, H. R.; Santos, C. C. dos; Oliveira, M. G. B. de. Hydroponic cultivation of coriander intercropped with rocket subjected to saline and thermal stresses in the root-zone. Revista Ceres, v.69, p.148-157, 2022. <https://doi.org/10.1590/0034-737X202269020004>
- Silva, M. G. da; Soares, T. M.; Oliveira, I. de S.; Santos, J. C. da S.; Pinho, J. S.; Freitas, F. T. O. de. Produção de coentro em hidroponia NFT com o uso de águas salobras para reposição do consumo evapotranspirado. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v.9, p.246-258, 2015.
- Silva, P. C. C.; Azevedo Neto, A. D. de; Gheyi, H. R.; Ribas, R. F.; Silva, C. R. dos R.; Cova, A. M. W. Salt-tolerance induced by leaf spraying with H₂O₂ in sunflower is related to the ion homeostasis balance and reduction of oxidative damage. Heliyon, v.6, e05008, 2020c.
- SILVA, P. C. C.; GHEYI, H. R. ; JESUS, M. J. S. ; CORREA, M. R. S. ; AZEVEDO NETO, A. D. de . Seed priming with hydrogen peroxide enhances tolerance to salt stress of hydroponic lettuce. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.27, p.704-711, 2023. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n9p704-711>.
- Silva Júnior, F. J. da; Santos Júnior, J. A.; Dias, N. da S.; Gheyi, H. R.; Rivera, R. C.; Silva, G. F. da; Fernandes, C dos S. Green onion production under strategies of replacement and frequencies of circulation of brackish nutritive solutions. Bioscience Journal, v.35, p.796-805, 2019.
- Silva Júnior, L. G. de A.; Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F. de. Composição química de águas do cristalino do Nordeste brasileiro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, p.11-17, 1999.

- Silva Neta, C. R. da; Silva, A. P. da; Menezes, F. J. de S.; Mendes, A. M. S.; Silva, P. T. de S. e. Avaliação da qualidade da água para fins de irrigação na região de entorno do Lago de Sobradinho. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27, 2013, Goiânia. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 2013. p.1-5.
- Soares, H. R.; Silva, E. F. de F. e; Silva, G. F. da; Pedrosa, E. M. R.; Rolim, M. M.; Santos, A. N. Lettuce growth and water consumption in NFT hydroponic system using brackish water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, p.636-642, 2015.
- Soares, H. R. e; Silva, Ê. F. de F. e; Silva, G. F. da; Lira, R. M. de; Bezerra, R. R. Mineral nutrition of crisphead lettuce grown in a hydroponic system with brackish water. *Revista Caatinga*, v.29, p.656-664, 2016. <https://doi.org/10.1590/1983-21252016v29n316rc>
- Soares, T. M.; Duarte, S. N.; Silva, E. F. F.; Jorge, C. A. Combinação de águas doce e salobra para produção de alface hidropônica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.705-714, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000700004>
- Souza, C. A. de; Silva, A. O. da; Santos, J. da S. G.; Lacerda, C. F. de; Silva, G. F. da. Production of watercress with brackish water and different circulation times for the nutrient solution. *Revista Ciência Agronômica*, v.51, e20196775, 2020a. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200049>
- Souza, C. D. da S.; Silva, G. F. da; Menezes, S. M. de; Morais, J. E. F. de; Santos Júnior, J. A.; Silva, A. O. da. Nutrient and inorganic solute (Na^+ and Cl^-) content in green onion plants under hydroponic cultivation using brackish water. *Ciência e Agrotecnologia*, v.44, e013320, 2020b.
- Sperling, O.; Lazarovitch, N.; Schwartz, A.; Shapira, O. Effects of high salinity irrigation on growth, gas-exchange, and photoprotection in date palms (*Phoenix dactylifera* L., cv. Medjool). *Environmental and Experimental Botany*, v.99, p.100-109, 2014.
- Suarez, D. L. Relationship between pH, and SAR and an alternative method of estimating SAR of soil or drainage waters. *Soil Science Society of the American Journal*. v.45, p.469-475, 1981.
- Viana, P. C. Eficiência do uso de águas salobras no cultivo hidropônico da couve-folha. Cruz das Almas: UFRB, 2017. 175p. Tese Doutorado
- Viana, P. C.; Freitas, F. T. O. de; Silva, N. D. da; Soares, T. M.; Paz, M. G. F. da. Estatística multivariada como ferramenta descritiva na análise sensorial de alface hidropônica produzida com águas salobras. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.12, p.2725-2730, 2018.

- Vieira, P. F.; Pereira, L. A.; Brito, L. T. de L.; Melo, R. F. de. Qualidade da água de dois açudes públicos do município de Petrolina, PE. In: Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Semiárido, 6, 2011, Petrolina. Anais... Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. p.49-55. Embrapa Semiárido Documentos, 238.
- Xavier, J. de F.; Azevedo, C. A. V. de; Azevedo, M. R. de Q. A.; Albuquerque Junior, J. E. de; Simões, J. P. de O. Mineral composition of lettuce grown in hydroponic system with wastewater. *Journal of Agricultural Science*, v.10, p.317-328, 2018. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n7p317>
- Xavier, J. de F.; Azevedo, C. A. V. de; Azevedo, M. R. de Q. A.; Dantas, J. F.; Monteiro Filho, A. F.; Lima, V. L. A. de. Application of wastewater for production of lettuce (*Lactuca sativa*) in hydroponic system. *Australian Journal of Crop Science*, v.13, p.1586-1593, 2019.
- Xavier, J. de F.; Azevedo, C. A. V. de; Sales, J. C. R. de; Azevedo, M. R. de Q. A.; Fernandes, J. D.; Lima, V. L. A. de; Gomes, J. P.; Monteiro Filho, A. F. Salinity levels in growth and production of curly lettuce (Elba, Cristina and Veneranda) grown in hydroponic system. *Australian Journal of Crop Science*, v.15, p.73-81, 2021. <https://doi.org/10.21475/ajcs.21.15.01.2747>

MARACUJÁ-AMARELO

*Lourival Ferreira Cavalcante¹ (In memoriam), Ítalo Herbert Lucena Cavalcante^{*2},
Marlene Alexandrina Ferreira Bezerra², Antônio Gustavo de Luna Souto²,
Francisco Thiago Coelho Bezerra²*

RESUMO: O maracujazeiro-amarelo é cultivado em todo o Brasil, por sua preferência pelo consumidor e adaptabilidade a diferentes sistemas de produção. Em áreas do Nordeste brasileiro, é aconselhável o uso de irrigação, nos períodos de estiagem, para garantia de produção e de qualidade dos frutos. Na região, a maior parte dos recursos hídricos, principalmente em pequenas propriedades agrícolas, contém excesso de sais, além dos padrões requeridos pelas plantas, o que tem estimulado os pesquisadores a desenvolver tecnologia para seu uso em culturas diversas, inclusive a do maracujazeiro. Os esforços têm sido promissores, ao ser constatado que a cultura produz frutos, em condições de baixa, média e alta salinidade. Em algumas situações, a depender do solo, os dados extrapolam os limites de excesso de sais, existentes na literatura especializada, o que tem estimulado a continuidade de pesquisas para viabilizar o uso de águas salinas na produção de maracujá. A experimentação tem avançado, com uso de genótipos diferentes, em diversas fases do ciclo fenológico da planta, desde a germinação de sementes e fase de produção de mudas. Além da fenologia, os estudos envolvem tópicos fisiológicos, botânicos, bioquímicos e moleculares, manejo da cultura e qualidade dos frutos. Em várias variáveis, há indicativos do efeito da salinidade por aumento unitário da condutividade elétrica da água de irrigação.

¹ Universidade Federal da Paraíba

² Universidade do Vale do São Francisco - UNIVASF, Petrolina - PE, Brasil

* Autor correspondente: italo.cavalcante@univasf.edu.br

Palavras-chave: *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deneger; estresse salino; fisiologia; bioquímica; qualidade do fruto.

YELLOW PASSION FRUIT

ABSTRACT: The yellow passion fruit is cultivated throughout Brazil, due to its consumer preference and adaptability to different production systems. In areas of the Brazilian Northeast, it is advisable to use irrigation during dry periods to guarantee production and fruit quality. In the region, most water resources, especially on small agricultural properties, contain excess salts, beyond the standards required by plants, which has encouraged researchers to develop technology for use in various crops, including passion fruit. Efforts have been promising, as it has been found that the crop produces fruit in low, medium and high salinity conditions. In some situations, depending on the soil, the data goes beyond the limits of excess salts found in specialized literature, which has stimulated continued research to enable the use of saline waters in passion fruit production. Experimentation has advanced, using different genotypes, in different phases of the plant's phenological cycle, from seed germination and seedling production. In addition to phenology, studies involve physiological, botanical, biochemical and molecular topics, crop management and fruit quality. In several variables, there are indications of the effect of salinity due to a unit increase in the electrical conductivity of irrigation water.

Key words: *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deneger; salt stress; physiology; biochemistry; fruit quality.

1 INTRODUÇÃO

A salinidade, além dos limites tolerados, inibe o processo germinativo, o crescimento e o rendimento de glicófitas comercialmente cultivadas (Medeiros et al., 2016a; Zhu et al., 2019; Santana Júnior et al., 2020). Nesse contexto, também se insere o maracujazeiro azedo de casca amarela (*Passiflora edulis* Sims), espécie cultivada em mais de 95% dos pomares brasileiros (Meletti, 2011), sensível à salinidade (Maas & Hoffman, 1977). Essa classificação indica que o teor salino da água de irrigação e do solo, acima de 0,9 e 1,3 dS m⁻¹ (Ayers & Westcot, 1999; Dias et al., 2016), respectivamente, pode inibir o processo germinativo das sementes, o crescimento, produtividade das plantas e comprometer a qualidade dos frutos (Dias et al., 2012a; Bezerra, 2018).

Em áreas semiáridas do Estado da Paraíba, produtoras de maracujá amarelo, a irregularidade das chuvas, a alta temperatura e a baixa umidade relativa do ar refletem-se em elevada evaporação e baixa disponibilidade de água do solo às plantas. Essa situação climática evidencia que o cultivo dessa frutífera é dependente da irrigação, pelo menos durante metade do ano. Outro sério problema é a concentração salina das águas que, em muitos casos, situa-se acima dos níveis tolerados pelas plantas (Holanda et al., 2016) e, em consequência de irrigações contínuas, o teor salino do solo aumenta para níveis que prejudicam o rendimento da cultura, com produtividade abaixo da média brasileira (15 t ha⁻¹) e nordestina (10 t ha⁻¹) (IBGE, 2018).

Quanto à salinidade, dados obtidos em diversos estudos de campo, em áreas dos Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, conflitam com índices de tolerância à salinidade, divulgados por Maas & Hoffman (1977) e Ayers & Westcot (1999). Aconteceu em trabalhos realizados por Soares et al. (2008), Nascimento et al. (2016), Aguiar et al. (2017), Cavalcante et al. (2018) e Bezerra et al. (2019a; 2020), ao constatarem que a cultura produz frutos, em condições variadas de qualidade da água de irrigação, com águas de baixa, média e alta salinidade. Em maracujazeiro amarelo, portanto, os estudos devem investigar os efeitos da salinidade do solo ou da água em função da fenologia das plantas, paralelamente a investigações que envolvam, também, estudos de fisiologia e bioquímica e seus efeitos sobre a produção e a qualidade de frutos.

A irrigação, por menor que seja a concentração salina da água (CEa), eleva a salinidade do solo, expressa pela condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes), ao longo do cultivo, de não salino (CEes < 2 dS m⁻¹) para ligeiramente (2 < CEes < 4 dS m⁻¹), medianamente (4 < CEes < 8 dS m⁻¹) e fortemente salino (8 < CEes < 16 dS m⁻¹) (Richards, 1954). Ao se admitir que a água contribui com, pelo menos, 50% da salinidade do solo (Ayers & Westcot, 1999), esses riscos preconizam que o processo deve ser estudado com base nas condições inicial e final do solo e no incremento de sais adicionados pelas irrigações (Tabela 1). Outro aspecto a considerar é a quantificação total de sais adicionada ao ambiente, a partir da condutividade elétrica da água de irrigação - CEa e a participação dos sais de cálcio, magnésio, sódio e potássio, nesse processo.

A irrigação, conforme os autores citados na Tabela 1, independentemente do tipo de água, aumenta a salinização dos solos no curto período de cultivo do maracujazeiro amarelo (5 a 7 meses). Elevados níveis salinos, principalmente em águas mais restritivas, limitam os investimentos no sistema produtivo, sob irrigação convencional, e apontam para a adoção de técnicas de manejo, principalmente para águas de maior risco, desde que as perdas não inviabilizem o rendimento e a qualidade da produção. Pela necessidade crescente de água para produção de alimentos, aliado ao fato de as culturas comerciais serem, quase sempre, sensíveis ou, no máximo, moderadamente tolerantes aos sais, e o mundo não dispor de volume hídrico suficiente, em qualidade, para atender à agricultura, uma das soluções é a irrigação de culturas com águas salinas (Lacerda et al., 2016), inclusive a piscicultura (Cavalcante et al., 2001; Soares et al., 2008; Aguiar et al., 2017; Souza et al., 2018).

Tabela 1. Aumento da salinidade de solos não salinos, em função do aumento da condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), em resposta à irrigação com águas de baixa, média e alta salinidade (CEa), em cultivos do maracujazeiro amarelo.

Salinidade da água (CEa)	Salinidade do solo (CEes)				Tipo de solo	Referência
	Inicial	Final	Is	Pi		
	----- dS m ⁻¹ -----		%	meses		
2,01 C ₃	0,59sns	13,01 sfs	2.105	7	V	¹
1,50 C ₂	0,18 sns	4,54 sms	2.422	7	NQ	²
0,50 C ₁	0,23 sns	2,54 sls	1.004	5	NQ	³
3,20 C ₄	2,34 sns	9,69 sfs	314	7	LC	⁴
0,50 C ₁	1,86 sns	7,80 sms	319	6	NQ	⁵
2,50 C ₃	1,86 sns	12,4 sfs	566	6	NQ	⁵
3,40 C ₄	0,41 sns	5,34 sms	1.202	7	LA	⁶
0,20 C ₁	0,74 sns	2,72 sls	268	6	LC	⁷
5,00 C ₄	0,74 sns	4,80 sms	549	6	LC	⁷
0,35 C ₁	0,75 sns	2,68 sls	257	7	LA	⁸
3,98 C ₄	0,75 sns	5,81 sms	675	7	LA	⁸
0,35 C ₁	0,36 sns	4,51sms	1.153	6	NR	⁹
4,00 C ₄	0,36 sns	7,88 sms	2.089	6	NR	⁹
3,60 C ₄	0,37 sns	6,50 sms	1.657	7	LA	¹⁰

C₁, C₂, C₃, C₄ respectivamente, águas de risco baixo (CEa<0,75 dS⁻¹), médio (0,75<CEa<1,5 dS m⁻¹), alto (1,5<CEa<3,0 dS m⁻¹) e muito alto (CEa>3,0 dS m⁻¹) de salinizar o solo (Ayers; Westcot, 1999); sns = solo não salino; sls = solo ligeiramente salino; sms = solo medianamente salino; sfs = solo fortemente salino (Richards, 1954); Is = incremento de sais; Pi = período de irrigação; LA = Latossolo Amarelo; LC = Luvisolo Crômico; NQ = Neossolo Quartzarênico; NR = Neossolo Regolítico; V = Vertissolo (Embrapa, 2018); ¹Freire (1992); ²Andrade (1998); ³Silva (1999); ⁴Costa (2000); ⁵Cavalcante et al. (2005a); ⁶Macedo (2006); ⁷Soares et al. (2008); ⁸Nascimento (2010); ⁹Nunes (2016); ¹⁰Cavalcante et al. (2018).

2 GERMINAÇÃO, EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS, CRESCIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS

O aumento da concentração de sais na água reduz a emergência das plântulas, o crescimento e a qualidade das mudas de maracujazeiro (Tabela 2). Esse efeito está relacionado, inicialmente, à redução no potencial osmótico que diminui a absorção de água, como também, aos efeitos tóxicos específicos dos íons (Taiz et al., 2017). O potencial osmótico (Ψ_s), em soluções ionizáveis, está relacionado ao fator de dissociação do sal (i), à constante dos gases ($R = 0,0083143 \text{ MPa L mol K}^{-1}$), à temperatura ($T = ^\circ\text{C} + \text{K}$) e à concentração do sal ($C = \text{mol L}^{-1}$), de acordo com a seguinte relação de van't Hoff: $\Psi_s \text{ (MPa)} = -iRTC$ (Sunkar, 2010); ou seja, o aumento na concentração dos sais reduz o potencial da água. De forma geral, pode-se relacionar, também, o potencial osmótico (Ψ_s) com a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa), cujos valores podem estar em torno de 3,0 e 30,0 dS m^{-1} , respectivamente, a partir da relação $\Psi_s \text{ (MPa)} = -\text{CEa} \times 0,036$ (Dias et al., 2016), sendo a condutividade elétrica da água de irrigação uma estimativa da concentração de sais.

Tabela 2. Emergência de plântulas, crescimento e qualidade de mudas de maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deneger Sims) sob salinidade da água de irrigação.

CEa	E	AP	DC	AF	MMSR	MMSPA	MMST	DICKSON
dS m^{-1}	%	cm	mm	cm^2	----- g -----			(IQD)
Cavalcante et al. (2002) - Acesso Guinezinho - 80 dias								
0,50	61,2	28,4	2,83	60,0	0,45	2,92	3,37 ¹	0,20 ¹
4,50	52,5	10,8	1,78	40,3	0,19	0,74	0,93 ¹	0,10 ¹
Dif (%)	-14,2	-62,0	-37,1	-32,8	-57,8	-74,7	-72,4	-52,4
Soares et al. (2002) - Amarelo redondo - 77 dias								
1,0	90,9	83,5	3,62	879,3	2,28	7,58	9,86 ¹	0,37 ¹
8,0	54,9	8,3	1,45	231,2	0,45	0,99	1,44 ¹	0,18 ¹
Dif (%)	-39,6	-90,1	-59,9%	-73,7	-80,3	-86,9	-85,4	-51,4
Oliveira et al. (2015) - BRS GA1- 60 dias								
0,30	77,8	8,0	1,74	*	0,08	0,14	0,22	0,03 ¹
3,50	44,4	5,7	1,47	*	0,02	0,07	0,09	0,01 ¹
Dif (%)	-42,9	-28,8	-15,5	-	-75,0	-50,0	-59,1	-66,7
Medeiros et al. (2016b) - BRS GA1- 60 dias								
0,30	86,8	26,1	3,12	204,3	0,55	2,30	2,85 ¹	0,21
4,00	65,5	12,9	1,69	69,4	0,35	0,78	1,13 ¹	0,10
Dif (%)	-24,5	-50,6	-45,8	-66,0	-36,4	-66,1	-60,4	-52,4
Medeiros et al. (2016b) - Acesso Guinezinho - 60 dias								
0,30	79,3	36,4	2,92	235,6	0,84	2,19	3,03 ¹	0,21
4,00	53,4	17,4	2,17	134,4	0,37	0,88	1,25 ¹	0,10
Dif (%)	-32,7	-52,2	-25,7	-43,0	-56,0	-59,8	-58,7	-52,4
Nascimento et al. (2017) - Acesso Guinezinho - 60 dias								
0,43	*	20,8	2,79	331,6	1,32	1,49 ¹	2,81 ¹	0,33 ¹
4,50	*	7,5	1,79	126,3	0,60	0,49 ¹	1,09 ¹	0,22 ¹

CEa	E	AP	DC	AF	MMSR	MMSPA	MMST	DICKSON
dS m ⁻¹	%	cm	mm	cm ²	----- g -----			(IQD)
Dif (%)	-	-63,9	-35,8	-61,9	-54,5	-67,1	-61,2	-33,3
Bezerra et al. (2014; 2019b) - Acesso Guinezinho - 80 dias								
0,30	86,2	9,8	2,88	112,1	0,50	0,92	1,42	0,27
4,00	32,6	4,1	2,14	72,7	0,10	0,42	0,52	0,10
Dif (%)	-62,1	-58,2	-25,7	-35,6	-80,0	-54,3	-63,4	-63,0
Oliveira (2019) - BRS GA1 - 65 dias								
0,30	*	30,4	3,57	*	1,58	2,66	4,24	0,41
4,50	*	27,6	3,19	*	0,17	1,35	1,52	0,12
Dif (%)	-	-9,2	-10,6	-	-89,2	-49,2	-64,2	-70,7

CEa: condutividade elétrica da água de irrigação; E, AP, DC, AF, MMSR, MMSPA e MMST: emergência de plântulas, altura, diâmetro do caule, área foliar, massa da matéria seca das raízes, da parte aérea e total de muda, respectivamente; IQD = índice de qualidade de Dickson (Costa Júnior et al., 2015); *Calculado a partir de dados do artigo; BRS GA1 = Gigante Amarelo; Dif = diferença; * = não houve avaliação.

O processo germinativo do maracujazeiro, como na maioria das espécies vegetais, inicia-se com a Embebição (fase I), a partir do contato das sementes com a água e pode durar de 3 a 11 horas, a fase I (Ferrari et al., 2007). Essa absorção ocorre por diferença de potencial osmótico, mais negativo nas sementes, mas a adição de sais na água reduz a diferença de potencial entre a semente e a água de irrigação, o que pode resultar em atraso e/ou inibição da germinação e, conseqüentemente, emergência das plântulas. Esse efeito exerce conseqüências negativas tanto na emergência quanto no índice de velocidade de emergência (Bezerra et al., 2014; Medeiros et al., 2016b) e pode acarretar em estande desuniforme. Costa et al. (2005a) observaram que o aumento da condutividade elétrica da água, para diversas fontes de sais, resulta em menor crescimento das mudas, provavelmente, pelos efeitos osmóticos e dos íons específicos. A emergência e o crescimento das plântulas de maracujazeiro são sensíveis à salinidade, devido à redução na disponibilidade hídrica, isto é, redução do potencial osmótico (Araújo et al., 2016).

O efeito da salinidade nas mudas de maracujazeiro amarelo está relacionado à redução da condutância estomática, transpiração, assimilação líquida de gás carbônico e eficiência instantânea de carboxilação (Silva et al., 2019; Lima et al., 2020), bem como, ao consumo de água (Moura et al., 2017) e absorção de nutrientes, em detrimento ao acúmulo de sódio em tecidos da planta (Soares et al., 2002; Lima et al., 2020). A redução nas trocas gasosas e no desbalanço nutricional, ocasionados pela salinidade, resulta em menor crescimento em altura e diâmetro de caule, área foliar, com conseqüências no acúmulo de biomassa em raízes, parte aérea e total, inclusive, na qualidade das mudas (Tabela 3), avaliada por meio do índice de qualidade de Dickson (Costa Júnior et al., 2015). Também, são observadas alterações no limbo foliar, tais como no aumento da espessura, na forma e disposição das células da nervura central, depressões em determinadas regiões do limbo, desorganização dos feixes vasculares, hipertrofia das células do parênquima esponjoso, aumento da quantidade de vasos xilemáticos, redução na densidade e funcionamento estomático (Moura, 2018).

Na literatura, há divergência quanto à classificação da tolerância aos sais, durante a fase de formação de mudas de maracujazeiro, sendo considerada sensível (Cavalcante et al., 2002), moderadamente sensível (Oliveira et al., 2015; Bezerra et al., 2019b) e, até mesmo, moderadamente tolerante (Soares et al., 2002; Cruz et al., 2006). As perdas devido à salinidade podem chegar a 17, 19 e 23%, por aumento unitário da CEa, na qualidade das mudas (IQD) e nas massas da matéria seca da parte aérea e do sistema radicular (Oliveira, 2019; Cavalcante et al., 2002; Oliveira et al., 2015), respectivamente.

A magnitude dos efeitos dos sais está associada à espécie (Moura et al., 2017; Andrade et al., 2018). Vários fatores mitigam os efeitos da salinidade sobre as mudas, com destaques para o volume do recipiente (Cavalcante et al., 2002), tipo de substrato (Oliveira et al., 2015), adubação mineral (Bezerra et al., 2014; 2019b) e orgânica (Medeiros et al., 2016b; Nascimento et al., 2017) e a composição iônica da água (Costa et al., 2005a).

2.1 Crescimento de maracujazeiro-amarelo em campo

Além dos efeitos negativos na fase inicial (germinação, emergência de plântulas e produção de mudas), a salinidade também inibe o crescimento do maracujazeiro-amarelo em campo, atrasando as podas das haste principal e secundária, comprometendo a emissão de ramos produtivos (Tabela 3) e o início da colheita (Bezerra et al., 2020). Além dos efeitos supracitados, também reduz o comprimento dos entrenós dos ramos produtivos e a emissão de botões florais (Dias et al., 2013), com consequências negativas sobre o início da colheita e na produtividade da cultura.

Tabela 3. Variáveis de crescimento do maracujazeiro amarelo em campo, em pesquisas realizadas em condições diferentes de salinidade, por diversos autores.

CEa	Altura			Diâmetro		PHP	PRS	NRP
	TCA	TCR		TCA	TCR			
dS m ⁻¹	cm dia ⁻¹	cm dia ⁻¹ dia ⁻¹		mm dia ⁻¹	mm dia ⁻¹ dia ⁻¹	----- dia -----		Un
Freire et al. (2012) - Acesso Guinezinho								
0,50	2,52	*		*	*	47	69	27
4,50	2,30	*		*	*	59	78	23
Dif (%)	-8,7	-		-	-	+25,5	+13,1	-14,8
Dias et al. (2013) - Acesso Guinezinho								
0,50	*	*		0,078	*	47	*	*
4,50	*	*		0,070	*	53	*	*
Dif (%)	-	-		-10,3	-	-12,8	-	-
Souza et al. (2016) - BRS GA1 - Gigante Amarelo								
0,35	*	*		0,0827	0,0059	60	*	16
4,00	*	*		0,0818	0,0057	64	*	12
Dif (%)	-	-		- 1,1	-3,39	+6,7	-	-25,0

CEa: condutividade elétrica da água de irrigação; TCA e TCR: taxa de crescimento absoluto e relativo; PHP e PRS: período do transplantio à poda da haste principal e da poda da haste principal à poda dos ramos secundários; NRP: número de ramos produtivos; un = unidade; Dif = diferença; * = não foi avaliado.

No realizado por Freire et al. (2012), foi verificado que o aumento unitário na condutividade elétrica da água de irrigação (Tabela 4) inibiu o crescimento absoluto em altura, em 0,22 cm dia⁻¹, retardando a poda da haste principal e dos ramos secundários do maracujazeiro amarelo em 12 e 9 dias, com perdas no crescimento de 2,2; 6,4 e 3,9%, respectivamente. O aumento unitário da concentração salina das águas, conforme Dias et al (2013) e Souza et al. (2016), também prejudicou o crescimento do diâmetro caulinar, em 0,08 e 0,0009 mm dia⁻¹ e atrasou a poda da haste principal em 6 dias e 4 dias, respectivamente. Essa ação prejudicial ao crescimento refletiu-se na emissão dos ramos produtivos, com perdas de 3 e 4 ramos por planta e, em consequência, atrasou o início da colheita e o rendimento da cultura.

4 SALINIDADE E ESTADO NUTRICIONAL DO MARACUJAZEIRO-AMARELO

Dentre os parâmetros estudados para caracterizar os efeitos dos sais nas plantas, o desequilíbrio nutricional é de grande importância, pois vários estudos têm associado a salinidade aos distúrbios nutricionais e interações iônicas nos tecidos vegetais (Dias et al., 2016). Portanto, a avaliação do estado nutricional deve ser realizada baseando-se em critérios associados e adequados a cada cultura. No maracujazeiro amarelo, os teores nutricionais são determinados nas folhas que, de modo geral, é o órgão que melhor demonstra o estado nutricional das plantas, ou seja, reflete mais as variações no suprimento dos nutrientes, devendo-se considerar a época de coleta e a posição das folhas amostradas na planta, para o procedimento ser utilizado e interpretado adequadamente (Borges & Lima, 2009).

Na cultura de maracujazeiro, recomenda-se amostrar a quarta folha a partir do ápice de ramos medianos, não sombreados e não podados (Malavolta et al., 1997; Borges & Lima, 2009); na fase de mudas não há um protocolo certo, a depender, portanto, do bom senso do pesquisador. Em alguns estudos, realizados nessa fase, foram analisados todos os nutrientes em uma amostra grande de folhas (Santos et al., 2011; Bertani et al., 2019)... ou na folha totalmente expandida (Lima et al., 2020) e, mais especificamente, na quarta folha completamente expandida da parte mediana da parte aérea (Silva et al., 2013). Em outras pesquisas, como a de Soares et al. (2002), foram avaliados, também, órgãos como raiz, caule juntamente com pecíolo foliar, e folhas; Cruz et al. (2006) dividiram as folhas em idade cronológica, para ser avaliada a dinâmica dos nutrientes sob estresse salino.

4.1 Macronutrientes e sódio (Na) em mudas de maracujazeiro-amarelo

O excesso de sais na água de irrigação pode interferir tanto na absorção quanto na assimilação de nutrientes. O aumento de sódio na solução do solo diminui a absorção e, conseqüentemente, os teores foliares de potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (Tabela 4), interferindo nas funções fisiológicas da planta. A tolerância aos efeitos negativos dos sais depende da fase fenológica das plantas e, também, do manejo adotado da cultura (Medeiros

et al., 2016b; Bezerra, 2018; Lima et al., 2020). Assim, a habilidade da planta, em manter níveis elevados de potássio e cálcio e baixos níveis de sódio no tecido vegetal, é um mecanismo que contribui para expressar sua tolerância à salinidade (Dias et al., 2016).

Tabela 4. Teores de macronutrientes e sódio em mudas de maracujazeiro amarelo sob irrigação com água salina.

CEa	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	ip	Substrato
dS m ⁻¹	----- g kg ⁻¹ de matéria seca -----							dias	
Soares et al. (2002)									
1,0	*	*	49,1	31,3	10,2	*	27,5	77	3S
8,0	*	*	10,1	17,7	6,5	*	66,3		+
Dif. (%)	-	-	-79,4	-43,5	-36,3	-	+141,1		1H
Cruz et al. (2006)									
1,1	31,9	4,4	33,5	13,9	4,1	3,9	7,5	50	1Ve
6,5	36,3	4,2	18,1	13,5	3,5	4,0	20,6		+
Dif. (%)	+13,8	-4,6	-46,0	-2,9	-14,6	+2,6	+174,7		1Tp

CEa: condutividade elétrica da água de irrigação; ip = idade da planta; S = solo; H = humos de minhoca; Ve = vermiculita expandida; Tp = turfa processada; Dif. = diferença; * = não foram avaliados.

Em mudas de maracujazeiro, Soares et al. (2002) determinaram perdas na ordem de 11, 6 e 5% e, acréscimo de 20% nos teores foliares de potássio, cálcio, magnésio e sódio respectivamente, para cada aumento unitário da condutividade elétrica da água (Tabela 5). Cruz et al. (2006) verificaram índices menores de redução de potássio, em que a cada aumento unitário na salinidade da água, o decréscimo foi de, aproximadamente, 9% nas folhas novas e 7% nas folhas velhas; o aumentou de sódio foi maior, na ordem de 32 e 55% nas folhas novas e velhas, respectivamente. Esses resultados estão de acordo com os constatados por Lima et al. (2020), em estudo com espécies de maracujazeiros, que registraram perda similar no teor de potássio e aumento no de sódio, em função da salinidade da água.

Em relação a nitrogênio em folhas de maracujazeiro, sob estresse salino, especificamente cloreto de sódio (NaCl), pode ocorrer redução na absorção de N na forma de nitrato (N-NO₃⁻), por competição com o íon cloreto (Bar et al., 1997; Büneman et al., 2011). Porém, em algumas pesquisas com mudas foi registrado incremento na concentração de nitrogênio foliar ao irrigar com águas de salinidades crescentes (Cruz et al., 2006; Bezerra et al., 2019b). Segundo Diniz et al. (2012), a ação da salinidade no teor de nitrogênio depende da concentração de sais, duração do estresse e, principalmente, da tolerância dos materiais biológicos. Enquanto isso, os teores de potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺), por antagonismo com o sódio (Freire et al., 2013; Souza et al., 2018), tendem sempre a ser reduzidos sob estresse salino (Tabela 5).

Um parâmetro em destaque no estudo do estresse salino são as modificação nas relações de Na⁺ com K⁺, Ca²⁺ ou Mg²⁺ que podem refletir distúrbios nutricionais, com consequências negativas no crescimento e na qualidade das mudas. A capacidade das plantas em manter níveis adequados de nutrientes nas folhas mais jovens e confinar o sódio nas folhas mais

velhas, mantendo tais relações mais baixas, também nas raízes, pode refletir o nível de tolerância da cultura ao estresse salino.

4.2 Macro, micronutrientes e sódio em plantas adultas de maracujazeiro amarelo

A ordem de concentração dos macronutrientes em folhas de maracujazeiro, em condições de campo, está relacionada ao manejo da cultura e, em geral, obedece a esta sequência: N > K > Ca > S > P > Mg (Carvalho et al., 2001, 2002, 2011). O estresse salino da água pode reduzir os valores foliares em até 4, 5, 6, 7, 12 e 13% para enxofre, nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e potássio, respectivamente, e aumento de 33% de sódio nas folhas, por aumento unitário da condutividade elétrica da água de irrigação (Tabela 5). Carvalho et al. (2001; 2002), em condições de baixa salinidade, observaram que o Na é o sétimo elemento mineral com maior concentração nas folhas. Freire et al. (2013), em condições similares, também constataram essa mesma posição para a concentração do sódio nas folhas, mas ao irrigar com água salina (4,50 dS m⁻¹) passou ocupar a quinta posição, superando fósforo e magnésio. Bezerra (2018) constatou que o sódio foi o quinto e o quarto elemento mineral, mais concentrado, em folhas de plantas irrigadas com água não salina (0,3 dS m⁻¹) e salina (4,0 dS m⁻¹), respectivamente, ultrapassando as concentrações de magnésio, enxofre e fósforo sob estresse salino.

Tabela 5. Macronutrientes e sódio em plantas de genótipos de maracujazeiro (Guinezinho e Gigante Amarelo - BRS GA₁), sob irrigação com água salina.

CEa	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Ip	Solo
dS m ⁻¹	----- g kg ⁻¹ de matéria seca -----							(dia)	
Nascimento (2010) - Acesso Guinezinho									
0,35	44,1	2,4	19,3	6,4	7,8	9,4	*	122	LA
3,89	42,6	2,5	16,8	5,8	4,4	8,6	*		
Dif. (%)	-3,4	+4,2	-12,9	-9,4	-43,6	-8,5	-		
Dias (2011) - Acesso Guinezinho									
0,50	57,2	3,8	33,5	19,6	3,3	3,1	4,2	126	CH
4,50	46,1	3,9	25,4	14,9	3,2	2,9	5,6		
Dif. (%)	-19,4	+2,6	-24,2	-23,9	-3,1	-6,5	+33,3		
Freire et al. (2013) - Acesso Guinezinho									
0,50	54,0	3,4	23,1	8,1	3,1	17,8	3,1	117	AA
4,50	51,4	3,7	17,5	6,4	2,6	15,1	6,4		
Dif. (%)	-4,8	+8,8	-24,2	-21,0	-19,2	-15,2	+106,5		
Bezerra (2018) - Gigante Amarelo - BRS GA ₁									
0,30	47,5	2,7	26,3	16,9	4,7	3,1	3,4	142	NR
4,00	43,8	2,1	13,6	12,8	3,2	2,7	9,6		
Dif. (%)	-7,8	-22,2	-48,3	-24,3	-31,9	-12,9	+123,5		
¹ Teor adequado	40-50	4-5	35-45	15-20	3-4	3-4			
² Elevada prod.	41-58	3-4	23-38	6-14	2-4	3-5	1-4		

CEa = condutividade elétrica da água de irrigação; Ip = idade das plantas; LA = Latossolo Amarelo; CH = Cambissolo Húmico; AA = Argissolo Amarelo latossólico; NR = Neossolo Regolítico; Dif. = diferença; ¹Teor adequado conforme Malavolta et al. (1989); ²Valores obtidos em populações de elevada produtividade irrigadas com água sem restrição salina (Carvalho et al., 2002); * = não avaliado.

Pelo aumento da salinidade da água de irrigação, os teores foliares dos nutrientes podem ser reduzidos para níveis abaixo do adequado à cultura, como constatado para cálcio (Dias, 2011; Bezerra, 2018), magnésio (Freire et al., 2013) e enxofre (Dias, 2011; Bezerra, 2018). Porém, destaca-se que a maior redução, ocasionada pela salinidade, no geral, ocorre nos teores de K⁺, pois, além de ser um dos nutrientes minerais que permanecem na forma iônica nos tecidos da planta (Taiz et al., 2017), compete, também, por sítio de absorção do sódio e é substituído por este elemento mineral, em algumas funções fisiológicas das plantas (Marschner, 2012).

Problemas nutricionais ocorrem nos teores foliares dos micronutrientes boro e ferro, em geral, que diminuem com o aumento da salinidade da água; em relação aos de cobre, manganês e zinco, os efeitos são variados (Tabela 6). Com boro, por exemplo, há caso em que o aumento na condutividade elétrica da CEa reduz o seu teor para um nível inferior ao adequado, como observado por Dias (2011), ou, em outra situação, eleva o teor de cobre para um nível acima do adequado, como registrado por Freire et al. (2015).

Tabela 6. Micronutrientes em plantas de maracujazeiro amarelo sob irrigação com água salina.

CEa	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Ip	Solo
dS m ⁻¹	----- mg kg ⁻¹ de matéria seca -----					(dia)	
Nascimento (2010) - Acesso Guinezinho							
0,35	31,9	15,1	91,8	62,1	14,5	122	LA
3,98	19,5	15,7	82,1	89,8	17,4		
Dif. (%)	-38,9	+4,0	-10,6	+44,6	+20,0		
Dias (2011) - Acesso Guinezinho							
0,50	40,1	16,3	143,5	94,9	54,2	126	CH
4,50	31,8	16,1	142,6	135,4	53,2		
Dif. (%)	-20,7	-1,2	-6,3	+42,7	-1,8		
Freire et al. (2015) - Acesso Guinezinho							
0,35	70,4	12,1	55,8	224,3	39,5	117	AA
3,98	46,1	28,2	46,2	181,5	44,4		
Dif. (%)	-34,5	+133,1	-17,2	-19,1	+12,4		
¹ Teor adequado	40-50	10-20	120-200	400-600	25-40		
² Elevada prod.	34-49	4-8	77-246	44-95	21-32		

CEa: condutividade elétrica da água de irrigação; Ip = idade das plantas; LA = Latossolo Amarelo; AA = Argissolo Amarelo; Dif. = diferença; ¹Teor adequado conforme Malavolta et al. (1989); ²Valores obtidos em populações de elevada produtividade irrigadas com água sem restrição salina (Carvalho et al., 2002).

5 SALINIDADE E ASPECTOS FISIOLÓGICOS DO MARACUJAZEIRO AMARELO

O excesso de sais da água de irrigação e do solo, além de efeitos nas fases iniciais das plantas (germinação de sementes, crescimento e nutrição de mudas), causam, também, distúrbios fisiológicos, enzimáticos e bioquímicos nas culturas em geral (Parihar et al., 2015). Especificamente no maracujazeiro, os sais exercem ação degenerativa nos processos fotossintéticos, com redução da eficiência do uso da energia luminosa e fixação de carbono (Nunes et al., 2017; Moura et al., 2019; Lima et al., 2020). No entanto, estudos indicam que as plantas podem se recuperar durante o período noturno do estresse salino, imposto durante o período diurno (Marler, 2013).

Em mudas de maracujazeiro amarelo, que é considerada uma das fases da cultura mais sensíveis à salinidade (Cavalcante et al., 2002; Dias et al., 2012b), o estresse salino reduz o conteúdo de água foliar e causa danos na membrana celular, avaliado pelo aumento do extravasamento de eletrólitos, que pode ser um indicativo de morte das células (Santos et al., 2018). Além desses danos, os sais também afetam, negativamente, as trocas gasosas na fase de crescimento inicial, com diminuição da fotossíntese líquida, condutância estomática, transpiração e da eficiência instantânea de carboxilação (Andrade et al., 2019). O estresse salino provoca alterações anatômicas nas folhas, pela alteração no mesófilo, na epiderme (superior e inferior) e nos parênquimas (paliçádico e esponjoso), deixando-os mais espessos em comparação aos de plantas irrigadas com água não salina (Moura et al., 2019; Lima et al., 2020). Estes autores observaram, também, maiores quantidades de cristais de oxalato de cálcio na forma de drusas no córtex das raízes.

5.1 Pigmentos fotossintéticos

O aumento da concentração de sais (cloreto de sódio, principalmente) na água de irrigação, pode inibir a síntese de pigmentos fotossintéticos (clorofilas *a* e *b*) e de fotoproteção (carotenoides) do maracujazeiro amarelo, em todas as fases de crescimento e desenvolvimento da cultura (Tabela 7). O aumento da salinidade da água de irrigação de 0,5 para 4,5 dS m⁻¹ reduz os teores de clorofilas e carotenoides em plantas adultas, com perdas de até 80,1% em pigmentos clorofiláticos (Cavalcante et al., 2011) e de até 66,5% nos de carotenoides (Freire et al., 2013).

Tabela 7. Clorofilas, carotenoides e teor foliar de nitrogênio em plantas adultas e mudas de maracujazeiro amarelo sob irrigação com águas de baixa e moderada salinidade

CEa	Cl _a	Cl _b	Cl _t	Car	N	Ip
dS m ⁻¹	----- mg g ⁻¹ de MF -----				g kg ⁻¹	(dia)
Cavalcante et al. (2011)						
0,50	1,27	0,49	1,76	0,313	*	448
4,50	0,74	0,35	0,35	0,293	*	
Dif. (%)	-41,7	-28,6	-80,1	-6,4	-	

CEa	Cl _a	Cl _b	Cl _t	Car	N	Ip
dS m ⁻¹	----- mg g ⁻¹ de MF -----				g kg ⁻¹	(dia)
Freire et al. (2013)						
0,50	1,29	0,31	1,59	0,451	54,8	117
4,50	1,09	0,15	1,24	0,151	50,2	
Dif. (%)	-15,5	-51,6	-22,0	-66,5	-8,4	
	Cl _a	Cl _b	Cl _t	Car	N	Ip
	----- g m ⁻² de área foliar -----				g kg ⁻¹	dia
Wanderley et al. (2016)						
0,30	1,30	0,39	1,69	*	*	85
3,10	1,00	0,29	1,29	*	*	
Dif. (%)	-23,1	-25,6	-23,7	-	-	
	Clorofila				N	P
	Índice SPAD				g kg ⁻¹	dia
Andrade et al. (2018)						
	BRS GA1		BRS RC			50
0,20	30,91		35,70		*	
6,20	17,10		16,70		*	
Dif. (%)	-44,7		-53,2		-	

CEa = condutividade elétrica da água de irrigação; Cl_a = clorofila a; Cl_b = clorofila b; Cl_t = clorofil total; Car = carotenóides; Ip = idade das plantas; Dif. = diferença; * = não foram avaliados.

A produção de clorofila em cotilédones de *Passiflora edulis* Sims foi inibida em plântulas irrigadas com água contendo 120 mM de NaCl (Montaña et al., 2014). Em mudas de maracujazeiro-amarelo, os teores foliares de clorofila a, b foram reduzidos em 23 e 26%, quando se aumentou a salinidade da água para os respectivos valores de 0,3 e 3,1 dS m⁻¹ (Wanderley et al., 2016). Andrade et al. (2018), ao usarem mudas de maracujazeiro amarelo, cultivares BRS GA1 e BRS RC, verificaram redução do índice SPAD em 45 e 53%, respectivamente, ao serem irrigadas com água de 6,2 dS m⁻¹. Em híbridos de maracujá amarelo, Lima et al. (2020) constataram redução média de 31% nos teores foliares de clorofila total, ao aumentar a salinidade da água de 0 para 150 mM. Os autores destacam que, apesar do estresse salino causar redução nos índices de clorofila do maracujazeiro amarelo, há variações da tolerância ao estresse salino, entre materiais genéticos.

No geral, o efeito causado pelo estresse salino nos pigmentos fotossintéticos do maracujazeiro se deve, principalmente, pelo aumento da atividade da enzima clorofilase, que afeta a síntese de clorofila, ao mesmo tempo em que aumenta sua degradação (Santos, 2004; Li et al., 2015). A redução dos teores de carotenóides, devido ao estresse salino, pode reduzir a capacidade das plantas em dissipar o excesso de energia luminosa e aumentar o estresse fotoxidativo, causando danos em lipídios, proteínas e ácidos nucleicos da célula (Borghesi et al., 2011; Oliveira et al., 2015; Gomes et al., 2017).

5.2 Rendimento quântico do fotossistema II e trocas gasosas

O rendimento quântico do fotossistema II (Fv/Fm) do maracujazeiro amarelo é reduzido quando se irriga com água salina (Tabela 8). Esse declínio no Fv/Fm é indicativo de alterações no estado funcional das membranas dos tilacóides (cloroplastos), ao reduzir o uso da radiação fotoquímica e, conseqüentemente, a assimilação de carbono pelas plantas (Freire et al., 2014a). Marler (2013) relata redução do rendimento quântico do maracujazeiro, sob irrigação com água salina, ao longo do dia, com recuperação noturna, razão por que classificava a espécie, baseado em índices fisiológicos, como moderadamente sensível. No entanto, pode haver variações entre materiais genéticos, quanto ao rendimento quântico do maracujazeiro amarelo sob estresse salino. Nesse sentido, Andrade et al. (2018) não verificaram efeito inibidor da salinidade no rendimento quântico do maracujazeiro BRS GA1 (Gigante Amarelo), com aumento da salinidade das águas de 0,2 para 6,2 dS m⁻¹, mas provocou perdas de 17% no BRS RC (Rubi do Cerrado).

Tabela 8. Rendimento quântico e trocas gasosas em plantas adultas de maracujazeiro amarelo irrigadas com águas de baixa e alta salinidade.

Variável	Freire et al. (2014a)			Nunes et al. (2017)			Bezerra et al. (2019a)		
	CEa		Dif	CEa		Dif	CEa		Dif
	dS m ⁻¹		%	dS m ⁻¹		%	dS m ⁻¹		%
	0,50	4,50	-	0,35	4,0	-	0,30	4,0	-
Fv/Fm	0,82	0,77	-6,1	*	*	-	*	*	-
gs	0,05	0,03	-40,0	0,2414	0,2409	-0,2	na	na	Na
Ci	229,4	259,7	+13,2	172,57	162,23	-6,0	247,82	240,81	-2,8
E	na	na	Na	4,2307	4,4843	+6,0	4,22	3,93	-6,9
A	2,56	1,80	-29,8	23,09	19,39	-16,0	11,40	11,80	+3,5
EUA	*	*	*	5,45	4,32	-20,7	2,70	3,00	+11,1
EiC	0,011	0,006	-45,5	0,13	0,11	-15,4	0,046	0,049	+6,5

CEa = condutividade elétrica da água de irrigação; Dif = Diferença; Fv/Fm = rendimento quântico do fotossistema II; gs = condutância estomática (mmol m⁻² s⁻¹); Ci = concentração interna de CO₂ (mmol mol⁻¹); E = transpiração (mmol H₂O m⁻² s⁻¹); A = fotossíntese líquida (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹); EUA = eficiência do uso da água (A/E, μmol CO₂ mmol⁻¹ H₂O); EiC = eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci, mol CO₂ m⁻² s⁻¹); * = não avaliados.

Similarmente ao rendimento quântico, as trocas gasosas do maracujazeiro amarelo são alteradas, com aumento da concentração de sais na água de irrigação, com perdas na eficiência de uso da água (EUA) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC) das plantas (Tabela 8). Dentre os aspectos fisiológicos, a taxa fotossintética líquida (A) é uma das mais prejudicadas, podendo ocorrer perdas de até 7%, por aumento unitário da salinidade, fato registrado por Freire et al. (2014a). Tal efeito é consequência da redução da condutância estomática (gs), que pode chegar a 10%, a cada incremento de 1 dS m⁻¹ na CEa (Freire et al., 2014a) e o influxo de gás carbônico para as câmaras subestomáticas. A salinidade interfere, igualmente, nas reações bioquímicas que ocorrem no estroma dos cloroplastos (Cruz et al.,

2017), por aumentar a atividade oxigenase da rubisco (perda de carbono na fotorrespiração), enquanto se reduz a rubisco carboxilase (ribulose bifosfato carboxilase), diminuindo a síntese de composto orgânico, segundo Sivakumar et al. (2000).

Alterações nos parâmetros fisiológicos foram verificadas em plantas jovens de maracujazeiro amarelo (Andrade et al., 2019). Os autores constataram que fotossíntese, transpiração, condutância estomática e eficiência de carboxilação das mudas, com 60 dias após a semeadura, reduziram-se em cerca de 47, 38, 35 e 76%, respectivamente, quando irrigadas com água de 2,8 dS m⁻¹ em comparação às irrigadas com água de 0,3 dS m⁻¹. A aplicação de água salina, durante 14 dias, interferiu, negativamente, no aparato fotossintético do maracujazeiro, com perdas na concentração interna de carbono (Ci), transpiração (E), condutância estomática (gs) e fotossíntese (A) na ordem de 24, 26, 61 e 21% e se refletiu na baixa eficiência no uso da água (EUA) (Lima et al., 2020).

6 RENDIMENTO, TOLERÂNCIA E QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DE FRUTOS

A salinidade da água e do solo, pela ação osmótica do complexo salino, específica de alguns cátions e ânions (Richards, 1954; Holanda et al., 2016) e por efeito de fatores do ambiente (Katerjii et al., 2000; Beltrán, 2016; Ouda et al., 2018), interferem, negativamente, em todas as fases fenológicas das plantas de importância agrícola. A inibição resulta na redução da capacidade produtiva das culturas, em geral (Lacerda et al., 2016) e, também, na passicultura (Cavalcante et al., 2005b; Soares et al., 2008; Dias et al., 2012b; Bezerra et al., 2019a; 2020). Em tais situações, pela carência mundial de água sem restrição salina ou de restrição moderada à agricultura, uma alternativa pode ser o uso de espécies de elevado potencial produtivo, com uso de águas com concentração de sais, em níveis não tolerados pela grande maioria das plantas cultivadas de valor comercial.

As perdas durante o processo germinativo, formação de biomassa e frutificação podem ser estimadas pelos valores relativos de produção, obtidos em cada nível salino e não salino da água e do solo (Maas & Hoffman, 1977), admitindo-se o maior valor absoluto como 100% e que a água contribui com pelo menos 50% do aumento da salinidade do solo (CEes = 1,5 CEa), segundo Ayers & Westcot (1999) (Eq. 1) e, nas mesmas condições, pelas perdas percentuais entre os valores absolutos (Fageria, 1985; Fageria et al., 2010) (Eq. 2). Ambas as metodologias classificam as plantas em sensíveis, moderadamente sensíveis, moderadamente tolerantes e tolerantes (Tabela 9).

$$Y = Y_0 = (CEes - SL) \quad \text{Eq. 1.}$$

Em que: Y = rendimento relativo na salinidade do solo acima da salinidade limiar (%); Y₀ = rendimento máximo (100%) no nível de salinidade limiar da cultura (%); b = perda de rendimento por aumento unitário da salinidade limiar [% (dS m⁻¹)⁻¹]; CEes = condutividade elétrica do extrato de saturação acima da salinidade limiar que induz perdas às plantas (dS

m⁻¹); SL = salinidade limiar, correspondente a 100% do rendimento das plantas (dS m⁻¹), isto é, o maior nível salino da água e/ou do solo que não interfere negativamente no processo germinativo, crescimento, rendimento e qualidade da produção colhida.

$$Pr = \left(\frac{P_{ss}}{P_{sns}} - 1 \right) \times 100 \quad \text{Eq. 2.}$$

Em que: Pr = perda relativa de rendimento entre valores absolutos (%); P_{ss} = valor absoluto em solo salino (Emergência - %, formação de biomassa - g, produção - kg); P_{sns} = valor absoluto em solo não salino (Emergência - %, formação de biomassa - g, produção - kg).

Tabela 9. Classificação das plantas quanto à salinidade da água de irrigação e do solo pelo rendimento relativo, entre dados do solo salino e não salino (Maas; Hoffman, 1977) e pela perda de rendimento entre valores absolutos das plantas no ambiente salino e não salino (Fageria, 1985; Fageria et al., 2010).

Maas & Hoffman (1977)		Fageria (1985); Fageria et al. (2010)		
Salinidade Limiar- SL		Tolerância relativa à salinidade	Redução	Tolerância relativa à salinidade
Água	Solo			
dS m ⁻¹		Classe	%	Classe
0,9	1,3	Sensível (S)	>60	Sensível (S)
0,9 – 2,0	1,3 – 3,0	Mod. sensível (MS)	60-41	Mod. sensível (MS)
2,0 – 4,0	3,0 – 6,0	Mod. tolerante (MT)	40-21	Mod. tolerante (MT)
4,0 – 7,0	6,0 – 10,0	Tolerante (T)	0 – 20	Tolerante (T)

Mod. = moderadamente

Os níveis de salinidade da água e, com efeito, do solo, que inibem completamente a emergência de plântulas normais (Eq. 3), formação de biomassa radicular (Eq. 4) e produtividade do maracujazeiro amarelo (Eq. 5) (Tabela 10) são respectivamente 8,5; 5,8 e 10,5 dS m⁻¹ e as perdas por aumento unitário do índice salino da água são de 12,3; 19,7 e 9,4% (dS m⁻¹)⁻¹, segundo Mass & Hoffman (1977). A concentração salina da água superior a 0,5 dS m⁻¹ resultou na salinidade do solo acima de 1,3 dS m⁻¹, em perdas de 18,9 e 19% na emergência de plântulas normais, biomassa de raízes e rendimento das plantas sob irrigação com água de 1,5 dS m⁻¹ e de 52, 74 e 38% quando irrigadas com água de 4,5 dS m⁻¹. Essas perdas indicam que a salinidade da água superior a 0,5 dS m⁻¹ comprovam as afirmativas de Maas & Hoffman (1997) e de Ayers & Westcot (1999) de que o maracujazeiro amarelo é sensível e/ou moderadamente sensível aos sais.

$$CEaiE_o = \frac{104,3}{12,3} \quad \text{Eq. 3.}$$

$$CEaiB_R = \frac{114,1}{19,7} \quad \text{Eq. 4.}$$

$$CEaiR = \frac{9,87}{9,4} \quad \text{Eq. 5.}$$

Em que: $CEaE_p$, $CEaB_R$, $CEaR$ = respectivamente valores máximos da condutividade elétrica da água que resultam em valores nulos de emergência de plântulas normais, formação de biomassa de raízes e rendimento produtivo das plantas.

Tabela 10. Valores da salinidade da água de irrigação e do solo, valores absolutos e relativos de emergência de plântulas normais, biomassa de raiz e de produção do maracujazeiro amarelo, conforme Maas & Hoffman (1977), Ayers & Westcot (1999).

Salinidade		Emergência		*Biomassa		**Rendimento (1)	
Água	Solo	Va	Vr	Va	Vr	Va	Vr
dS m ⁻¹		un	%	g	%	kg ha ⁻¹	%
0,5	0,75	88	100	3,4	100	11.954	100
1,5	2,25	72	82	3,1	91	9.732	81
2,5	3,75	65	74	2,2	65	8.344	70
3,5	5,25	55	63	1,4	42	7.510	63
4,5	6,75	42	48	0,88	26	7.377	62

Va e Vr = valores absolutos e relativos, respectivamente; * = massa de raiz; ** = adaptado de Dias et al. (2012b); un = unidade; (1) = valores da primeira colheita.

Fageria (1985) e Fageria et al. (2010) usam o coeficiente entre valores absolutos, em solo salino e não salino (Eq. 5) (Tabela 10) e constataram que a cultura, nas mesmas condições da Tabela 11, comportou-se como moderadamente sensível durante a emergência de plântulas normais e produção de biomassa. Entretanto, divergem de Maas & Hoffman (1977) e de Ayers & Westcot (1999) quanto à produtividade, por exibir maior redução no rendimento de 38% sob irrigação com água de até 4,5 dS m⁻¹, quando o máximo permitido, sob cultivo irrigado de forma convencional, é de 3,0 dS m⁻¹ (Ayers & Westcot, 1999); nesse nível de perdas, a planta poderia ser classificada como moderadamente tolerante à salinidade. Entretanto, vale ressaltar que reduções de até 20% e de 21 a 40%, para classificação de uma cultura como tolerante e moderadamente tolerante à salinidade, respectivamente, evidenciam perdas elevadas que podem comprometer a sustentabilidade do sistema produtivo da cultura.

Tabela 11. Valores da salinidade da água de irrigação e do solo, valores absolutos e relativos de emergência de plântulas normais, biomassa de raiz e de produção de maracujazeiro amarelo, conforme Fageria (1985) e Fageria et al. (2010).

Salinidade		Emergência		*Biomassa		**Rendimento	
Água	Solo	Va	Vr	Va	Vr	Va	Vr
----dS m ⁻¹ ----		m	%	g	%	kg ha ⁻¹	%
0,5	0,75	88	00	3,4	00	11.954	00
1,5	2,25	72	18	3,1	09	9.732	19
2,5	3,75	65	26	2,5	26	8.344	30
3,5	5,25	55	38	1,4	59	7.510	37
4,5	6,75	42	52	0,88	74	7.377	38

Va e Vr = respectivamente valores absolutos e relativos; * = massa de raiz; ** = adaptado de Dias et al. (2012b); un = unidade; SM = salinidade máxima da água para valores nulos de cada variável; SL = Salinidade limiar da água.

Os órgãos das plantas, de uma mesma espécie vegetal, podem responder de forma semelhante aos sais na fase germinativa e no crescimento inicial e diferir durante a fase produtiva. Há, também, espécies de uma mesma família que respondem de forma similar à salinidade. As diferenças de resposta evidenciam as fases de maior e menor tolerância ou ajustamento osmótico das plantas, aos efeitos danosos do excesso da mistura de sais, da ação específica de íons e da interação entre salinidade, fertilidade e ambiente. As interações de competição por água, nutrientes e por luz, reduzem a energia total da água do solo, comprometem a nutrição, fisiologia e bioquímica, e interferem, negativamente, na produtividade das culturas, em geral (Bernstein & Hayward, 1958; Munns & Tester, 2008; Dias et al., 2016; Prisco et al., 2016) e do maracujazeiro amarelo (Ayres & Westcot, 1999; Cruz et al., 2006; Nunes et al., 2017).

As águas da maioria das terras semiáridas dos Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, são de mananciais subterrâneos e possuem teor salino que limita o crescimento e o rendimento das plantas de interesse comercial (Medeiros, 1992; Cavalcante & Cavalcante, 2006; Holanda et al., 2016). No maracujazeiro, os sais prejudicam o crescimento inicial (Soares et al., 2002; Dias et al., 2012a; Oliveira et al., 2015; Wanderley et al., 2018), a qualidade das mudas (Medeiros et al., 2016b; Moura et al., 2017; Oliveira, 2019) e o crescimento e a homogeneidade do pomar no campo (Freire et al., 2012; Souza et al., 2016). Os sais promovem, também, alterações nutricionais (Cruz et al., 2006; Nascimento, 2010; Freire et al., 2015) e fisiológicas (Moura et al., 2019; Bezerra et al., 2019a) que se refletem na perda da capacidade produtiva da cultura (Soares et al., 2008; Nascimento, 2010; Freire, 2011; Prazeres, 2016; Nunes et al., 2017; Bezerra et al., 2020) (Tabela 12).

Dos materiais de *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deneger Sims, irrigadas com águas de baixo e alto teor salino, a variedade Redondo Amarelo (RA) e a cultivar Gigante Amarelo (BRS GA1) produziram como plantas tolerantes; o acesso 'Guinezinho' exibiu tolerância variada, de moderadamente sensível a moderadamente tolerante aos sais (Tabela 12). Culturas com perdas de rendimento abaixo de 20% são classificadas como tolerantes, de 41 - 60% e de 21 - 40%, respectivamente como moderadamente sensíveis e moderadamente tolerantes (Fageria, 1985; Fageria et al., 2010). Apesar da classificação como tolerante e moderadamente tolerante, os valores absolutos de rendimento são baixos, em comparação ao potencial produtivo de cultivares e híbridos brasileiros de maracujazeiro amarelo.

Dentre os maracujás brasileiros, geneticamente melhorados, destacam-se IAC 273, IAC 275 e IAC 277 desenvolvidos pelo Instituto Agrônomo de Campinas - IAC (Meletti et al., 2000) e Gigante Amarelo (BRS GA1), Sol do Cerrado (BRS SC), Ouro Vermelho (BRS OV) produzidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (Embrapa, 2010). Esses materiais, apesar de mais explorados nas regiões do Brasil Central e Sudeste, em cultivos não irrigados e irrigados com água sem restrição salina, são promissores e viáveis, com rendimento anual de 40 t ha⁻¹ ou superior (Meletti, 2011; Krauze et al., 2012); já despertam interesse pelos pesquisadores e produtores nordestinos brasileiros para cultivo sob irrigação com água não salina (Cavalcante et al., 2003; Dias et al., 2004; Gondim et al.,

2009; Suassuna et al., 2011) e salina (Nunes et al., 2017; Aguiar et al., 2017; Souza et al., 2018; Bezerra et al., 2019a; 2020).

Tabela 12. Produtividade e classificação de variedades e cultivares de maracujazeiro amarelo à salinidade, conforme Fageria (1985) e Fageria et al. (2010), sob irrigação com águas de baixa e alta concentração salina.

*Soares et al. (2008) – RA					*Nascimento (2010) – AG				
CEa	Ep	Ip	Solo	Pt	CEa	Ep	Pp	Solo	Pt
dS m ⁻¹	m	dia	-	kg ha ⁻¹	dS m ⁻¹	m	dia	-	kg ha ⁻¹
0,20	3,0 x 2,5	270	LC	5.410	0,35	3,0 x 2,5	280	LA	22.600
5,00				4.380	3,89				15.970
Dif (%)	-	-	-	-19	Dif (%)	-	-	-	-29
**TS	-	-	-	T	**TS	-	-	-	MT
*Freire (2011) – AG					*Prazeres (2016) – AG				
CEa	Ep	Ip	Solo	Pt	CEa	Ep	Ip	Solo	Pt
dS m ⁻¹	m	dia	-	kg ha ⁻¹	dS m ⁻¹	m	dia	-	kg ha ⁻¹
0,50	3,0 x 3,0	240	AA	7.521	1,42	3,0 x 2,5	720	LA	13.842
4,50				3.233	4,32				7.869
Dif (%)	-	-	-	-57	Dif (%)	-	-	-	-43
**TS	-	-	-	MS	**TS	-	-	-	MS
*Nunes et al. (2017) - BRS GA1					*Bezerra et al. (2019a) - BRS GA1				
CEa	Ep	Ip	Solo	Pt	CEa	Ep	Ip	Solo	Pt
dS m ⁻¹	m	dia	-	kg ha ⁻¹	dS m ⁻¹	m	dia	-	kg ha ⁻¹
0,35	3,0 x 2,0	390	NR	20.100	0,30	3,0 x 2,0	240	LA	24.505
4,00				18.980	4,00				20.171
Dif (%)	-	-	-	-6	Dif (%)	-	-	-	-18
**TS	-	-	-	T	**TS	-	-	-	T

CEa = condutividade elétrica da água de irrigação; * = adaptado dos originais; Dif. = diferença; **TS = tolerância à salinidade (Fageria, 1985; Fageria et al. (2010); RA = Redondo Amarelo; AG = Acesso Guinezinho; BRS GA1 = Gigante amarelo; Ep, Ip, Pt = respectivamente, espaçamento de plantio, idade das plantas, produtividade; LC = Luvissole Crômico; LA = Latossolo Amarelo; AA = Argissolo Amarelo latossólico; NR = Neossolo Regolítico; MS = moderadamente sensível; MT = moderadamente tolerante; T = tolerante à salinidade.

O aumento da salinidade da água de irrigação, exceto em um ou outro componente (Tabela 13), também se manifesta de forma geral na perda de qualidade física e físico-química dos frutos de maracujazeiro amarelo (Cavalcante et al., 2001; Gondim et al., 2012; Freire et al., 2014b). Os atributos de exigência comum para o mercado de consumo ‘*in natura*’ e industrial, para o processamento da polpa, são a coloração intensa da casca e do suco, pH, teor de sólidos solúveis - SS (°Brix), acidez titulável - AT, teor de proteínas, vitaminas, cálcio, ferro, fósforo e potássio (Balbino, 2005). O consumidor de suco ao natural, ou de outra forma de consumo de mesa, prefere frutos grandes com beleza plástica atraente aos olhos, polpa de baixa acidez e sabor adocicado (Haendler, 1965). Os atributos mais exigidos de frutos para suco concentrado são a percentagem de polpa, índice de formato e elevada acidez titulável (Costa et al., 2005b).

Tabela 13. Qualidade física e físico-química de frutos de maracujazeiro amarelo sob irrigação com água de baixa e alta salinidade.

Atributos físicos de frutos									
Variável	*Freire et al. (2010)			*Dias et al.(2012b)			*Nunes (2016)		
	CEa		Dif	CEa		Dif	CEa		Dif
	dS m ⁻¹		%	dS m ⁻¹		%	dS m ⁻¹		%
	0,50	4,50	-	0,50	4,50	-	0,35	4,00	-
MF (g)	142	161	+13	191	141	-26	219	204	-7
RP (%)	51	49	-4	47	45	-4	55	52	-5
F _C (N)	93,5	88,1	-6	65,3	99,6	+53	61,2	68,3	+12
D _L (mm)	81	77	-5	79	48	-39	104	83	-20
D _T (mm)	71	61	-1	67	44	-34	95	81	-15
IF	1,14	1,26	+1	1,18	1,09	-8	1,09	1,02	-6
Atributos físico-químicos de frutos									
Variável	*Nascimento (2010)			*Dias et al. (2011)			*Freire et al. (2014c)		
	CEa		Dif	CEa		Dif	CEa		Dif
	dS m ⁻¹		%	dS m ⁻¹		%	dS m ⁻¹		%
	0,35	3,89	-	0,50	4,50	-	0,50	4,50	-
pH	3,2	3,0	-6	3,7	3,2	-13	3,7	3,5	-5
SS (%)	13,8	11,3	-18	15,5	13,1	-18	12,7	11,0	-13
AT (%)	4,9	5,1	+4	4,7	5,2	+11	4,3	3,4	-21
**Vit C	28,1	20,1	-28	28,3	13,8	-51	19,6	22,2	+13
SS/AT	2,7	2,2	-19	3,3	2,5	-2	3,3	3,0	-9

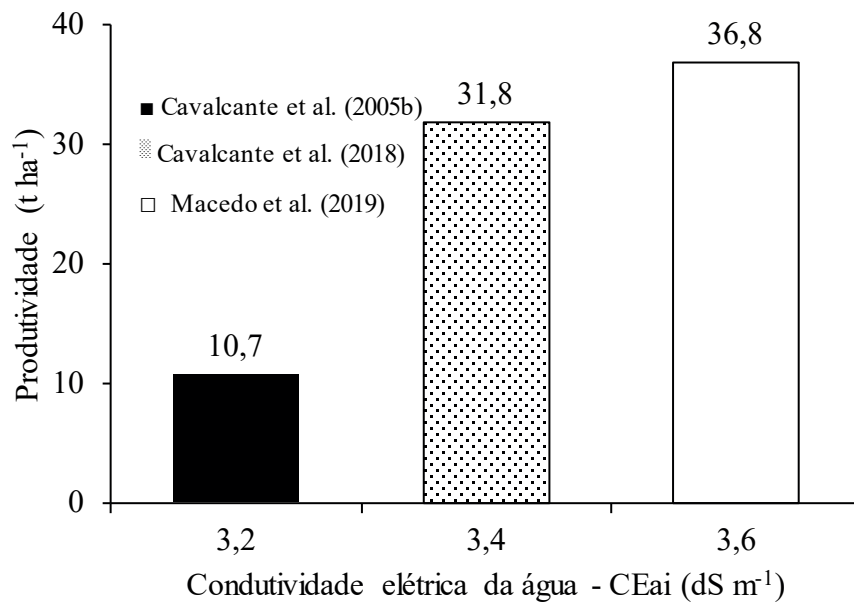
* = adaptado dos originais; CEa = condutividade elétrica da água; Dif = diferença; MF; RP; F_C; D_L; D_T = respectivamente, massa, rendimento em polpa, firmeza da casca, diâmetro longitudinal e transversal; DL[IF = índice de formato de fruto (IF = D_L/D_T)]; SS, AT, Vit C, SS/AT = respectivamente sólidos solúveis, acidez titulável, vitamina C e relação sólidos solúveis/acidez titulável; ** = mg 100⁻¹.

As águas moderadamente salinas (CEa = 4,00 e 4,50 dS m⁻¹) induzem perdas em massa e rendimento de polpa, tamanho e formato dos frutos, como registrados pela maioria dos autores citados na Tabela 13. Os efeitos também são danosos em pH da polpa, teores de sólidos solúveis, acidez titulável, vitamina C e no sabor referente à doçura dos frutos (Ratio = SS/AT). Entretanto, as reduções não comprometem, seriamente, a qualidade física e físico-química da produção para o mercado consumidor, em geral. Ao se considerar que o mercado brasileiro para o consumo *in natura*, desde o início do século XXI (Balbino, 2005) prefere frutos com massa entre 160 e 210 g, rendimento em polpa e sólidos solúveis (SS - °Brix) próximos de 50 e 15%, acidez titulável e pH, entre 3 - 5% e 2,3 - 2,3, relação SS/AT e teor de vitamina C, respectivamente de 3,0 - 4,5 e de 20 - 30%. Ao se considerar, também, que a indústria para o processamento da polpa (Costa et al., 2005b; Pires et al., 2011) exige frutos ácidos, com elevado °Brix e ricos em vitamina C, verifica-se a possibilidade de uso de águas salinas no cultivo do maracujazeiro amarelo.

As respostas produtivas do maracujazeiro irrigado, com águas de restrição salina severa à agricultura, são mais expressivas em solos de textura arenosa e profundos por

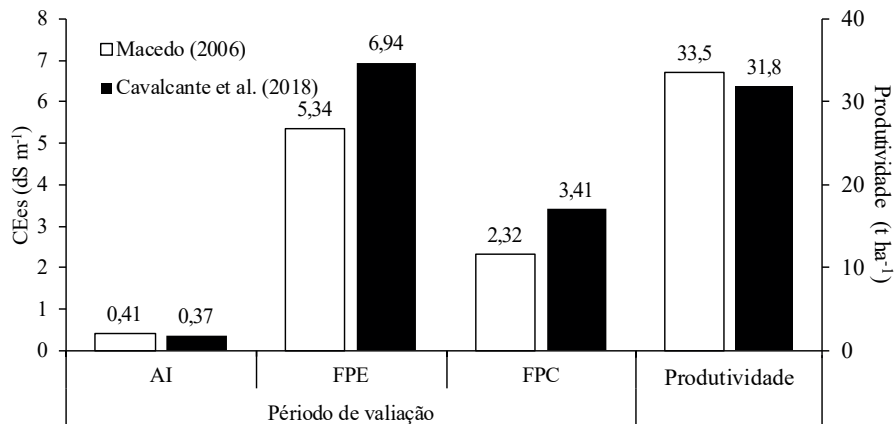
disponibilizarem maior espaço macroporoso à dinâmica de água e ao crescimento radicular das plantas. Os dados de produtividades expostos na Figura 1, apesar de crescentes com o aumento da concentração salina das águas de irrigação, único recurso hídrico de muitas propriedades agrícolas, não permitem afirmar que quanto maior o teor de sais da água maior o rendimento da cultura. O menor rendimento (Cavalcante et al., 2005b) foi colhido de plantas desenvolvidas em solo Luvisso Crômico, profundidade efetiva e aeração mais limitante às plantas do que em Latossolo Amarelo (Cavalcante et al., 2018; Macedo et al., 2019), por ser de textura mais livre, perfil mais desenvolvido e drenagem mais eficiente ao sistema planta-solo-água.

Figura 1. Produtividade de maracujazeiro amarelo sob salinidade crescente da água, em Luvisso Crômico (Cavalcante et al., 2005b) e Latossolo Amarelo (Cavalcante et al., 2018; Macedo et al., 2019).



Em solos mais arenosos, onde a água é severamente restritiva pelos sais e ocorrem pluviosidades durante meses consecutivos do ano, o monitoramento dos sais e o rendimento do maracujazeiro devem ser avaliados pelo aumento da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes) promovido pelas irrigações do início ao final do período da aridez e pela redução da CEes provocada pelas águas do início ao final do período chuvoso. Os aumentos da CEes de 0,41 e 0,37 dS m⁻¹ para 5,34 e 6,94 dS m⁻¹ expressam, respectivamente, o transporte de sais aos solos pelas irrigações durante a aridez e as reduções desses respectivos valores para 2,32 e 3,41 dS m⁻¹ indicam a lixiviação salina pelas águas do período chuvoso (Figura 2). O caráter salino inicial dos solos irrigados com água de 3,6 e 3,4 dS m⁻¹ (Macedo, 2006; Cavalcante et al., 2018) foi elevado de não salino para medianamente salino, no final do período da aridez, e os coeficientes entre 2,32/5,34 e 3,41/6,94 correspondem à lixiviação de 56,6 e 50,9% dos sais pelas águas durante o período chuvoso; essas lixiviações resultaram em níveis promissores de produtividade da cultura sob irrigação com águas salinas.

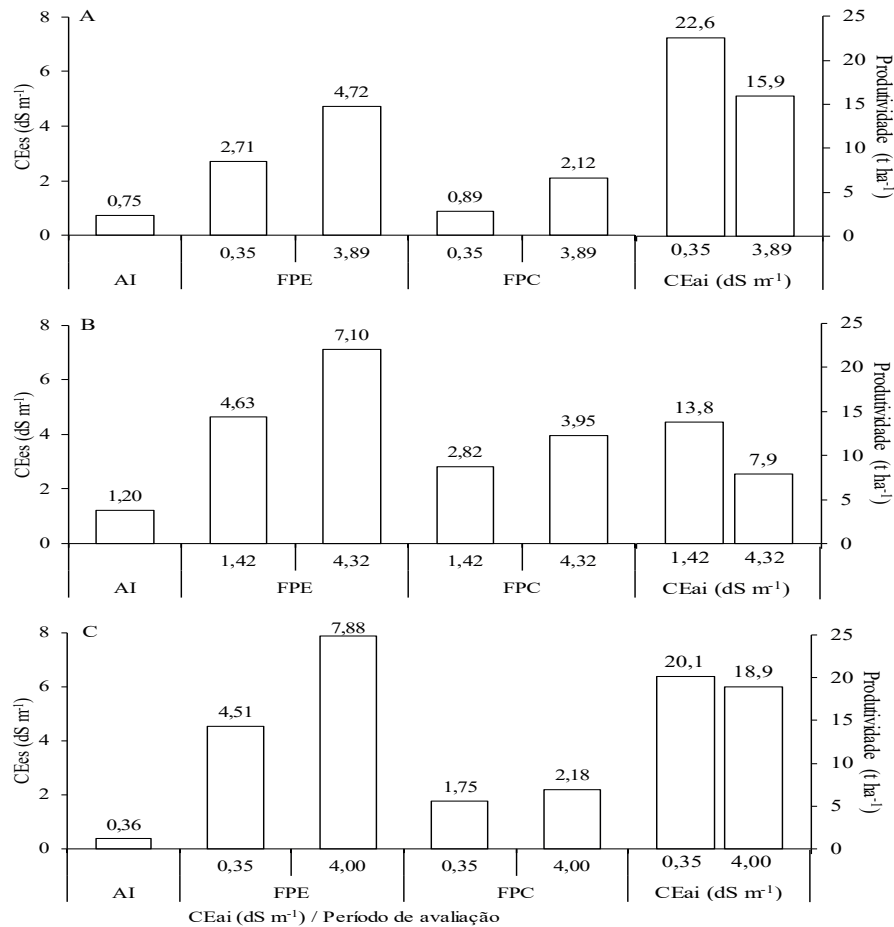
Figura 2. Aumento da condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) de dois solos Latossolo Amarelo, pelas irrigações com águas salinas, CEa 3,6 e 3,4 dS m⁻¹(Macedo, 2006; Cavalcante et al., 2018), do início ao final período da aridez (FPE), redução pelas águas das chuvas do início ao final do período chuvoso (FPC) e produtividade do maracujazeiro amarelo. AI = antes da irrigação.



Situações semelhantes às da Figura 2, quanto ao aumento da salinidade dos solos por irrigações (durante a aridez) e a lixiviação dos sais pelas águas das chuvas, estão apresentadas em trabalhos de Nascimento (2010) e Prazeres (2016) em Latossolo Amarelo e Nunes (2016) em Neossolo Regolítico (Figura 3). No entanto, o aumento da concentração salina das águas inibe, em menor ou maior proporção, a capacidade produtiva da cultura e até mesmo as águas sem restrição à agricultura podem elevar a condição do solo de não salino para ligeiramente salino durante a estiagem (Figura 3A) e moderadamente salino (Figura 3C). Apesar de as águas do período chuvoso promoverem a lixiviação dos sais em 67 e 55% (Figura 3A), 39 e 44% (Figura 3B), 61 e 72% (Figura 3C), o aumento da salinidade das águas de irrigação reduziu em 30, 43 e 6% o potencial produtivo da cultura.

A partir dos valores absolutos das produtividades, (Figura 3A e C), 15,9; 18,9; 31,8; 36,8 e 20,2 t ha⁻¹ (Nascimento et al., 2016; Nunes et al., 2017; Cavalcante et al., 2018; Bezerra et al., 2019a, 2020), constata-se que o maracujazeiro tem potencial de cultivo sob irrigação com águas moderadamente salinas e salinas, em solos de textura arenosa, como Latossolo Amarelo, Neossolo Regolítico e Neossolo Quartzarênico. Pela elevada macroporosidade dos solos arenosos, as águas do período chuvoso lixiviam os sais adicionados por irrigação contínua, durante o período de aridez das camadas onde se situa a maior proporção das raízes ativas do maracujazeiro; além disso, exercem anualmente uma ação atenuadora dos sais à cultura devido a autorecuperação dos solos no período das chuvas e potencializa o cultivo com águas salinas no período seguinte.

Figura 3. Aumento da condutividade elétrica do extrato de saturação dos solos (CEes), pelas irrigações com águas de salinidade crescente, do início ao final do período da aridez (FPE), redução pelas águas das chuvas do início ao final do período chuvoso (FPC) e produtividade do maracujazeiro amarelo (A - Nascimento, 2010 - Latossolo Amarelo; B - Prazeres, 2016 - Latossolo Amarelo; C - Nunes, 2006 - Neossolo Regolítico; AI = antes da irrigação).



LITERATURA CITADA

- Aguiar, A. V. M.; Cavalcante, L. F.; Salva, R. M.; Dantas, T. A. G.; Santos, E. C. Effect of biofertilization on yellow passion fruit production and fruit quality. *Revista Caatinga*, v. 30, n. 1, p. 136-148, 2017.
- Andrade, J. R.; Medeiros, A. S.; Maia Júnior, S. O.; Rezende, L. P.; Araújo Neto, J. C. Germination and morphophysiology of passion fruit seedlings under salt water irrigation. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 48, n. 3, p. 229-236, 2018.
- Andrade, E. M. G.; Lima, G. S.; Lima, V. L. A.; Silva, S. S.; Gheyi, H. R.; Silva, A. A. R. Gas exchanges and growth of passion fruit under saline water irrigation and H₂O₂ application. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 23, n. 12, p. 945-951, 2019.

- Araújo, M. M. V.; Fernandes, D. A.; Camili, E. C. Emergência e vigor de sementes de maracujá amarelo em função de diferentes disponibilidades hídricas. *Uniciências*, v. 20, n. 2, p. 82-87, 2016.
- Ayers, R. S.; Westcot, D. W. A qualidade da água na agricultura. 2 ed. Campina Grande: UFPB. 1999. 153p. FAO. Estudos Irrigação e Drenagem, 29.
- Balbino, J. M. S. Manejo na colheita e pós – colheita do maracujá. In: Costa, A. F. S., Costa, A. N. (Eds.). *Tecnologias para produção de maracujá*. Vitória: INCAPER. 2005. Cap. 7, p. 153-178.
- Bar, Y.; A, A.; Kafkafi, U.; Goren, R. Relationship between chloride and nitrate and its effect on growth and mineral composition of avocado and citrus plants. *Journal of Plant Nutrition*, v. 20, n. 6, p.715-731, 1997.
- Beltrán, J. M. Integrated approach to address salinity problems in irrigated agriculture. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. (Eds.). *Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados*. 2.ed. Fortaleza: INCTSal. 2016. Cap.11, p.149-162.
- Bernstein, L.; Hayward, H. E. Physiology of salt tolerance. *Review of Plant Physiology*, v. 9, p. 25-46. 1958.
- Bertani, R. M. A.; Silva, S. P.; Deus, A. C. F.; Antunes, A. M.; Fischer, I. H. Doses de nitrogênio no desenvolvimento de mudas altas de maracujá-amarelo. *Revista de Agricultura Neotropical*, v. 6, n. 1, p. 29-35, 2019.
- Bezerra, M. A. F. Atributos químicos, fisiologia, nutrição e produção do maracujazeiro sob salinidade da água, revestimento lateral das covas e cálcio no solo. Areia: UFPB, 2018. 139p. Tese de doutorado.
- Bezerra, M. A. F.; Pereira, W. E.; Bezerra, F. T. C.; Cavalcante, L. F.; Medeiros, S. A. S. Água salina e nitrogênio na emergência e biomassa de mudas de maracujazeiro amarelo. *Agropecuária Técnica*, v. 35, n. 1, p. 150-160, 2014.
- Bezerra, M. A. F.; Cavalcante, L. F.; Bezerra, F. T. C.; Silva, A. R.; Oliveira, F. F.; Medeiros, S. A. S. Saline water, pit coating and calcium fertilization on chlorophyll, fluorescence, gas exchange and production in passion fruit. *Journal of Agricultural Science*; v. 11, n. 2, p. 319-329, 2019a.
- Bezerra, M. A. F.; Pereira, W. E.; Bezerra, F. T. C.; Cavalcante, L. F.; Medeiros, S. A. S. Nitrogen as a mitigator of salt stress in yellow passion fruit seedlings. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 40, n. 2, p. 611-622, 2019b.

- Bezerra, M. A. F.; Cavalcante, L. F.; Bezerra, F. T. C.; Pereira, W. E.; Nascimento Neto, E. C. Calcium as salinity mitigator on the production components of passion fruit cultivated in protected pits. *Revista Caatinga*, 2020. (no prelo)
- Borges, A. L.; Lima, A. A. Maracujazeiro. In: Crisóstomo, L. A.; Naumov, A. Adubando para alta produtividade e qualidade: fruteiras tropicais do Brasil. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2009. Cap. 9, p. 166-181. IPI. Bulletin, 18.
- Borghesi, E.; González-Miret, M. L.; Escudero-Gilete, M. L.; Malorgio, F.; Heredia, F. J.; Maléndez-Martínez, A. J. Effects of salinity stress on carotenoids, anthocyanins, and color of diverse tomato genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 59, n. 21, p. 11676-11682, 2011.
- Bünemann, E. K.; Oberson, A.; Frossard, E. Phosphorus in Action: biological processes in soil phosphorus cycling. Springer®, 2011. 483p.
- Carvalho, A. J. C.; Martins, D. P.; Monnerat, P.H.; Bernardo, S.; Silva, J.A. Teores de nutrientes foliares no maracujazeiro-amarelo associados à estação fenológica, adubação potássica e lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.23, n.2, p.403-408, 2001.
- Carvalho, A. J. C.; Monnerat, P. H.; Martins, D. P.; Bernardo, S.; Silva, J. A. Teores foliares de nutrientes no maracujazeiro amarelo em função de adubação nitrogenada, irrigação e épocas de amostragem. *Scientia Agricola*, v. 59, n. 1, p. 121-127, 2002.
- Carvalho, A. J. C.; Fontes, P. S. F.; Freitas, M .S. M.; Monnerat, P. H.; Fontes, A. G. Yellow passion fruit plant nutritional diagnosis at different phenological stages by the diagnosis and recommendation integrated system. *Journal of Plant Nutrition*, v.34, p.614-626, 2011.
- Cavalcante, L. F.; Lima, E. M.; Cavalcante, I. H. L. Possibilidade do uso de água salina no cultivo do maracujazeiro amarelo. Areia: Editorações Gráfica Diniz, 2001. 42p.
- Cavalcante, L. F.; Santos, J. B.; Santos, C. J. O.; Feitosa Filho, J. C.; Lima, E. M.; Cavalcante, I. H. L. Germinação de sementes e crescimento inicial de maracujazeiros irrigados com água salina em diferentes volumes de substrato. *Revista Brasileiro de Fruticultura*, v. 24, n. 3, p. 748-751, 2002.
- Cavalcante, L. F.; Alves, G. S.; Seabra Filho, G. Q.; Gondim, S. C.; Santos, G. D.; Machado, A, M. O.; Santos, G. P. Avaliação vegetativa e produtiva do maracujazeiro IAC 273/275 + 277 à adubação nitrogenada. *Anais do CPG em Manejo de Solo e água*, v. 25, p. 1-17, 2003.

- Cavalcante, L. F.; Dantas, T. A. G.; Andrade, R.; Sá, J. R.; Macêdo, J. P. S.; Gondim, S. C.; Cavalcante, I. H. L. Resposta do maracujazeiro-amarelo à salinidade da água sob diferentes formas de plantio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, (Suplemento), p.314-317, 2005a.
- Cavalcante, L. F.; Costa, J. R. M.; Oliveira, F. K. D.; Cavalcante, I.H. L.; Araújo, F. A. R. Produção do maracujazeiro-amarelo irrigado com água salina em covas protegidas contra perdas hídricas. *Irriga*, v. 10, n. 3, p. 229-240, 2005b.
- Cavalcante, L. F.; Cavalcante, I. H. L. Uso da água salina na agricultura. In: Cavalcante, L. F.; Lima, E. M. (Eds.). *Algumas frutíferas tropicais e a salinidade*. 1.ed. Jaboticabal: FUNEP. 2006. Cap. I, p. 1-17.
- Cavalcante, L. F.; Dias, T. J.; Nascimento, R.; Freire, J. L. O. Clorofila e carotenoides em maracujazeiro-amarelo irrigado com águas salinas no solo com biofertilizante bovino. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. Especial, E. 699-705, 2011.
- Cavalcante, L. F.; Santos, C. J. O.; Holanda, J. S.; Lima Neto, J. A.; Souto, A. G. L.; Dantas, T. A. G. Produção de maracujazeiro amarelo no solo com calcário e potássio sob irrigação com água salina. *Irriga*, v. 23, n. 4, p. 727-740, 2018.
- Costa, J. R. M. Efeito do revestimento de covas e volumes de água salina sobre a produção e qualidade de frutos do maracujazeiro amarelo. *Areia: UFPB*, 2000. 72p. Dissertação de Mestrado.
- Costa, E. G.; Carneiro, P. T.; Soares, F. A. L.; Fernandes, P. D.; Gheyi, H. R.; Cavalcante, L. F. Crescimento inicial do maracujazeiro amarelo sob diferentes tipos e níveis de salinidade da água de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, suplemento, p. 242-247, 2005a.
- Costa, A. F. S.; Castanheira, J. L. M.; Cotta, T. C. A. In: Costa, A. F. S., Costa, A. N. (Eds.). *Tecnologias para produção de maracujá*. Vitória: Incaper. 2005b. Cap. 8, p. 179-195.
- Costa Jr, E. S.; Matias, S.S.R.; Nascimento, A.H.; Sousa, S.J.C. Soares, G.B.S.; Morais, D.B. Índice de qualidade de Dickson em mudas de maracujá. XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Natal, RN, 2015.
- Cruz, J. L.; Pelacani, C. R.; Coelho, E. F.; Caldas, R. C.; Almeida, A. Q.; Queiroz, J. R. Influência da salinidade sobre o crescimento, absorção e distribuição de sódio, cloro e macronutrientes em plântulas de maracujazeiro-amarelo. *Bragantia*, v. 65, n.2, p.275-284, 2006.

- Cruz, J. L.; Coelho Filho, M. A.; Coelho, E. F.; Santos, A. A. Salinity reduces carbon assimilation and the harvest index of cassava plants (*Manihot esculenta Crantz*). *Acta Scientiarum*, v. 39, n. 4, p. 545-555, 2017.
- Dias, T. J.; Cavalcante, L. F.; Gondim, S. C.; Raposo, R. W. C.; Cavalcante, I. H. L.; Santos, G. D. Composição foliar de macronutrientes em maracujazeiro amarelo e fertilidade do solo em função do número de ramos laterais por planta. *Anais do CPG em Manejo de Solo e Água*, v. 26, p. 81-97, 2004.
- Dias, T. J.; Cavalcante, L. F.; Freire, J. L. O.; Nascimento, J. A. M.; Márkilla Z. Beckmann-Cavalcante, M. Z.; Santos, G. P. Qualidade química de frutos do maracujazeiro-amarelo em solo com biofertilizante irrigado com águas salinas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.3, p.229-236, 2011.
- Dias, T. J.; Cavalcante, L. F.; Nunes, J. C.; Freire, J. L. O.; Nascimento, J. A. M. Qualidade física e produção do maracujá amarelo em solo com biofertilizante irrigado com águas salinas. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 33, suplemento 1, p. 2905-2918, 2012a.
- Dias, T. J.; Sá, J. R.; Silva, M. N. B.; Dantas, S. A. G.; Cavalcante, L. F.; Campos, V. B.; Miguel, A. A. Crescimento das plantas de maracujazeiro amarelo após o transplântio. In: Cavalcante, L. F. (Ed.). *O maracujazeiro amarelo e a salinidade da água*. 1.ed. João Pessoa: Sal de Terra. 2012b. Cap. 3, p. 97-152.
- Dias, T. J.; Cavalcante, L. F.; Pereira, W. E.; Freire, J. L. O.; Souto, A. G. L. Irrigação com água salina em solo com biofertilizante bovino no crescimento do maracujazeiro amarelo. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 34, n. 4, p. 1639-1652, 2013.
- Dias, N. S.; Blanco, F. F.; Souza, E. R.; Ferreira, J. F. S.; Sousa Neto, O. N.; Queiroz, I. S. R. Efeito dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. (Eds.). *Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados*. 2.ed. Fortaleza: INCTSal. 2016. Cap. 11, p. 149-162.
- Diniz, A. A.; Cavalcante, L. F.; Mendonça, R. M. N.; Nascimento, J. A. M.; Lima, E. M.; Medeiros, R. Composição mineral de plantas. In: Cavalcante, L. F. (Ed.). *O maracujazeiro e a salinidade da água*. 1. ed. João Pessoa: Sal da Terra. 2012b. Cap. 6, p. 255-310.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Catálogo de fruticultura*. Brasília: Cultivares da Embrapa. 2010. p. 12-14.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos*. 5.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018. 353p.

- Fageria, N. K. Salt tolerance of rice cultivars. *Plant and Soil*, v. 88, n. 2, p. 237-243, 1985.
- Fageria, N. K.; Soares Filho, W. S.; Gheyi, H. R. Melhoramento genético vegetal e seleção de cultivares tolerantes à salinidade. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F. (Eds.). 1 ed. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal. 2010. Cap. 13, p. 205-218.
- Ferrari, T. B.; Ferreira, G.; Pinho, S. Z. de. Fases da germinação de sementes de maracujazeiro-doce (*Passiflora alata* Curtis). *Revista Brasileira de Biociências*, v. 5, supl. 2, p. 345-347, 2007.
- Freire, M. F. S. Manejo do solo com água salgada submetido a três métodos de irrigação. Areia: UFPB, 1992. 52p. Dissertação de Mestrado.
- Freire, J. L. O. Crescimento e desenvolvimento do maracujazeiro amarelo sob salinidade e cobertura. Areia: UFPB. 2011, 185p. Tese de doutorado.
- Freire, J. L. O.; Cavalcante, L. F.; Rebequi, A. R.; Dias, T. J.; Nunes, J. C.; Cavalcante, I. H. L. Atributos qualitativos do maracujá amarelo produzido com água salina, biofertilizante e cobertura morta no solo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.5, n.1, p.102-110, 2010.
- Freire, J. L. O.; Cavalcante, L. F.; Rebequi, A. M.; Dias, T. J.; Vieira, M. S. Crescimento do maracujazeiro amarelo sob estresse salino e biofertilizante em ambiente protegido contra as perdas hídricas. *Holos*, v.4, p.55-68, 2012.
- Freire, J. L. O.; Cavalcante, L. F. Nascimento, R.; Rebequi, A. M. Teores de clorofila e composição mineral foliar do maracujazeiro irrigado com águas salinas e biofertilizante. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 36, n. 1, 57-70, 2013.
- Freire, J. L. O.; Dias, T. J.; Cavalcante, L. F.; Fernandes, P. D.; Lima Neto, A. J. Rendimento quântico e trocas gasosas em maracujazeiro amarelo sob salinidade hídrica, biofertilização e cobertura morta. *Revista Ciência Agronômica*, v. 45, n. 1, p. 82-91, 2014a.
- Freire, J. L. O.; Cavalcante, L. F.; Rebequi, A. M.; Dias, T. J.; Brehm, M. A. S.; Santos, J. B. Physical characteristics of fruit of yellow passion fruit produced in soil with bio-fertilizer, mulching and saline water. *Idesia*, v. 32, n. 1, p. 71-78, 2014b.
- Freire, J. L. O.; Cavalcante, L. F.; Rebequi, A. M.; Dias, T. J.; Brehm, M. A. S.; Santos, J. B. Quality of yellow passion fruit juice with cultivation using different organic sources and saline water. *Idesia*, v.32, n.1. p. 79-87, 2014c.

- Freire, J. L. O.; Cavalcante, L. F.; Dias, T. J.; Dantas, M. M. M.; Macedo, L. P. M.; Azevedo, T. A. O. Teores de micronutrientes no solo e no tecido foliar do maracujazeiro amarelo sob uso de atenuantes do estresse salino. *Agropecuária Técnica*, v. 36, n. 1, p. 65-81, 2015.
- Gomes, M. A. C.; Pestana, I. A.; Santa-Catarina, C.; Hauser-Davis, R. A.; Suzuki, M. S. Salinity effects on photosynthetic pigments, proline, biomass and nitric oxide in *Salvinia auriculata* Aubl. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 29, n. 9, p. 1-13, 2017.
- Gondim, S. C.; Cavalcante, L. F.; Campos, V. B.; Mesquita, E. F.; Gondim, P. C. Produção e composição foliar do maracujazeiro amarelo sob lâminas de irrigação. *Revista Caatinga*, v.22, n. 4, p. 100-107, 2009.
- Gondim, P. J. S.; Silva, S. M.; Costa, J. R. M.; Dias, T. J.; Cavalcante, L. F.; Nunes, J. C. Qualidade frutos. In: Cavalcante, L. F. (Ed.). *O maracujazeiro amarelo e a salinidade da água*. 1.ed. João Pessoa: Sal de Terra. 2012. Cap. 5, p. 211-253.
- Haendler, L. La passiflora sa composition chimique et ses possibilittes de transformation. *Fruits*, v. 20, n. 5, p. 235-245, 1965.
- Holanda, J. S.; Amorim, J. R. A.; Ferreira Neto, M.; Holanda, A. C.; Sá, F. V. S. Qualidade da água para irrigação. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. (Eds.). *Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados*. 2.ed. Fortaleza: INCTSal. 2016. Cap. 4, p. 35-50.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Lavoura permanente 2018 – maracujá. <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado>, 2018. Acesso 23/12/2019.
- Katerjii, N.; van Hoorn, J. W.; Hamdy, A.; Mastrorilli, M. Salt tolerance classification of crops to soil salinity and to water stress day index. *Agriculture Water Management*, v. 43, p. 99-109, 2000.
- Krause, W.; Neves, L. G.; Viana, A. P.; Araújo, C. A. T.; Faleiro, F. G. Produtividade e qualidade de frutos de cultivares de maracujazeiro-amarelo com ou sem polinização artificial. *Pesquisa Agropecuária Brasília*, v. 47, n. 12, p. 1737-1742, 2012.
- Lacerda, C. F.; Costa, N. R. T.; Bezerra, M. A.; Neves, A. L. R.; Sousa, G. G.; Gheyi, H. R. Estratégias de manejo para uso de água salina na agricultura. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. (Eds.). *Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados*. 2.ed. Fortaleza: INCTSal. 2016. Cap. 21, p. 337-352.

- Li, J.; Hu, L.; Zhang, L.; Pan, X.; Hu, X. Exogenous spermidine is enhancing tomato tolerance to salinity-alkalinity stress by regulating chloroplast antioxidant system and chlorophyll metabolism. *BMC Plant Biology*, v. 15, n. 303, p. 1-17, 2015.
- Lima, L. K. S.; Jesus, O. J.; Soares, T. L.; Santos, I. S.; Oliveira, E. J.; Coelho Filho, M. A. Growth, physiological, anatomical and nutritional responses of two phenotypically distinct passion fruit species (*Passiflora* L.) and their hybrid under saline conditions. *Scientia Horticulturae*, p. 1-15, 2020.
- Maas, E. V.; Hoffman, Crop salt tolerance - Current assessment. *Journal of Irrigation and Drainage Division*, v. 103, p. 115-134, 1977.
- Macedo, J. P. S. Desempenho do maracujazeiro - amarelo irrigado com água salina, em função do espaçamento, cobertura do solo e poda da haste principal. Areia: UFPB, 2006. 125p. Trabalho de Conclusão de Curso de graduação em Agronomia.
- Macedo, J. P. S.; Cavalcante, L. F.; Lobo, J. T.; Pereira, M.B.; Marcelino, A. D. A. L.; Bezerra, F. T. C.; Bezerra, M. A. F. Yield and physical quality of the yellow passion fruit under spacing within plants and water salinity. *Journal of Experimental Agriculture International*, v. 33, n. 5, p. 1-11, 2019.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.
- Marler, T. E. Salinity and physiology of *Passiflora edulis*. *Acta Horticulturae*, n. 975, p. 293-298, 2013.
- Marschner, P. Mineral Nutrition of Higher Plants. 3. ed. San Diego: Elsevier, 2012. 651p.
- Medeiros, J. F. Qualidade da água de irrigação e evolução dos sais nas propriedades assistidas pelo "GAT" nos estados do RN, PB e CE. Campina Grande: UFPB, 1992. 173p. Dissertação de Mestrado.
- Medeiros, J. F.; Gheyi, H. R.; Costa, A. F. R. C.; Tomaz, H. V. Q. Manejo do solo – água - planta em áreas afetadas por sais. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. (Eds.). Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. 2.ed. Fortaleza: INCTSal. 2016a. Cap. 20, p. 319-335.
- Medeiros, S. A. S.; Cavalcante, L. F.; Bezerra, M. A. F.; Nascimento, J. A. M.; Bezerra, F. T. C.; Prazeres, S. S. Água salina e biofertilizante de esterco bovino na formação e qualidade de mudas de maracujazeiro amarelo. *Irriga*, v. 21, n. 4, p. 779-795, 2016b.

- Meletti, L. M. M.; Santos, R. R.; Minami, K. Melhoramento do maracujazeiro-amarelo: obtenção do cultivar 'composto IAC-27'^{1,2}. *Scientia Agricola*, v. 57, n. 3, p. 491-498, 2000.
- Meletti, L. M. M. Avanços na cultura do maracujá no Brasil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. Especial, p. 83-91, 2011.
- Montaña, L. A.; Fischer, G.; Magnitskiy, S.; Zuluaga, G. Effect of NaCl salinity on seed germination and seedling emergence of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). *Agronomia Colombiana*, v. 32, n. 2, p. 188-195, 2014.
- Moura, R. S. Métodos de propagação, aspectos morfofisiológicos e anatômicos de mudas de *passiflora* spp. sob estresse salino. Cruz das Alabas: UFRB. 2018, 142p. Tese de Doutorado.
- Moura, R. S.; Gheyi, H. R.; Coelho Filho, M. A.; Jesus, O. N.; Lima, L. K. S.; Cruz, C. S. Formation of seedlings of species from the genus *passiflora* under saline stress. *Bioscience Journal*, v. 33, n. 5, p. 1197-1207, 2017.
- Moura, R. S.; Soares, T. S.; Silva Lima, L. K. S.; Gheyi, H. R.; Jesus, O. N.; Coelho Filho, M. A. Salinity-induced changes in biometric, physiological and anatomical parameters of *Passiflora edulis* Sims plants propagated by different methods. *Archives of Agronomy and Soil Science*, v. 65, p. 1-15, 2019.
- Munns, R.; Tester, M. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review Plant Biology*, v. 59, p. 651-681, 2008.
- Nascimento, E. S.; Cavalcante, L. F.; Gondim, S. C.; Souza, J. T. A.; Bezerra, F. T.; Bezerra, M. A. F. Formação de mudas de maracujazeiro amarelo irrigadas com águas salinas e biofertilizantes de esterco bovino. *Agropecuária Técnica*, v. 38, n. 1, p. 1-8, 2017.
- Nascimento, J. A. M. Respostas do maracujazeiro amarelo e do solo com biofertilizante irrigado com águas de baixa e alta salinidade. Areia: UFPB, 2010. 101p. Dissertação de Mestrado.
- Nascimento, J. A. M.; Cavalcante, L. F.; Cavalcante, I. H. L.; Pereira, W. E.; Stênio A. G. Dantas, S.A. G.; Medeiros, S. A. S. The impacts of biofertilizer and mineral fertilization on the growth and production of yellow passion fruit irrigated with moderately saline water. *Ciencia e. Investigación Agraria*, v. 43, n. 2, p. 253-262. 2016.
- Nunes, J. C. Trocas gasosas, composição mineral, produção e qualidade de maracujazeiro amarelo irrigado com água salina e adubado com potássio e biofertilizante. Areia: UFPB, 2016. 164p. Tese de Doutorado.

- Nunes, J. C.; Cavalcante, L. F.; Pereira, W. E.; Souza, J. T. A.; Almeida, D. J.; Oresca, D.; Fernandes, P. D. Gas exchange and productivity of yellow passion fruit irrigated with saline water and fertilized with potassium and biofertilizer. *Ciencia e Investigación Agraria*, v. 44, n. 2, p. 168-183, 2017.
- Oliveira, F. A.; Lopes, M. A. C.; Sá, F. V. S.; Nobre, R. G.; Moreira, R. C. L.; Silva, L. A.; Paiva, E. P. Interação salinidade da água de irrigação e substratos na produção de mudas de maracujazeiro amarelo. *Comunicata Scientiae*, v.6, n.4, p.471-478, 2015.
- Oliveira, I. C. S. Salinidade da água, biofertilizante bovino e polímero hidrretentor na formação de mudas de maracujazeiro BRS GA1. Areia: UFPB, 2019. 73p. Dissertação de Mestrado.
- Ouda, S. H. A.; Sohry, A. H. Morsy, M. Cropping pattern modification to overcome abiotic stresses. *Water, salinity and climate*. Gewerbestrasse: Springer, 2018. 111p.
- Parihar, P.; Singh, S.; Singh, V. P.; Prasad, S. M. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 22, n. 6, p. 4056-4075, 2015.
- Pires, M. M.; Gomes, A. S.; Midle, M. M. B. C.; São José, A. R.; Rosado, P. L.; Passos, H. D. B. Caracterização do mercado de maracujá. In: Pires, M. M.; São José, A. R.; Conceição, A. O. *Maracujá: avanços tecnológicos e sustentabilidade*. Ilheus: Editus. 2011, p. 21-67.
- Prazeres, S. S. Fontes orgânicas líquidas aplicadas em Latossolo Amarelo cultivado com maracujazeiro irrigado com água salina. Areia: UFPB. 2016, 211p. Tese de doutorado.
- Prisco, J. T.; Gomes Filho, E.; Miranda, R. S. Physiology and biochemistry of plants growing under salt stress. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. (Eds.). *Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados*. 2.ed. Fortaleza: INCTSal. 2016. Cap. 12, p. 163-180.
- Richards, L. A. *Diagnostico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. México: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América, 1954. 174p. Manual de Agricultura, 60.
- Santana Júnior, E. B.; Coelho, E. F.; Gonçalves, K. S.; Cruz, J. L. Physiological and vegetative behavior of banana cultivars under irrigation water salinity. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 24, n. 2, p. 82-88, 2020.
- Santos, C. V. Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. *Scientia Horticulturae*, v. 103, n. 1, p. 93-99, 2004.

- Santos, P. C.; Lopes, L. C.; Freitas, S. J.; Sousa, L. B.; Carvalho, A. J. C. Crescimento inicial e teor nutricional dos maracujazeiro amarelo submetido à adubação com diferentes fontes nitrogenadas. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 33, n. especial, p. 722-728, 2011.
- Santos, A. S.; Araújo, R. H. C. R.; Nobre, R. G.; Sousa, V. F. O.; Rodrigues, M. H. B. S.; Formiga, J. A.; Gomes, F. A. L.; Santos, G. L.; Onias, E. A. Effect of hydrogen peroxide in the growth of yellow passion fruit seedlings under salinity stress. *Journal of Agricultural Science*, v. 10, n. 10, p. 151-162, 2018.
- Silva, M. N. B. Acúmulo de sais num solo cultivado com maracujá irrigado com água salina. Areia: UFPB, 1999. 39p. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Agronomia.
- Silva, A. A. R.; Lima, G. S.; Azevedo, C. A. V.; Gheyi, H. R.; Souza, L. P.; Veloso, L. L. S. A. Gas exchanges and growth of passion fruit seedlings under salt stress and hydrogen peroxide. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 49, e55671, 2019.
- Silva, S. A. Água salina e substâncias orgânicas na formação de mudas de maracujazeiro em Latossolo Vermelho Amarelo. Areia: UFPB. 2013, 81p. Dissertação de mestrado.
- Sivakumar, P.; Sharmila, P.; Saradhi, P. P. Proline alleviates salt-stress-induced enhancement in Ribulose-1,5-bisphosphate oxygenase activity. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, v. 279, n. 2, p. 512-515, 2000.
- Soares, F. A. L.; Gheyi, H. R.; Viana, S. B. A.; Uyeda, C. A.; Fernandes, P. D. Water salinity and initial development of yellow passion fruit. *Scientia Agricola*, v. 59, n. 2, p. 491-497, 2002.
- Soares, F. A. L.; Carneiro, P. T.; Gomes, E. M.; Gheyi, H. R.; Fernandes, P. D. Crescimento e produção de maracujazeiro amarelo sob irrigação suplementar com águas salinas. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 3, n. 2, p. 151-156, 2008.
- Souza, J. T. A. Água salina, potássio e biofertilizante no solo, crescimento, composição mineral e produção do maracujazeiro amarelo. Areia: UFPB, 2016. 94p. Dissertação de Mestrado.
- Souza, J. T. A.; Nunes, J. C.; Cavalcante, L. F.; Nunes, J. A. S.; Pereira, W. E.; Freire, J. L. O. Effects of water salinity and organomineral fertilization on leaf composition and production in *Passiflora edulis*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v. 22, n. 8, p. 535-540, 2018.
- Suassuna, J. F.; Melo, A. S.; Ferraz, R. L.; Pereira, V. M.; Sousa, M. S. S. Rendimento e qualidade da produção de híbrido de maracujazeiro-amarelo IAC 273/277 sob diferentes níveis de irrigação. *Revista Caatinga*, v. 24, n. 4, p. 115-122, 2011.

Sunkar, R. Plant stress tolerance: methods and protocols. Nova Jersey: Humana Press, 2010. 386p.

Taiz, L.; Zeiger, E.; Møller, I. M.; Murphy, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.858p.

Wanderley, J. A. C.; Azevedo, C. A. V.; Brito, M. E. B.; Cordão, M. A.; Lima, R. F.; Ferreira, F. N. Nitrogen fertilization to attenuate the damages caused by salinity on yellow passion fruit seedlings. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 22, n. 8, p. 541-546, 2018.

Zhu, Yan-fang.; Wu, Yu-xia.; Hu, Y.; Jia, Xu-mei.; Zhao, T.; Cheng, L.; Wang, Yan-xiu. Tolerance of two apple rootstocks to short-term salt stress: focus on chlorophyll degradation, photosynthesis, hormone and leaf ultrastructures. *Acta Physiologiae Plantarum*, v. 41, n. 87, p. 1-14, 2019.

PLANTAS MEDICINAIS EM AMBIENTES SALINOS

Ana Laura de Cabral Sobreira¹, Diégina Araújo Fernandes²,
Pedro Isaac Vanderlei de Souza³, Ieda Maria Bortolotto³,
Geraldo Alves Damasceno Júnior³, Maria de Fátima Vanderlei de Souza^{1*}

RESUMO: O estresse salino altera a produção de metabólitos secundários nas plantas medicinais. A resposta das plantas à salinidade é dependente de fatores como espécie, genótipo, estágio fenológico de um mesmo genótipo e período de exposição ao sal. Neste contexto destacam-se espécies terrestres existentes no semiárido nordestino e no pantanal sul-mato-grossense brasileiro, bem como as algas existentes em ambientes marinhos. As informações sobre uso de plantas e algas pela medicina popular, estudos fitoquímicos e atividades farmacológicas foram baseadas e coletadas em bancos de dados científicos, dentre eles: 'Web of Science', 'Scifinder', 'Pubmed' e 'Scholar Google', utilizando artigos, livros, dissertações e teses. Como complemento, ainda, foi utilizado o mecanismo de busca *speciesLink*, que contém informações de diversos herbários integrados e permite a aplicação de filtros. Neste levantamento foi possível identificar 28 halófitas utilizadas com fins medicinais, distribuídas no semiárido nordestino, 21 no pantanal sul-mato-grossense e 20 em ambientes marinhos. As espécies medicinais que crescem expostas a essas alterações abióticas, tendem a ter modificações na produção dos seus

1 Universidade Federal da Paraíba - UFPB, João Pessoa - PB, Brasil

2 Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro - RJ, Brasil

3 Universidade Federal do Mato Grosso do Sul - UFMS, Campo Grande - MS, Brasil

* Autor correspondente: mfvanderlei@ltf.ufpb.br

compostos bioativos como uma forma de se adaptar e sobreviver ao meio, passando por adaptações bioquímicas e fisiológicas que devem ser investigadas.

Palavras-chave: Halófitas, semiárido, pantanal, algas marinhas.

MEDICINAL PLANTS IN SALINE ENVIRONMENTS

ABSTRACT: Salt stress alters the production of secondary metabolites in medicinal plants. Plant response to salinity depends on the species, genotype, phenological stage of the same genotype and period of exposure to salt. In this context, terrestrial species existing in the northeastern semi-arid region and in the Mato Grosso do Sul wetlands of Brazil stand out, as well as algae existing in marine environments. Information on the use of plants and algae in folk medicine, phytochemical studies and pharmacological activities were based on and collected from scientific databases, including: 'Web of Science', 'Scifinder', 'Pubmed' and 'Scholar Google', using articles, books, dissertations, and theses. As a complement, the *speciesLink* search engine was used, which contains information from several integrated herbaria and allows the application of filters. In this survey, it was possible to identify 28 halophytes used for medicinal purposes, distributed in the northeastern semi-arid region, 21 in the Pantanal of Mato Grosso do Sul and 20 in marine environments. Medicinal species that grow exposed to these abiotic changes tend to have changes in the production of their bioactive compounds to adapt and survive in the environment, suffering for that, biochemical and physiological adaptations that must be investigated.

Key words: Alophytes, semi-arid, pantanal, seaweed.

1 INTRODUÇÃO

O uso de plantas medicinais para tratamento, cura e prevenção de doenças é uma das mais antigas práticas da humanidade (Mesquita et al., 2017). O cultivo de espécies medicinais em condições de salinidade pode exercer influência no rendimento e na qualidade final (Freitas et al., 2014), visto que o estresse salino altera a homeostase osmótica e iônica nas plantas, resultando em diminuição ou aumento na produção de metabólitos secundários (Gondim-Filho, 2018).

O excesso de sais e de sódio no solo é um problema antigo e de extensão mundial: estima-se que 900 milhões de hectares (ha), o que corresponde a mais de 6% dos solos mundiais, especialmente no que diz respeito às áreas irrigadas (30% do total), apresentam problemas de salinização que se originam da associação da formação geológica predominante na paisagem, da má distribuição das chuvas, da drenagem deficiente e da exploração agrícola inadequada (Pedrotti et al., 2015; Manbir et al., 2016; Dutra et al., 2017).

No Brasil, as áreas afetadas por sais ocupam cerca de 160.000 km² (16 milhões de ha) ou 2% do território nacional, ocorrendo no Rio Grande do Sul, na região do Pantanal e, predominantemente, na região semiárida do Nordeste (Pedrotti et al., 2015). Estima-se que mais de 50% (91.000 km²) encontram-se no Nordeste, notadamente nos estados da Bahia (44,0%) e do Ceará (25,5%) (Leal et al., 2008; Gheyi et al., 2016).

O clima semiárido quente, presente no nordeste brasileiro, caracteriza-se por escassez de chuvas e grande irregularidade em sua distribuição; baixa nebulosidade; forte insolação; índices elevados de evaporação, e temperaturas médias elevadas (por volta de 37°C), caracterizando uma zona de desertificação (Embrapa Florestas, 2016). Tal cenário torna possível encontrar largas áreas com solos salinizados que englobam plantas halófitas (Montenegro et al., 2003).

O Pantanal, por sua vez, é considerado a maior planície inundável do planeta, possuindo uma hidrografia caracterizada por episódios periódicos de inundação, que acabam por gerar ciclos de cheia e seca (Neide, 2020). Devido à quantidade de sais dissolvidos na água, o pH das salinas frequentemente é alcalino, frequentemente ultrapassando 9,5. Silva e Sakamoto (2009) afirmam que o abastecimento de tais corpos d'água é dado pelos lençóis freáticos, alimentados diretamente pela água da chuva devido à alta capacidade de infiltração dos solos arenosos em seu entorno.

O Brasil também se destaca por apresenta um extenso litoral (mais de 8.000 km) e um grande potencial em biodiversidade marinha a ser explorado (Berlinck et al., 2004). Em quase todo o litoral brasileiro, em especial nas regiões Nordeste e Sudeste, a riqueza e a abundância de algas são capazes de deslumbrar e despertar o interesse econômico, social e ambiental (Pedrini 2010; Nassar 2012).

Os produtos de origem marinha oriundos de algas têm sido cada vez mais utilizados na saúde humana. As algas ocorrem normalmente em habitats complexos, muitas vezes expostos a condições extremas, sendo seu metabolismo e, conseqüentemente, sua composição química altamente influenciados por diversos parâmetros como: salinidade da água, baixas

temperaturas, baixa disponibilidade de luz, radiação, alta pressão e quantidade e tipo de nutrientes disponíveis (Stengel et al., 2011; Mayer et al., 2013; Gribble, 2015).

Embora sejam conhecidas informações sobre o crescimento e a fisiologia de plantas de interesse econômico, cultivadas em ambientes nos quais são submetidas ao estresse salino e à restrição de luminosidade, pouco se sabe sobre o efeito dessas condições ambientais, isoladas ou combinadas, no rendimento de plantas medicinais (Freitas et al., 2014).

Considerando a crescente demanda por produtos naturais, é necessário procurar novos candidatos entre as halófitas que possam servir como uma fonte segura, sustentável e ecológica de antioxidantes naturais e outros compostos bioativos (Qasim et al., 2017).

2 BIOSALINIDADE DOS SOLOS

O teor de sais no solo é um fator limitante ao desenvolvimento das plantas, podendo ocorrer em função de características naturais do próprio ambiente (salinização primária), ou pode ser decorrente das atividades antrópicas (salinização secundária) (Castro & Santos, 2015; Pedrotti et al., 2015; Gheyi et al., 2016).

Para o diagnóstico e monitoramento da salinização, os solos são classificados quanto à salinidade em função da Condutividade Elétrica (CE) do extrato da saturação, da percentagem de sódio trocável (PST) e do pH (Tabela 1) (Manzatto et al., 2002).

Os efeitos provocados pelo excesso de sais vêm sendo superados, pelo menos em parte, em razão da utilização de espécies tolerantes à salinidade e da adoção de práticas adequadas de manejo da irrigação (Mesquita et al., 2017).

A salinização do solo influencia diretamente no metabolismo das plantas, impedindo a absorção de água e outros nutrientes. Isto soma-se ao fato de que certos íons constituintes dos sais, quando adsorvidos em altas quantidades, provocam modificações no balanço nutricional, o que pode resultar em clorose e necrose nas folhas, reduzindo a produção e, às vezes, provocando a morte de plantas jovens (Freitas et al., 2014; Carvalho et al., 2015).

Tabela 1. Classificação dos solos quanto à salinidade.

Solo	CE (mmhos/cm)	PST (%)	pH	Recuperação
Normal	< 4	< 13	< 8,5	-
Salino	> 4	< 13	< 8,5	Lixiviação dos sais
Sódico	< 4	> 13	≥ 8,5	Aplicação de corretivos
Salino/Sódico	> 4	> 13	< 8,5	Aplicação de corretivos e lixiviação dos sais

CE: Condutividade elétrica do extrato da saturação; PST: Percentagem do sódio trocável. Fonte: Manzatto et al., 2002.

Plantas halófitas são capazes de sobreviver em níveis de salinidade superiores a 200mM de NaCl e podem apresentar até a estimulação do crescimento em tais níveis, devido ao seu potencial de compartimentalização dos íons no vacúolo da célula (Flowers & Colmer, 2008). Plantas glicófitas, por sua vez, crescem em níveis de salinidade de até 200 mM, passando

a indicar sinais de inibição do crescimento, como descoloração foliar e perda de peso seco, quando expostas a ambientes com maior concentração de sais (Lourenço-Junior, 2007; Willadino & Camara, 2010; Carvalho et al., 2015).

Plantas halófitas também podem ser utilizadas para fins medicinais graças ao grande número de metabólitos secundários (terpenos, fenóis e alcaloides) sintetizados. Tais metabólitos servem como mecanismo de proteção contra condições ambientais adversas (Segura et al., 2018). Como nova fonte de moléculas fenólicas, as halófitas são conhecidas por sua capacidade de suportar EROs (espécies reativas de oxigênio) tóxicos devido ao seu sistema antioxidante composto por substâncias como polifenólicos (Jdey et al., 2017).

2.1 Íons envolvidos na salinização

O componente iônico é um fator fundamental que afeta o surgimento ou não de espécies de plantas resistentes ao solo salino. Esse estresse é causado pelos elevados teores de Na^+ e Cl^- e da alteração na relação K^+/Na^+ e outros nutrientes (Carvalho et al., 2015). Quando isto ocorre, há uma redução do crescimento, resultado do acúmulo de sais no interior da planta. A quantidade elevada de sal absorvida causa uma injúria devido ao fato de que as células vegetais não possuem a capacidade de compartimentalizar todos os íons absorvidos em seus vacúolos, levando ao aumento da concentração salina no citoplasma e inibindo, assim, a atividade de várias rotas metabólicas (Praxedes et al., 2010).

A nível celular, o acúmulo de sais no citosol deve ser evitado tanto em glicófitas como em halófitas, visto que em tal região celular se encontra o aparato metabólico sensível.

No Nordeste, a transpiração supera a precipitação, o que impossibilita que a água percole, lixiviando dos sais do solo (Freire & Freire, 2007). Em ambientes deste tipo, é comum haver o acúmulo de sais, especialmente os cátions Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+2} , K^+ e os ânions Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- e CO_3^{2-} , que são liberados dos minerais do material de origem (plagioclásio) (Ribeiro et al., 2009; Mesquita et al., 2017; Pedrotti et al. 2015). Desta forma, a salinidade presente no solo influencia sua estrutura e este solo vai apresentar uma capacidade inferior de armazenar água, afetando, portanto, a absorção dos nutrientes pelas plantas e fazendo com que o contato íon-raiz ocorra em solução aquosa, o que causa uma interferência na absorção, principalmente de N, S, Ca e Mg (Alves et al., 2011). Deste modo, a salinidade pode afetar a fisiologia das plantas cultivadas devido às alterações químicas e físicas do solo.

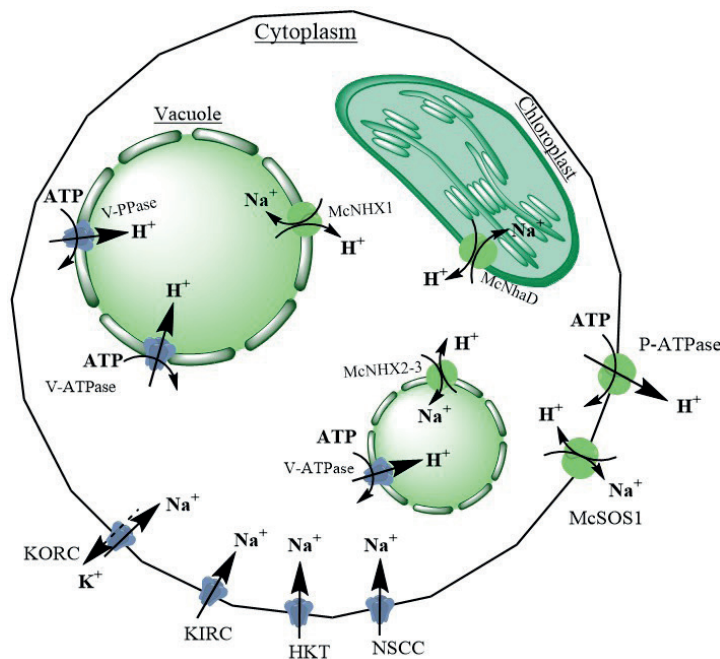
Uma ferramenta utilizada pelas halófitas é a compartimentação intracelular de íons tóxicos usando transportadores específicos para manter uma relação K^+/Na^+ citosólica moderada no citosol (Meng et al., 2018). Muitos desses transportadores de íons, incluindo o antiporte vacuolar $\text{Ca}^{2+}/\text{H}^+$ (Han et al., 2011), o transportador vacuolar de $\text{H}^+/\text{Ca}^{2+}$ (Han et al., 2012) e o transportador de K^+ (Shao et al., 2014) demonstraram reduzir as concentrações de Na^+ e Cl^- no citosol. A superexpressão desses transportadores pode melhorar a tolerância ao sal, mantendo a homeostase do íon citosólico durante o estresse salino (Wu et al., 2010; Pandey et al., 2016).

Outro mecanismo de defesa das halófitas, para reduzir e equilibrar a pressão osmótica, envolve o acúmulo de osmoprotetores, como prolina, glicina, betaína, polifenóis e açúcares solúveis no citosol (Meng et al., 2018).

As elevadas concentrações de íons específicos, sobretudo Na^+ e Cl^- , podem provocar desequilíbrio nutricional nas plantas.

A saída de Na^+ da solução do solo para a raiz ocorre, passivamente, no seu gradiente eletroquímico. Os íons Na^+ acumulados nas raízes são isolados em vacúolos ou transportados para a parte superior da planta (Balnokin, 2012). A entrada deste cátion Na^+ na célula vegetal ocorre devido às atividades dos canais iônicos (Dreyer & Uozumi, 2011; Lebaudy et al., 2007) e transportadores (Khan, 2011; Bassil et al., 2011; Esteves & Suzuki, 2008), e o equilíbrio mantido dentro do citoplasma acontece por meio de fluxos internos e externos (Balnokin, 2012). Organelas celulares, como mitocôndrias e cloroplastos, também podem acumular íons Na^+ (Cosentino, 2008) (Figura 1).

Figura 1. Modelo de diferentes mecanismos dos fluxos de Na^+ . Fonte: Adaptado de Rozentsvet et al., 2017.



A liberação de íons Cl^- nas células vegetais em altas concentrações de NaCl na solução do solo acontece através dos canais aniônicos da membrana plasmática, ao longo de seu gradiente eletroquímico transmembranar, tendo como resultado um influxo passivo de cloreto nas células da raiz (Niu et al., 1995).

Em meio ao estresse salino, os íons Na^+ e Cl^- que são entregues nas células radiculares devem ser devolvidos para o espaço extracelular ou acumulados em vacúolos (White & Broadley, 2001).

Nas halófitas, que são acumuladores de sal, os fluxos de Na^+ e Cl^- acontecem das raízes para as folhas na maioria das vezes, quando comparadas com os fluxos para outras direções.

Como resultado, essas plantas acumulam muito mais Na^+ e Cl^- nas folhas e caules do que nas raízes (Agarwal et al., 2013; Rozentsvet et al., 2016). Ademais, já é determinado que a tolerância ao sal está associada com o valor da relação entre K^+/Na^+ (Zorb et al., 2013).

2.2 Mecanismos de tolerância a salinidade

A salinidade afeta as plantas por meio do efeito osmótico, toxicidade específica e/ou desequilíbrio nutricional (Pedrotti et al., 2015; Gondim-Filho, 2018). A resposta das plantas à salinidade é dependente da espécie, do genótipo, do estágio fenológico de um mesmo genótipo e do período de exposição ao sal (Mudgalet al., 2010; Nawaz et al., 2010). As diferenças entre espécies estão associadas ao desenvolvimento de mecanismos fisiológicos e bioquímicos, como:

1. Ajustamento osmótico;
2. Alterações nas vias fotossintéticas;
3. Síntese de osmólitos compatíveis;
4. Ativação de sistemas antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos.

Esses mecanismos aumentam a capacidade de sobrevivência das plantas em ambientes com concentrações elevadas de sais, que facilitam a absorção e retenção de água, protegem as funções dos cloroplastos e mantêm a homeostase iônica (Esteves & Suzuki, 2008; Freitas et al., 2014).

A tolerância à salinidade é a capacidade das plantas completarem seu ciclo de vida sob condição de altas concentrações de sais solúveis na zona radicular, o que requer uma série de adaptações integradas envolvendo sistemas celulares e metabólicos (Gondim-Filho, 2018).

Apesar de as plantas glicófitas também apresentarem o mecanismo de regulação osmótica celular, são incapazes ou pouco eficientes na compartimentalização dos íons inorgânicos, apresentando, assim, elevada concentração de sais no tecido fotossintetizante quando submetidas à condição de estresse salino (Esteves e Suzuki, 2008; Pedrotti et al., 2015).

Sob a ótica ecológica, as halófitas são divididas em obrigatórias, facultativas e pseudo-halófitas, possuindo cada grupo processos de crescimento diferentes no que diz respeito às suas necessidades (Figura 2) (Hasanuzzaman et al., 2014).

O sequestro de sais no vacúolo realizado pela maior parte das halófitas contribui para tornar mais negativo o potencial osmótico da célula e torna mais eficientes a síntese de solutos orgânicos compatíveis, o que resulta em ajustes osmóticos no citoplasma. As glicófitas (ou não halófitas) são incapazes de compartimentalizar, eficientemente, os solutos orgânicos e inorgânicos nas células contra o gradiente de concentração em condições de alta salinidade (Gheyi et al., 2016).

De maneira geral, existem dois tipos básicos de relacionamento destas plantas com um ambiente de crescimento salino, que consistem em minimizar: 1) a penetração do sal na

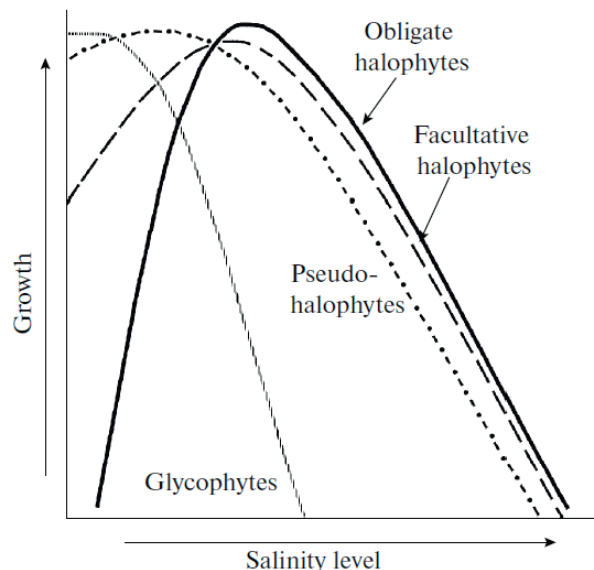
planta e 2) o acúmulo de sal no citoplasma (Zora, 2006), o que leva a duas estratégias fundamentais apresentados por esses vegetais:

1. Prevenção do estresse com diferentes barreiras físicas, fisiológicas e/ou metabólicas, ocasionando uma diminuição dos efeitos negativos oriundos da salinização;
2. Tolerância ao estresse devido aos mecanismos adaptativos.

Estas adaptações são as respostas para os métodos de análises moleculares avaliarem novos genes ligados a salinidade. A tolerância à salinidade é uma característica multigênica com uma grande quantidade de genes dividida em grupos funcionais diferentes, responsáveis pela minimização dos efeitos do excesso de sal (Esteves & Suzuki, 2008). Algumas respostas celulares ao estresse causado pelo excesso de sal são:

1. Desenvolvimento de vacúolos;
2. Modificações no retículo endoplasmático;
3. Diminuição das cristas mitocondriais;
4. Fragmentação do tonoplasto;
5. Degradação do citoplasma, devido à combinação do meio vacuolar com o citoplasmático.

Figura 2. Crescimento da planta dependente do nível de salinidade no solo. Fonte: Hasanuzzaman et al., 2014.



As consequências lesivas da elevada salinidade são notadas na planta inteira, resultando em morte ou diminuição da produtividade (Munns, 2005; Santos, 2006). Assim, como em resposta aos danos causados pelo excesso de sal, muitas plantas ampliaram os mecanismos de tolerância através de exclusão e/ou compartimentalização de sais. As halófitas desenvolvem novos mecanismos de tolerância, proporcionando um manejo mais eficiente em acumular e compartimentar os solutos (Esteves & Suzuki, 2008; Farias et al., 2009; Silva et al., 2009).

Os efeitos degenerativos provocados pelos sais resultam em modificações nas funções metabólicas, fisiológicas e anatômicas das plantas, alterando, dentre outros, os teores foliares de clorofila e carotenoides, comprometendo a atividade fotossintética e, conseqüentemente, o crescimento, desenvolvimento, produção e a adaptabilidade aos ambientes adversos (Távora et al., 2001; Oresca, 2016; Acosta-Motos et al., 2017; Dutra et al., 2017).

Algumas espécies aumentam a síntese de osmólitos compatíveis como resposta metabólica ao estresse salino sofrido. Estes osmólitos auxiliam o ajustamento osmótico, protegendo estruturas subcelulares e reduzindo os danos oxidativos. Os mais importantes desses compostos osmoticamente ativos são açúcares, açúcares-poliois, aminoácidos e compostos quaternários de amônio. Os solutos que apresentam maior potencial de beneficiar as plantas com maior resistência ao estresse salino são: o aminoácido prolina, o composto quaternário de amônio glicina-betaina, o açúcar-álcool manitol e o açúcar Trealose (Silveira et al., 2010).

3 PLANTAS MEDICINAIS BIOINDICADORAS DE SALINIDADE NO SEMIÁRIDO NORDESTINO

O Brasil possui uma rica flora de halófitas e halotolerantes nativas ainda pouco explorada e com um grande potencial biotecnológico e econômico para a produção de alimentos e substâncias bioativas (Costa & Bonilla, 2016). Algumas dessas halófitas já são usadas tradicionalmente como plantas medicinais, tempero e na alimentação animal (Cerqueira et al. 2021).

A Região Nordeste do Brasil concentra em torno de 89,5% dos municípios brasileiros localizados na Região Semiárida do país, área esta que corresponde a 982.563,3 km² e abrange todos os estados nordestinos (à exceção do Maranhão) e parte do estado sudestino de Minas Gerais (Magalhães et al., 2020). O bioma é caracterizado, principalmente, pela Caatinga, com vegetações endêmicas e chuvas irregulares. (Santos et al., 2020).

Costa & Herrera (2016) caracterizaram a ocorrência de 16 espécies de halófitas pertencentes a sete famílias no semiárido nordestino, destacando, entre as espécies mais abundantes: *Sesuvium portulacastrum* (L.) L. (Aizoaceae), *Blutaparon vermiculare* (L.) Mears (Amaranthaceae) e *Portulaca pilosa* L. (Portulacaceae), além das exóticas *Urochloa mutica* (Forssk.) T. Q. Nguyen, *Cynodon dactylon* (L.) Pers. (ambas Poaceae) e *Atriplex nummularia* Lindl. (Amaranthaceae) adaptadas ao ambiente da Caatinga; além de cinco espécies da família Malvaceae (*Herissantia crispa* (L.) Brizicky, *Herissantia tiubae* (K.Schum.) Brizicky, *Sida galheirensis* Ulbr., *Sida cordifolia* L. e *Melochia tomentosa* L.).

Neste novo levantamento, foi possível encontrar relatos de doze famílias e 28 espécies de halófitas distribuídas no semiárido nordestino (Tabela 2), as quais possuem diversos usos como: medicinal, alimentício e insumo industrial (Carneiro et al., 2010; Medeiros & Albuquerque, 2014; Cardoso et al., 2015).

O estudo do efeito da salinidade no crescimento de plantas nativas constitui um importante subsídio ao manejo e à recuperação de áreas degradadas, visto que investiga as estratégias adaptativas que culminaram no estabelecimento dessas espécies no ambiente de origem (Lourenço-Junior, 2007).

Tabela 2: Plantas medicinais do semiárido nordestino com genótipos halotolerantes.

Família	Nome científico/ Nome popular	Parte utilizada	Constituintes químicos	Uso medicinal	Referências
Aizoaceae	<i>Sesuvium portulacastrum</i> "Bredo-da-praia"	Folhas	Flavonoides, taninos, saponinas, alcaloides, óleo essencial	Infecção urinária, blenoréia, emoliente, laxante, forragem, infecções renais, antioxidante, antimicrobiana, citotóxica	Magwa et al., 2006; Cybulska et al., 2014; Kumar et al., 2014; Manbir & Nitika, 2015; Costa & Herrera, 2016; Chintalapani et al., 2018
Amaranthaceae	<i>Amaranthus spinosus</i> "Bredo de espinho"	Raiz, folhas, sementes	Alcaloides, flavonoides, terpenos, ácidos fenólicos, taninos	Anti-inflamatória, diurética, analgésica, antioxidante, diarreia, acne	Ganjare & Raut, 2019
	<i>Atriplex nummularia</i> "Erva sal"	Partes aéreas	-	Antifúngica, antioxidante, antihiperlipidêmica, antihiperglicêmica	Soliman & Soliman, 2015; Abdulmueed, Kadium & Mustafa, 2018
	<i>Blutaparon vermiculare</i> "Cabeça de prata"	Caule, folhas	Flavonoides, alcaloides	Diarreia, infecção estomacal, infecção renal	Khan et al., 2018
	<i>Sarcocornia ambigua</i> "Sal-vegetal"	Folhas	Compostos fenólicos	Antioxidante e anti-inflamatória	Costa & Bonilla, 2016
Anacardiaceae	<i>Spondias tuberosa</i> "Umbuzeiro"	Casca do caule; folhas	Flavonoides, compostos fenólicos	Antioxidante, hepatoprotetor, hipoglicêmico; anti-inflamatório	Siqueira et al., 2016; Barbosa et al., 2018
Arecaceae	<i>Copernicia prunifera</i> "Carnaúba"	Raiz	Ésteres, álcoois e ácidos graxos	Sífilis e afecções cutâneas	Ayres et al., 2008; Carvalho et al., 2015
Boraginaceae	<i>Heliotropium indicum</i> "Fedegoso"	Raiz, folhas	Alcaloides, flavonoides, saponina e taninos	Inchaço nos pés, gripe, tosse, inflamações, problemas hepáticos, conjuntivite, problemas renais, diurético, antinoceptivo, gastroproteção	Souza et al., 2005; Shalini, Kaza & Shaik, 2010; Rahman et al., 2011; Dash & Abdullah, 2013; Costa & Herrera, 2016;
Cactaceae	<i>Cereus jamacaru</i> "Mandacaru"	Raiz e Caule	Compostos fenólicos	Sífilis, diabetes, cálculos vesiculares, problemas na uretra e anti-inflamatório	Barbosa-Neto, 2018; Silva et al., 2019
Fabaceae	<i>Hymenaea courbaril</i> L. "Jatobá"	Fruto, casca do caule, casca do fruto	Triterpenos, diterpenos, flavonoides e compostos fenólicos	Tosse, constipação, bronquite; antimicrobiano, antioxidante, anti-inflamatório	Gonçalves et al., 2005; Jayaprakasam et al., 2007; Sales et al., 2015; Macedo et al., 2018
	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit "Leucena"	Sementes, folhas	Taninos condensados, flavonoides, esteroides	Anti-dengue, antimalárica, antibacteriana, antioxidante	Almeida-Filho et al., 2016; Aher et al., 2017; Ghotekar et al., 2018
	<i>Medicago sativa</i> L. "Alfafa"	Folhas	Flavonoides, alcaloides, triterpenos, esteroides, saponinas.	Tosse, antidiabética, anti-inflamatória, antioxidante, antimicrobiana	D'addabbo et al., 2011; Mirzaei et al., 2019
	<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth. "Unha de gato"	Casca, flores, folhas	Esteróide, triterpeno, compostos fenólicos, taninos	Anticoagulante, bronquite, hipotensora, antifúngica, antibacteriana, antineoplásico	Albuquerque et al., 2007; Callou et al., 2015; Monção et al., 2015
	<i>Senna obtusifolia</i> (L.) H.S.Irwin & Barneby "Mata pasto"	Folhas	Flavonoide, alcaloide, esteróide, terpeno	Dor de cabeça, reumatismo, diurética, antioxidante	Agra et al., 2008; Wu et al., 2010; Xu et al., 2012; Macedo et al., 2016

Família	Nome científico/ Nome popular	Parte utilizada	Constituintes químicos	Uso medicinal	Referências
Lamiaceae	<i>Ocimum basilicum</i> L. “Manjeriço”	Folhas	Óleos essenciais	Antimicrobiano	Gondim-Filho, 2018
	<i>Plectranthusamboinicus</i> (Lour.) Spreng. “Malvariço”	Folhas	Óleos essenciais	Antidispépticas, analgésicas	Mesquita et al., 2017
	<i>Plectranthus barbatus</i> Andr. “Malva santa”	Folhas	Óleos essenciais	Antidispépticas, analgésicas	Freitas et al., 2014
	<i>Plectranthus grandis</i> (Cramer) Willense “Boldo gigante”	Folhas	Óleos essenciais	Antidispépticas, analgésicas	Freitas et al., 2014
Malvaceae	<i>Gossypium hirsutum</i> L. “Algodão”	Folhas	Terpenos e esteroides	Antimalárico	Adebayo & Krettli, 2011; Carvalho et al. 2015
	<i>Herissantia crispa</i> (L.) Brizicky “Malvaisco”	Partes aéreas	Flavonoides	Antinociceptiva e anti-inflamatória Antitumor	Pereira, 2013; Costa & Herrera, 2016;
	<i>Herissantia tiubae</i> (K.Schum.) Brizicky “Mela-bode”	Partes aéreas	Flavonoides Cicloartenol e Cicloeucaleanol 5,4-dii- droxi-3,6,7,8,3- pentametoxyflavona	Gripe, febre, Espasmolítico Agente modulador da resistência bacteriana	Falcão-Silva et al. 2009; Gomes et al., 2013; Costa & Herrera, 2016
	<i>Melochia tomentosa</i> L. “Capa-bode”	Raiz	Alcaloides	Gripe, resfriado, bronquite, inflamação pulmonar	Dias, 2005; Costa & Herrera, 2016;
	<i>Sida cordifolia</i> L. “Malva-branca”	Folhas	Óleo essencial	Inflamação renal, acne, tosse, leucorreia	Nunes et al. 2006; Costa & Herrera, 2016;
	<i>Sida galheirensis</i> Ulbr. “Malva-roxa”	Partes aéreas	Flavonoides	Acne, tosse e leucorreia; antioxidante	Costa & Herrera, 2016; Silva et al., 2006
Meliaceae	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss. “Neem”	Fruto, galho, folha, resina	Terpenos, esteroides, flavonoides, taninos	Antimicrobiana, diabetes, vermes intestinais, doenças de pele	Dwivedi et al., 2016; Benelli et al., 2017; Gupta et al., 2017
Poaceae	<i>Urochloa mutica</i> (Forssk.) T. Q. Nguyen “Capim fino”	Planta inteira	-	Anticâncer	Hansakul et al., 2009
	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers. “Capim de burro”	Planta inteira	Flavonoides, polifenóis	Hipoglicêmica	Sohgaura et al., 2018
Portulacaceae	<i>Portulaca pilosa</i> L. “Amor crescido”	Folhas	Polifenóis, esteroides, taninos	Hepatoprotetor, diurético, antioxidante, antimicrobiano	Mendes et al., 2011; Gatea et al., 2017

4 INFLUÊNCIA DA SALINIDADE NAS PLANTAS MEDICINAIS DO PANTANAL

O Bioma Pantanal é considerado a maior planície inundável tropical e contínua do planeta, abrangendo uma área entre 140 e 165 mil km², aproximadamente (Silva & Abdon, 1998; Wantzen et al., 2024), distribuídos entre Paraguai (1,8%), Bolívia (6,6%) e Brasil (91,6%). Em nosso país, encontra-se dividido entre os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, com maior proporção neste último (Ferreira, 2013; Gomide, 2013). A região geográfica, onde tal formação se encontra, caracteriza-se por ser uma bacia sedimentar, formada por leques aluviais e planícies deprimidas (Neide, 2020).

Adamoli (1981) afirma que a hidrografia da região é caracterizada por episódios periódicos de inundação, que acabam por gerar ciclos de cheia e seca. Tais ciclos, por serem a principal força controladora da biota em planícies inundáveis, segundo o Conceito de Pulso de Inundação (Junk et al., 1989), regem a fitofisionomia pantaneira, sendo os responsáveis pela diferenciação entre formações vegetais por todo o Pantanal (Pott & Pott, 2000; Fantin-Cruz et al., 2010; Ferreira, 2013).

Segundo Prado et al. (1994) e Magalhães et al. (2005), esses fatores acarretam não só em uma distinção entre espécies encontradas em diferentes formações, como também em uma grande plasticidade fenotípica dentro de uma mesma espécie, que vai desde mudanças morfológicas internas e externas (como a disposição dos feixes vasculares e área foliar) até diferenças bioquímicas e fisiológicas, as quais são provocadas por elementos como exposição à luz, quantidade de água e temperatura do meio.

É importante salientar que o ciclo hídrico do Pantanal acarreta uma alternância entre espécies aquáticas e terrestres (Bao et al., 2017). Em torno de um regime hidrológico tão peculiar, é natural que surjam corpos d'água com diversas características distintas, desde a forma de alimentação até a sua sazonalidade ao longo do ano. Dentre estes, podemos destacar as baías que, quando localizadas em regiões com elevada quantidade de sais (especialmente derivados de sódio), recebem o nome de salinas (Rodela & Queiroz-Neto, 2006).

Devido à quantidade de sais dissolvidos na água, o pH das salinas tende a ser alcalino, frequentemente ultrapassando 9,5. Silva & Sakamoto (2009) afirmam que o abastecimento das salinas é dado pelos lençóis freáticos, alimentados diretamente pela água da chuva devido à alta capacidade de infiltração dos solos arenosos em torno destes corpos d'água. Os autores ainda levantam a hipótese de que o fluxo de água, quer superficial, quer subterrâneo, aliado a processos geoquímicos locais, seria o responsável pelo surgimento das lagoas salinas.

As salinas são pouco propícias à ocorrência de plantas verdadeiras, encontradas em praias ou campos limpos que as circundam (Santos et al., 2004; Rodela & Queiroz-Neto, 2006). No que diz respeito a plantas terrestres, as salinas se mostram pouco convidativas, o mesmo não pode ser dito para a ocorrência de algas, grupo para o qual há registros de ocorrência para diversos gêneros (Santos et al., 2004; Malone et al., 2007)

Apesar de não haver registros para utilidade medicinal para nenhum destes gêneros, populações andinas utilizam *Nostoc* (Cyanobacteria – Nostocaceae) como parte de sua

alimentação desde tempos pré-colombianos, tendo sido um alimento bastante comum na dieta dos incas por ser indicada para fortalecer os dentes e ossos (Ponce, 2014). A alta capacidade nutritiva deste gênero deve-se ao seu elevado índice proteico, oriundo de um metabolismo fixador de nitrogênio (Santos et al., 2004).

As lagoas salinas apresentam, predominantemente, vegetação de florestal Estacional ao seu redor, em áreas próximas às salinas, e possuem uso medicinal, quer popular, quer testado farmacologicamente (Tabela 3) (Ratter et al., 1988; Silva et al., 2000; Battilani et al., 2011; Amador et al., 2012).

É necessário, contudo, ressaltar que não há estudos comparativos acerca dos metabólitos presentes nas populações encontradas em regiões de maior salinidade do solo em comparação a outras populações. Assim, não se sabe qual a influência que os fatores geoquímicos da água e do solo sobre a fisiologia de tais plantas, o que pode afetar diretamente a qualidade e composição de seus compostos químicos. É necessário, portanto, a preservação de tal ecossistema, de modo que seus recursos naturais possam ser mais bem compreendidos.

Tabela 3: Plantas medicinais do pantanal sul-mato-grossense com genótipos halotolerantes.

Família	Nome científico/ Nome popular	Parte utilizada	Constituintes químicos	Uso medicinal	Referências
Anacardiaceae	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott "Gonçalo-alves"	Casca	Taninos pirogálicos, esteroides, triterpenos, saponinas e flavonoides	Tratamento de inflamações gástricas, vaginas, antidiarreico	Cruz, 1982; Ratter et al., 1988; Matos, 1989; Silva et al., 2000; Costa et al., 2007; Battilani et al., 2011; Amador et al., 2012
Arecaceae	<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex Mart. "Bocaiúva, macaúba"	Fruto, óleo, plântula, raiz, seiva	Flavonoides	Diurético, febrífugo, hipotensor, analgésico e laxante	Ratter et al., 1988; Silva et al., 2000; Lorenzi, 2006; Lisingen & Cervi, 2009
	<i>Attalea phalerata</i> Mart. ex Spreng. "Acuri, aricuri, uricuri"	Fruto	Carotenoides	Antioxidante, anti-inflamatório	Ratter et al., 1988; Battilani et al., 2011; Lima et al., 2018
Asteraceae	<i>Achyrocline satuireioides</i> (Lam.) DC. "Macela"	Flores	Flavonoides, terpenoides, carotenoides, cumarinas, esteroides, sequeiterpenos, monoterpenos	Anti-inflamatório, hipoglicemiante, antiepiléptico, emagrecedor, antitussígeno	Gomes et al., 2018; <i>speciesLink</i> , 2020
Bignoniaceae	<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos "Piuva, ipê-roxo"	Casca	Quinonas, naftoquinona, taninos, flavonoides	Combate tumoral, analgésico, anti-inflamatório, antifúngico, antibiótico, auxiliar no tratamento de doenças estomacais	Ratter et al., 1988; Silva et al., 2000; Ministério da Saúde, 2015
	<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore "Paratudo, ipê-amarelo-do-pantanal"	Casca	Etanóis	Anti-inflamatório, antigripal, antimicrobiano, antidematogênico, antirradicalar e anestésico para picadas de serpentes	Battilani et al., 2011; Santos et al., 2015

Família	Nome científico/ Nome popular	Parte utilizada	Constituintes químicos	Uso medicinal	Referências
Bromeliaceae	<i>Bromelia balansae</i> Mez “Caraguatá”	Fruto	-	Antiasmático, tratamento de bronquite	Guarim-Neto & Morais, 2003; Amador et al., 2012
Burseraceae	<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand “Breu branco”	Resina	Monoterpenos e triterpenos pentacíclicos	Tônico, estimulante, expectorante, anti-inflamatório e tratamento à úlcera	Silva et al., 2000; Oliveira, 2005
Combretaceae	<i>Combretum leprosum</i> Mart. “Carne-de-vaca, mofumbo”	Folhas, raízes	Ácido arjunólico, ácido mólico, ácidos graxos, triterpenos, flavonoides glicosilados, quercetina	Expectorante, afrodisíaco, sedativo, anti-hemorrágico	Silva, 2009; Alves Filho et al., 2015; <i>speciesLink</i> , 2020
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum anguifugum</i> Mart.	Raiz	-	Paliativo para peçonha de serpentes	Mendonça et al., 1998; <i>speciesLink</i> , 2020
Fabaceae	<i>Andira inermis</i> (W.Wright) DC. “Morcegueiro”	Casca, semente	Etanóis	Vermífugo, cicatrizante	Lima, 2006; Battilani et al., 2011
	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan “Angico, angico-branco”	Casca	-	Tratamento de doenças do trato respiratório, inflamações e problemas estomacais	Silva et al., 2000; Cordeiro & Félix, 2014;
	<i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn. “Acácia-amarela”	Casca, folhas, raízes	-	Parasiticida	Amador et al., 2012; Vasconcelos et al., 2015
Lamiaceae	<i>Vitex cymosa</i> Bertero ex Spreng. “Tarumã”	Folhas	Iridoides, flavonoides, triterpenos	Anti-hipertensivo, diurético, tratamento de artrite, inseticida, antinociceptivo	Ratter et al., 1988; Guarim-Neto & Morais, 2003; Battilani et al., 2011; Teixeira, 2014
Moraceae	<i>Ficus gomelleira</i> Kunth “Gameleira”	Látex	Triterpenos pentacíclicos	Vermífugo	Battilani et al., 2011; Silva et al., 2015
Rhamnaceae	<i>Rhamnidium elaeocarpum</i> Reissek “Saraguajá amarelo”	Casca	-	Problemas estomacais	Guarim-Neto & Morais, 2003; Battilani et al., 2011
Rubiaceae	<i>Sphinctanthus haslerianus</i> Chodat “Arrebenta-laço”	Folhas, fruto	-	Antimicótica, combate coceiras e furúnculos	Vilella et al., 2000; Amador et al., 2012
	<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltdl.) K.Schum. “Guamarú”		Genipina	Antirreumático, antifúngico	Coelho et al., 2006; Battilani et al., 2011
Rutaceae	<i>Zanthoxylum rigidum</i> Humb. & Bonpl. ex Willd. “Manica de porca”		Triterpenos, esteroides, flavonoides, alcaloides	Citotóxica	Silva et al., 2000; Silva et al., 2007; Teixeira, 2014
Sapindaceae	<i>Sapindus saponaria</i> L. “Saboneteira”	Fruto	Saponinas, triterpenoides	Anti-helmíntico, antidiarreico, adstringente e paliativo para peçonha de serpentes	Albiero et al., 2001; Guirado, 2005; Battilani et al., 2011

5 ALGAS MARINHAS MEDICINAIS

Embora exista um aumento de interesse dos produtos naturais de origem marinha, o investimento em espécies marinhas é menor em relação às espécies terrestres (Joly et al., 2011), ainda que grande parte desta riqueza permaneça inexplorada e subutilizada (Matta et al., 2011). A produção global de algas marinhas cultivadas cresceu de 13,5 milhões de toneladas em 1995 para mais de 30 milhões de toneladas em 2016, ano em que o comércio de plantas aquáticas, especialmente algas marinhas, foi equivalente a mais de um bilhão de dólares em 2016 (Wynne, 2017).

Embora tenha existido um avanço nas últimas décadas no que diz respeito à exploração do ambiente marinho, a biodiversidade encontrada nesse espaço continua, até então, majoritariamente inexplorada e com um enorme recurso para potenciais agentes terapêuticos (Villa & Gerwick, 2010; Bouef, 2011; Ngo et al., 2012; Blunt et al., 2014).

As algas são um grupo heterogêneo de organismos comumente dividido em microalgas e macroalgas, critério sem caráter taxonômico que tem como base seu tamanho. Tais organismos possuem uma taxonomia complexa e dinâmica. Os três principais filos de algas são Rhodophyta (algas vermelhas), Ochrophyta (algas marrons) e Chlorophyta (algas verdes) (Leal et al., 2013), tendo compostos ativos em todos esses grupos.

Apesar de as algas serem conhecidas por biossintetizarem terpenos, esteroides, compostos fenólicos, alcaloides, proteínas, carboidratos, vitaminas, fibras, entre muitos outros compostos (Plaza et al., 2008; Paigestout & Kubanek, 2010; Holdt & Kraan, 2011), a caracterização química e a identificação de componentes bioativos nestes indivíduos ainda são pouco exploradas, chegando a ser inexplorada em grande parte das espécies (Plaza et al., 2008).

Diversos medicamentos disponíveis no mercado tem sua origem em compostos extraídos de algas, dentre os quais podemos citar: antitumorais (citarabina - Aracytin®; trabectedina - Yondelis®; mesilato de eribulina Halaven®, brentuximabevedotina - Adcetris®; plitidepsina - Aplidin®), antivirais (iota-carragenina - Carragelose®), analgésico neuropático (ziconotida - Prialt®) e ésteres etílicos do ácido ômega-3 (Lovaza®), utilizados para o tratamento de hipertrigliceridemia (Zhang et al., 2016; Jiménez, 2018; Delgado-Calle et al., 2019).

O potencial farmacêutico dos ambientes aquáticos é crescente, haja visto a diversidade de algas existentes, as quais são responsáveis por diferentes metabolitos secundários. No presente trabalho, foram encontradas 20 espécies de algas no litoral brasileiro, as quais vêm sendo estudadas ao longo dos últimos anos em busca da comprovação de seus potenciais terapêuticos (Tabela 4).

Tabela 4: Algumas Algas marinhas do litoral brasileiro e seus potenciais terapêuticos.

Família	Nome científico	Tipo de alga	Compostos ativos	Uso medicinal	Referências
Cauleparceae	<i>Caulerpa mexicana</i> Sonder ex Kützing <i>Caulerpa sertularioides</i> (S.G.Gmelin) M.Howe <i>Caulerpa racemosa</i> (Forsskål) J.Agardh	Alga verde	Caulerpina	Antitumoral, antibacteriana, antiviral, anticonceptiva, anti-inflamatória, espasmolítico	Ayyda & Badria, 1994; Vairappan, 2004; Souza et al., 2009; Macedo et al., 2012; Cavalcante-Silva et al., 2013
Ceramiaceae	<i>Ceramium deslongchampsii</i> Chauvin ex Duby	Alga vermelha	Extrato Metanol:Tolueno 3:1	Antimicrobiana	Salvador et al., 2007
Cladophoraceae	<i>Chaetomorpha brachygona</i> Harvey	Alga verde	Fração clorofômica; ácidos fenólicos, flavonoides	Anticâncer; antioxidante e anti-inflamatória	Brahmi et al., 2018; Majumde et al., 2020
	<i>Chaetomorpha anteninna</i> (Bory) Kützing		Extrato etéreo	Antioxidante	Raymundo et al., 2005
Dictyotaceae	<i>Canistrocarpus cervicornis</i> (Kützing) De Paula & De Clerck	Alga parda	Diterpenos	Antiviral	Vallim et al., 2010
	<i>Dictyopteris jolyana</i> E.C.Oliveira & R.P.Furtado		Extrato Bruto Diclorometano:Metanol (2:1)	Antiplaquetária	Syracuse, 2018
	<i>Dictyota cervicornis</i> Kützing		Polissacarídeos sulfatados	Anticoagulante, antioxidante, antiproliferativa	Costa et al., 2010
	<i>Padina sanctae-cruzis</i> Borgensen		Diterpenos, Feofitinas	Citotóxica e antioxidante	Nogueira et al., 2017
Gracilariaceae	<i>Gracilaria birdiae</i> E.M.Plastino & E.C.Oliveira	Alga vermelha	Polissacarídeos sulfatados	Antioxidante	Souza et al., 2012
Halymeniaceae	<i>Grateloupia dichotoma</i> J.Agardh	Alga vermelha	Extrato Diclorometano	Antibacteriano	Bansemir et al., 2006
Monostromataceae	<i>Blidingia minima</i> (Nägeli ex Kützing) Kylin	Alga verde	Polissacarídeos	Anti-inflamatório	Song et al., 2019
Rhodomelaceae	<i>Laurencia aldingensis</i> Y.Saito & Womersley	Alga vermelha	Fases hexânica, clorofômica e metanólica; Agaran sulfatado	Fungistático; antivenenoso	Stein et al., 2011; Silva et al., 2016
	<i>Laurencia obtusa</i> (Hudson) J.V.Lamouroux		Diterpenos halogenados	Anticâncer	Iliopoulou et al., 2003
	<i>Laurencia tristicha</i> C.K.Tseng, C.F. Chang, E.Z.Xia & B.M.Xia		Sesquiterpenos	Anticâncer	Sun et al., 2005
	<i>Laurencia brongniartii</i> J.Agardh		Polibrometos sulfatados	Anticâncer	El-Gamal et al., 2005
Sargassaceae	<i>Sargassum filipendula</i> C.Agardh	Alga parda	Polissacarídeos sulfatados	Anticoagulante, antioxidante, antiproliferativa	Costa et al., 2010
Scytosiphonaceae	<i>Colpomenia sinuosa</i> (Mertens ex Roth) Derbès & Solier	Alga parda	Extrato DMSO e Metanólico; Extrato Etanólico	Antioxidante; hipolipidêmico	Ara et al., 2002; Lekameera et al., 2013

Família	Nome científico	Tipo de alga	Compostos ativos	Uso medicinal	Referências
Ulvaceae	<i>Enteromorpha intestinalis</i> (Linnaeus) Nees	Alga verde	Extrato Metanólico; Extrato Etanólico	Antioxidante; antibacteriana, antihemolítica	Raymundo et al., 2004; Soltani et al., 2012
	<i>Ulva linza</i> Linnaeus		Extrato metanólico; compostos fenólicos	Antibacteriano, anti-inflamatório, antioxidante	Sukatar et al., 2006; Kan et al., 2008; Jeliani et al., 2018
	<i>Ulva rigida</i> C.Agardh		Polissacarídeos sulfatados; compostos fenólicos;	Imunomoduladora, anti-coagulante, antioxidante	Leiro et al., 2007; Mezghani et al., 2016; Adrien et al., 2019

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estresse salino altera a produção de metabólitos secundários nas plantas medicinais, com destaque para espécies terrestres existentes no semiárido nordestino e no Pantanal brasileiro, bem como as algas existentes em ambientes marinhos. Neste levantamento foi possível identificar 28 halófitas utilizadas com fins medicinais, distribuídas no semiárido nordestino, 21 no pantanal e 20 em ambientes marinhos. As espécies medicinais que crescem expostas a essas alterações abióticas tendem a ter modificações na produção dos seus compostos bioativos como uma forma de se adaptar e sobreviver ao meio, passando, para tanto, por adaptações bioquímicas e fisiológicas que devem ser estudadas, tanto para melhor compreensão dos seus processos evolutivos, como para a obtenção de possíveis substâncias com importância médica e econômica para o ser humano.

LITERATURA CITADA

- Abdulmued, Y. K.; Kadium, E.; Mustafa, A. A. Antifungal Activity of Iraqi *Atriplex nummularia* Extraction. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, v. 10, n. 12, p. 3118, 2018.
- Acosta-Motos, J. R.; Ortuño, M. F.; Vicente, B. A.; VIVANCOS, D. P.; SANCHEZ, B. M. J.; Hernandez, J. A. Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. *Agronomy*, v. 7, n. 18, p.1-38, 2017. <https://doi.org/10.3390/agronomy7010018>
- Adamoli, J. O Pantanal e suas relações fitogeográficas com os cerrados. Discussão sobre o conceito de “complexo do Pantanal”. In: *Anais do XXXII Congresso nacional de Botânica*, p. 109-119, Teresina-PI, 1981.
- Adebayo, J. O. & Krettli, A.U. Potential antimalarials from Nigerian plants: A review. *Journal of ethnopharmacology*, v. 133, p. 289-302, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.11.024>

- Adrien, A.; Bonnet, A.; Dufour, D.; Baudouin, S.; Maugard, T.; Bridiau, N. Anticoagulant activity of sulfate dulvanisolated from the green macroalga *Ulva rigida*. *Marine drugs*, v. 17, n. 5, p. 291, 2019.
- Agarwal, P. K.; Push, S. S.; Bhavanath J. H. A. K. G. Bioengineering for salinity tolerance in plants: state of the art, *Mol. Biotechnol.*, v. 54, p. 102–123, 2013.
- Agra, M. F.; Silva, K. N.; Basílio, I. J. D.; Freitas, P. F.; Barbosa-Filho, J. M. Levantamento das plantas medicinais usadas na região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 18, p. 472, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2008000300023>
- Aher, Y. B.; Jain, H. G.; Patil, G. E.; Deshmukh, K. K. Biosynthesis of copper oxide nanoparticles using leaves extract of *Leucaena leucocephala* L. and their promising upshot against diverse pathogens. *International Journal of Molecular and Clinical Microbiology*, v. 7, n. 1, p. 776-786, 2017.
- Albiero, L. M. A.; Bacchi, E. M.; Mourão, K. S. M. Caracterização anatômica das folhas, frutos e sementes de *Sapindus saponária* L. *Acta Scientiarum*, v.23, p.549-560, 2000.
- Albuquerque, U. P.; Medeiros, P. M.; Almeida, A. L. S.; Monteiro, J. M. M.; Lins Neto, E. M. F.; Melo, J. G.; Santos, J. P. Medicinal plants of the caatinga (semi-arid) vegetation of NE Brazil: A quantitative approach. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 114, 325–354, 2007.
- Almeida-Filho, L. C. P.; Souza, T. A.; Tabosa, P. M. S.; Soares, N. G.; Rocha-Bezerra, L. C. B.; Vasconcelos, I. M.; Cravalho, A. F. U. Trypsin inhibitor from *Leucaena leucocephala* seeds delays and disrupts the development of *Aedes aegypti*, a multiple-disease vector, 2016.
- Alves Filho, F. C.; Cavalvanti, P. M. S.; Passaglia, R. C. A. T.; Ballejo, G. Extrato das cascas de *Combretum leprosum* causa relaxamento dependente de endotélio de longa duração em artérias isoladas. *EINSEinstein*, v. 13, n.3, 2015.
- Alves, F. A. L.; Ferreira-Silva, S. L.; Silveira, J. A. G.; Pereira, V. L. A. Efeito do Ca^{2+} externo no conteúdo de Na^+ e K^+ em cajueiros expostos a salinidade. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 6, n. 4, p. 602-608, 2011.
- Amador, G. A.; Sartori, A. L. B.; Damasceno-Junior, G. A.; Casagrande, J. C. Structure of two communities dominated by *Copernicia alba* and associations with soil and inundation in Pantanal wetland, Brazil. In: *Oecologia Australis*, v. 16, p. 846-858, 2012.

- Ara, J.; Sultana, V.; Qasim, R.; Ahmad, V. U. Hypolipidaemic activity of sea weed from Karachi coast. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, v. 16, n. 5, p. 479-483, 2002.
- Ayres, M. C. C.; Brandão, M. S.; Vieira-Junior, G. G.; Menor, J. C. A. S.; Silva, H. B.; Soares, M. J.; Chaves, M. H. Atividade antibacteriana de plantas úteis e constituintes químicos da raiz de *Coperniciaprinifera*, v. 18, n. 1, p. 90-97, 2008.
- Ayyad, S. E. N. & Badria, F. A. Caulerpin: Na antitumor índole alkaloid from *Caulerpa racemosa*. *Alex. J. Pharm. Sci.* 8, 217–219, 1994.
- Balnokin, Yu. B. *Ion Homeostasis and Salt Tolerance of Plants*, Moscow: Nauka, 2012.
- Bansemir, A.; Blume, M.; Schröder, S.; Lindequist, U. Screening of cultivated seaweeds for antibacterial activity against fish pathogenic bacteria. *Aquaculture*, n. 252, n. 1, p. 79-84, 2006.
- Bao, F.; Elsey-Quirk, T.; Assis, M.A.; Pott, A. Seed bank of seasonally flooded grassland: experimental simulation of flood and post-flood. *Aquatic Ecology*, v. 51, p. 1-13, 2017.
- Barbosa, H. M.; Amaral, D.; Nascimento, J. N.; Machado, D. C.; Sousa A. T. A., Albuquerque, U. P.; Lira, E. C. *Spondias tuberosa* inner bark extract exert antidiabetic effects in streptozotocin-induced diabetic rats. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 27, p. 248-257, 2018.
- Barbosa-Neto, M. A. Maturação de frutos e salinidade na qualidade fisiológica de sementes de mandacaru (*Cereus jamacaru* P. DC.). Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba. Areia - PB, 2018.
- Bassil, E.; Ohto, M.; Esumi, T.; Tajima, H.; Zhu, Z.; Cagnac, O.; Belmonte, M.; Peleg, Z.; Yamaguchi, T.; Andblumwald, E. The *Arabidopsis* intracelular Na^+/H^+ antiporters NHX5 and NHX6 are endosome as sociated and necessary for plant growth and development. *The Plant Cell*, v. 23, p. 224–239, 2011. <https://doi.org/10.1105/tpc.110.079426>
- Battilani, J. L.; Ferreira, C.M.; Penatti, N.C.; Vidotto, C.; Damasceno-Junior, G. A.; Pott, A. Análise comparativa da estrutura de dois capões de floresta estacional semidecídua na sub-região do Pantanal de Miranda, MS, Brasil, com diferentes métodos de amostragem.. In: *Fitossociologia no Brasil: Métodos e estudos de caso*. Editora UFV, Viçosa – MG: 2011.
- Benelli, G. Blue tongueut breaks: Looking for effective control strategies *Against Culicoides vectors*. *Res VetSci.* v. 115, p. 263-270, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.05.023>

- Berlinck, R. G. S.; Hajdu, E.; Rocha, R. M.; Oliveira, J. H. H. L.; Hernández, I. L. C.; Selegim, M. H. R.; Granato, A. C.; Almeida, É. V. R.; Nuñez, C. V.; Muricy, G.; Peixinho, S.; Pessoa, C.; Moraes, M. O.; Cavalcanti, B. C.; Nascimento, G. G. F.; Thiemann, O.; Silva, M.; Souza, A. O.; Silva, C. L.; Minarini, P. R. R. Challenges and rewards of research in marine natural products chemistry in Brazil. *Journal of Natural Products*, v. 67, n. 3, p. 510-522, 2004.
- Blunt, J. W.; Copp, B. R.; Keyzers, R. A.; Munro, M. H. G.; Prinsep, M. R. Marine natural products. *Natural Product Reports*, v. 31, p. 160-258, 2014. [10.1039/C3NP70117D](https://doi.org/10.1039/C3NP70117D)
- Boeuf, G. Marine biodiversity characteristics. *Comptes Rendus Biologies*, v. 334, n. 5-6, p. 435-440, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2011.02.009>
- Callou, A. M. J.; Cássia Mendonça, R.; Feitosa, T. R.; Arruda, F. V. F.; Nascimento, M. S.; Gusmão, N. B. Avaliação da atividade antimicrobiana da casca da *Mimosa caesalpinifolia* Benth (Sabiá). *Scientia plena*, v. 8, n. 1, 2012.
- Cardoso, C. R. P.; Salaro, M. C. F.; Vilegas, W. Controle de qualidade preliminar de *Rhizophora mangle* planta do litoral brasileiro. *Ciência & Tecnologia: Fatec-JB*, v. 7, p. 32-36, 2015.
- Carneiro, D. B.; Barboza, M. S. L.; Menezes, M. P. Plantas nativas úteis na Vila dos Pescadores da Reserva Extrativista Marinha Caeté-Taperaçu, Pará, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, v. 24, p.1027-1033, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062010000400017>
- Carvalho, M. F.; El-Deir, S. G.; Corrêa, M.M.; Carvalho, G. C. Estudo de caso de três plantas bioindicadoras de solos salinos. *Revista verde*, v. 10, n. 3, p. 1-8, 2015.
- Castro, F. C. & Santos, A. M. Susceptibilidade ambiental a salinização das terras em municípios da microrregião de Petrolina, Pernambuco, Brasil. *Caminhos da geografia*, v. 16, n. 56, p. 160-172, 2015.
- Cavalcante, S. L. H. A.; Carvalho C. A. C.; Barbosa-Filho, J. M.; Silva, B. A.; Oliveira S. B. V.; Lira, D. P., Alexandre-Moreira, M. S. Spasmolytic effect of caulerpine involves blockade of Ca²⁺ influxon guinea pig ileum. *Marine drugs*, v. 11, n. 5, p. 1553-1564, 2013.
- Cerqueira, P. R. S.; Lacerda, C. F.; Araujo, G. G. L.; Gheyi, H. R.; Simões, W. L. Agricultura irrigada em ambientes salinos. Brasília: Codevasf, 2021.
- Chintalapani, S.; Ms, S.; Narasu, M.L. Phytochemical screening and in vitro antioxidante activity of Whole plant extracts of *Sesuvium portulacastrum* L. *Asian Journal PharmClin Res*, v. 11, n. 1, p. 322-327, 2018. <http://dx.doi.org/10.22159/ajpcr.2018.v11i1.22558>

- Coelho, V. P. M.; Agra, M. F.; Barbosa, M. R. V. Estudo farmacológico das folhas de *Tocoyena formosa* (Cham. &Schltdl.) K. Schum. (Rubiaceae). *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 16, n. 2, p. 170-177. 2006. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2006000200007>
- Cordeiro, J. M. P. & Félix, L. P. Conhecimento botânico medicinal sobre espécies vegetais nativas da caatinga e plantas espontâneas no agreste da Paraíba, Brasil. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v. 16, n. 3, p. 685-692, 2014. https://doi.org/10.1590/1983-084x/13_077
- Cosentino, C. Na⁺/H⁺ transporters of the halophyte *Mesem bryanthemum crystallinum* L., *Ph.D. Thesis*, Darmstadt: Techn. Univ. Darmstadt, 2008.
- Costa, A. C. R.; Silva, A. L. R.; Sousa, C. R.; Nascimento, R. R. G. Abordagem fitoquímica e avaliação da atividade larvicida e nematecida de *Astronium fraxinifolium* Schott. *Anais do 47º Congresso Brasileiro de Química*. Natal: 2007.
- Costa, C. S. B. & Bonilla, O. H. Halófitas brasileiras: formas de cultivo e uso. In book: *Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados*. Edition: 2. Chapter: 16, 2016.
- Costa, C. S. B. & Herrera, O. B. Halophytic life in Brazilian salt flats: Biodiversity, uses and threats. In: Khan, M. A.; Boër, B.; Ozturk, M.; Clüsener-Godt, M.; Gul, B.; Breckle, S.-W. (ed.) *Sabkha Ecosystem V: The Americas*. Berlin: Springer, 2016. p. 11-27.
- Costa, L. S.; Fidelis, G. P.; Cordeiro, S. L.; Oliveira, R. M.; Sabry, D. D. A.; Câmara, R. B. G.; Rocha, H. A. O. Biological activities of sulfated polysaccharides from tropical seaweeds. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, v. 64, n. 1, p. 21-28, 2010.
- Cruz, G. L. *Dicionário das plantas úteis no Brasil*. 2º ed. Co-editada em Difusão Editorial. Rio de Janeiro: 1982
- Cybulska, I.; Brudecki, G.; Alassali, A.; Thomsen, J. Phytochemical composition of some common coastal halophyte of the United Arab Emirates, *EJFA*. v. 26, n. 12, p. 1046-1056, 2014.
- D'addabbo, T.; Carbonara, T.; Leonetti, P.; Radicci, V.; Tava, A.; Avato, P. Control of plant parasitic nematodes with active saponins and biomass from *Medicago sativa*. *Phytochemistry Reviews*, v. 10, n. 4, p. 503-519, 2011.
- Dash, G. K.; Abdullah, M. S. A review on *Heliotropium indicum* L. (Boraginaceae). *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, v. 4, n. 4, p. 1253, 2013.
- Delgado-Calle, J.; Kurihara, N.; Atkinson, E. G.; Nelson, J.; Miyagawa, K.; Galmarini, C. M.; Roodman, G. D.; Bellido, T. Aplidin (plitidepsin) is a novel anti-myeloma agent with

- potent anti-resorptive activity mediated by direct effects on osteoclasts. *Oncotarget*, v. 10, n. 28, p. 2708-2721, 2019.
- Dias, G. O. C. Estudo fitoquímico da raiz da espécie *Melochia chamaedrys* St Hil. Tese (Doutor em Química) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005.
- Dreyer, I. and Uozumi, N., Potassium channels in plant cells, *FEBS J.*, 2011, v. 278, p. 4293–4303.
- Dutra, T. R.; Massad, M. D.; Moreira, P. R.; Ribeiro, E. S. M. Efeito da salinidade na germinação e crescimento inicial de plântulas de três espécies arbóreas florestais. *Brazilian Journal of Forestry Research*, v. 37, n. 91, p. 323-330, 2017.
- Dwivedi V. D.; Tripathi I. P.; Mishra S. K. *Azadirachta indica* against therapeutic targets of dengue virus, NS2B-NS3 protease. *J Vector Borne Dis*, v. 53, n. 2, p.156-161, 2016.
- EMBRAPA FLORESTAS. Clima. Disponível em: <http://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm> . Acesso em 13 dez. 2016.
- Esteves, B. S.; Suzuki, M. S. Efeito da salinidade sobre as plantas. *Oecol. Bras*, v. 12, n. 4, p. 662-679, 2008.
- Falcão-Silva. V. S.; Silva, D. A. E.; Souza, M. F. V; Siqueira-Junior, J. P. Modulation of drug resistance in *Staphylococcus aureus* by a kaempferol glycoside from *Herissantia tiubae* (Malvaceae).. *Phytotherapy Research*, v. 47, n. 4, p. 279–284, 2009.
- Fantin-Cruz, I.; Girard, P.; Zeilhofer, P.; Collischonn, W.; Cunha, C.N. Unidades fitofisionômicas em mesoescala no Pantanal Norte e suas relações com a geomorfologia. In: *Biota Neotropica*, v. 10, n. 2, p. 31–38, 2010.
- Farias, S. G. G.; Santos, R. S.; Freire, A. L. O.; Silva, R. B. Estresse salino no crescimento inicial e nutrição mineral de gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Steud) em solução nutritiva. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 33, n. 5, p. 1499-1505, 2009.
- Ferreira, A. B. B. Pantanal Mato-Grossense: considerações sobre a proteção constitucional para um desenvolvimento econômico sustentável. *Interações*, v. 14, n.1, p. 11-20, 2013.
- Flowers, T. J.; Colmer, T. D. Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist*, v. 179, n. 4, p. 945-963, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02531.x>

- Freire, M. B. G. S.; Freire, F. J. Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. In: Novais, R. F.; Alvarez V., V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. (ed.). Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, 2007. cap.16, p. 929-954.
- Freitas, M. A. C.; Amorim, A. V.; Bezerra, A. M. E.; Pereira, M. S.; Bessa, M. C.; Nogueira Filho, F. P.; Lacerda, C. F. Crescimento e tolerância à salinidade em três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* expostas a diferentes níveis de radiação. Ver. Bras. Pl. Med., v. 16, n. 4, p. 839-849, 2014. https://doi.org/10.1590/1983-084X/12_152
- Ganjare, A.; Raut, N. Nutritional and medicinal potential of *Amaranthus spinosus*. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, v. 8, n. 3, p. 3149-3156, 2019
- Gatea, F.; Teodor, E. D.; Seciu, A. M.; Nagoda E.; Radu, G. L. . Chemical constituents and bioactive potential of *Portulaca pilosa* L vs. *Portulaca oleracea* L. Medicinal Chemistry Research, v. 26, n. 7, p. 1516-1527, 2017. <https://doi.org/10.1007/s00044-017-1862-5>
- Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes-Filho, E. Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicado. 2 ed. Fortaleza, INCTSal, 2016.
- Ghotekar, S.; Savale, A.; Pansambal, S. Phytofabrication of fluorescents ilvernano particles from *Leucaena leucocephala* L. leaves and their biological activities. Journal of Waterand Environmental Nanotechnology, v. 3, n. 2, p. 95-105, 2018.
- Gomes, A. Y. S.; Souza, M. FV.; Cortes, S. F.; Lemos, V. S. Mechanism Involved in the Spasmolytic Effects of a mixture of Two Triterpenes, cycloartenol and cycloeucalenol, Isolated from *Herissantia tiubae* in the Guinea-Pig Ileum. Planta Medica (Stuttgart), Italia, v. 71, n. 11, p. 1025-1029, 2005.
- Gomes, D. C.; Coriolano, M. C.; Holanda, V. N.; Correia, M. T. S. Use of *Achyrocline satureioides* (Lam.) DC in popular medicine andreported biological applications. Revista Interfaces: saúde, humanas e tecnologia, v. 6, n. 17. P. 173-177, 2018.
- Gomide, P. H. O. Diversidade de fungos micorrízicosarbusculares em diferentes fitosionomias do pantanal da Nhecolândia, MS. Tese (Doutor em Ciências do solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2013.
- Gonçalves, A. L.; Alves-Filho, A.; Menezes, H. Estudo comparativo da atividade antimicrobiana de extratos de algumas árvores nativas. Arquivos do Instituto Biológico, v. 72, n. 3, p. 353-358, 2005.

- Gondim-Filho, H. Tolerância de genótipos de manjeriço ao estresse salino em sistema hidropônico DFT. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA, 2018.
- Gribble, G. W. Biological activity of recently discovered halogenated marine natural products. *Marine Drugs*, v. 13, n. 7, p. 4044–4136, 2015. <https://doi.org/10.3390/md13074044>
- Guarim-Neto, G.; Morais, R.G. Plantas medicinais com potencial ornamental: um estudo no cerrado de Mato Grosso. *Rev. Bras. Hort. Ornam*, v. 9, n. 1, p. 89-97, 2003.
- Guirado, O. A. A. Potencial medicinal del género *Sapindus* L. (Sapindaceae) y de la especie *Sapindus saponaria* L. In: *Rev. Cubana Plant. Med.*, v. 10, n. 3, 2005.
- Gupta, S. C.; Prasad, S.; Tyagi A. K.; Kunnumakkara, A. B.; Aggarwal, B. B. NEEM (*Azadirachta indica*): An Indian traditional panacea with modern molecular basis. *Phytomedicine*, v. 15, n. 34, p. 14-20, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2017.07.001>
- Han, N.; Lan, W.J.; He, X.; Shao, Q.; Wang, B.S.; Zhao X.J. Expression of a Suaedasalsa Vacuolar H⁺/Ca²⁺ Transporter Gene in Arabidopsis Contributes to Physiological Changes in Salinity, *Plant Mol. Biol. Rep.*, v. 30, p. 470-477, 2012
- Han, N.; Shao, Q.; Bao, H. Y.; Wang, B. S. Cloning and Characterization of a Ca²⁺/H⁺ Antiporter from Halophyte *Suaeda salsa* L, *Plant Mol. Biol. Rep.*, v. 29, p. 449-457, 2011.
- Hansakul, P.; Ngamkitidechakul, C.; Ingkaninan, K.; Panunto, W. Antiproliferative, apoptoticinduction, and antiinvasive effect sof *Leersia hexandra* (L.) Sw., *Panicum repens* Linn., and *Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf extracts on human cancer cells. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, v. 31, n. 1, 2009.
- Hasanuzzaman, M.; Nahar, K.; Alam, M.; Bhowmik, P.C.; Hossain, A.; Rahman, M. M.; Prasad, M. N. V.; Ozturk, M.; Fujita, M. Potential use of halophytes to remediate saline soils, *BioMed. Res. Int.*, v. 2014, p. 1-12, 2014. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/589341>.
- Holdt, S.; Kraan, S. Bioactive compounds in seaweed: Functional food application sand legislation. *Journal of Applied Phycology*, v. 23, p. 543–597, 2011.
- Iliopoulou, D.; Mihopoulos, N.; Vagias, C.; Papazafi ri, P.; Roussis, V. Novel cytotoxic brominated diterpenes from the red alga *Laurencia obtusa*. *J Org Chem*, v. 68, p. 7667- 7674, 2003.

- Jayaprakasam, B.; Alexander-Lindo, R. L.; Dewitt, D. L.; Nair, M.G. Terpenoids from *Stinking toe* (Hymneaecourbaril) fruits with cyclooxygenase and lipidperoxidation inhibitory activities. *Food chemistry*, v. 105, n. 2, p. 485-490, 2007.
- Jdey, A.; Falleh, H.; Jannet, S. B.; Hammi, K. M.; Dauvergne, X.; Ksouri, R.; Magné, C. Phytochemical investigation and antioxidante, antibacterual and anti-tyrosinase performances of six medicinal halophytes. *South African Journal of Botany*, v. 112, p. 508-514, 2017.
- Jeliani, Z.; Mashjoor, S.; Soleimani, S.; Pirian, K.; Sedaghat, F. Antioxidant Activity and Cytotoxicity of Organic Extracts from Three Species of Green Macroalgae of Ulvaceae from Persian Gulf. *Modares Journal of Biotechnology*, v. 9, n. 1, p. 59-67, 2018.
- Jiménez, C. Marine natural products in medicinal chemistry. *ACS Medicinal Chemistry Letters*, v. 9, p. 959-961, 2018. <https://doi.org/10.1021/acsmedchemlett.8b00368>
- Joly, C. A.; Haddad, C.; F. B.; Verdade, L. M.; Oliveira, M, C.; Bolzani, V. S.; Berlinck, R. G. S. Diagnóstico da pesquisa em biodiversidade no Brasil. *Revista USP*, v. 89, p. 114-133, 2011.
- Junk, W. J.; Bailey, P. B.; Sparks, R. E. The Flood Pulse Concept in river-floodplain systems. In: *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 106, p. 110-127. 1989.
- Khan M. N. A., Choi J. S., Lee M. C., Kim E., Nam T. J., Fujii H., Hong Y. K. Anti-inflammatory activities of methanol extracts from various seaweed species. *J. Environ.Biol.*, 29: 465-469, 2008.
- Khan, M.S., Role of sodium and hydrogen (Na⁺/H⁺) antiporters in salt tolerance of plants: present and future challenges, *Afr. J. Biotechnol.*, v. 10, p. 13693–13704, 2011.
- Khan, S.; Jan, G.; Bibi, H.; Murad, W.; Ullah, K.; Ihsanullah. An ethnomedicinal survey of plant used in traditional medicine in arid and semi-arid zone of BahadurKhel, district Karak, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, v. 7, n. 3, p. 337-349, 2018.
- Kumar, A.; Kumari, S.; Somasundaram, T. Gas Chromatography-Mass Spectrum (GC-MS) Analysis of Bioactive Components of the Methanol Extract of Halophyte, *Sesuvium portulacastrum* L., *IJAPB*, v. 3, n. 3, p. 766-772, 2014.
- Leal, I. G.; Accioly, A. M. A.; Nascimento, C. W. A.; Freire, M. B. G. S.; Montenegro, A. A. A.; Ferreira, F. L. Fitorremediação de Solo Salino Sódico por *Atriplexnummulariae* Gesso de Jazida. *R. Bras. Ci. Solo.*, v.32, n.3, 1065-1072, 2008.

- Leal, M. C., Munro, M. H., Blunt, J. W., Puga, J., Jesus, B., Calado, R. Biogeography and biodiversity hotspots of macroalgal marine natural products. *Nat. Prod.*, v. 30, p. 1380–1390, 2013.
- Lebaudy, A., Very, A., Andsentenac, H. K⁺ channel activity in plants: genes, regulation and functions, *FEBS Lett.*, v. 581, p. 2357–2366, 2007.
- Leiro, J. M., Castro, R., Arranz, J. A., & Lamas, J. Immunomodulating activities of acidic sulphated polysaccharides obtained from the seaweed *Ulva rigida* C. Agardh. *International Immunopharmacology*, v. 7, n. 7, p.879-888, 2007.
- Lekameera, R.; Vijayabaskar, P.; Somasundaram, S. T. Evaluating antioxidant property of brown alga *Colpomenia sinuosa* (DERB. ET SOL). *African Journal of Food Science*, v. 2, n. 11, p. 126-130, 2013.
- Lima, F. F.; Lescno, C. H.; Arrigo, J. S.; Cardoso, C. A. L.; Coutinho, J. P.; Moslaves, I. S. B.; Ximenes, T. V. N.; Kadri, M. C. T.; Weber, S. S.; Perdomo, R. T.; Kassuya, C. A. L.; Vieira, M. C.; Sanjinez-Argandoña, E. J. Anti-inflammatory, antiproliferative and cytoprotective potential of the *Attalea phalerata* Mart. Ex Spreng. pulpoil. *PLoS ONE*, v. 13, n. 4, 2018.
- Lima, M. R. F.; Luna, J. S.; Santos, A. F.; Andrade, M. C. C.; Sant'ana, A. E. G.; Genet, J. P.; Marquez, B.; Neuville, L.; Moreau, N. Anti-bacterial activity of some Brazilian medicinal plants. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 105, p. 137-147, 2006.
- Lisingen, L. V.; Cervi, A.C. *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Loddex Mart., nova ocorrência para a flora do Estado do Paraná. *Acta Biol. Par.*, v. 38, n. 3-4, p. 187-192, 2009.
- Lorenzi, G. M. A. C. *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. – Arecaceae: bases para o extrativismo sustentável. Tese para a obtenção do grau de Doutor em Ciências. Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo – UFPA, Curitiba, 2006.
- Lourenço-Junior, J. Influência da salinidade e da disponibilidade de nutrientes no crescimento inicial de *Canavalia rósea* (Sw.) DC e de *Passiflora mucronata* Lam em um trecho de restinga. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2007.
- Macedo, E. M.S.; Silva, A. J. G.; Silva, M. G. V. Quimiodiversidade e propriedades biofarmacológicas de espécies de *Senna* nativas do Nordeste do Brasil. *Revista Virtual de Química*, v. 8, n. 1, p. 169-195, 2016. <https://doi.org/10.5935/1984-6835.20160012>
- Macêdo, M. J. F.; Ribeiro, D. A.; Santos, M. O.; Macêdo, D. G.; Macedo, J. G. F.; Almeida, B. V.; Saraiva, M. E.; Lacerda M. N. S.; Souza, M. M. A. Fabaceae medicinal flora with

- therapeutic potential in Savanna areas in the Chapada do Araripe, Northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 28, n. 6, p. 738-750, 2018.
- Macedo, N. R. P. V.; Ribeiro, M. S.; Villaça, R. C.; Ferreira, W.; Pinto, A.M.; Teixeira, V. L.; Cirne-Santos, C.; Paixão, I. C. N. P.; Giongo, V. Caulerpine as a potential antiviral drug against herpes simplex virus type 1. *Braz. J. Pharmacogn*, v. 22, n. 4, p. 861–867, 2012.
- Magalhães, K. N.; Bandeira, M. A. M.; Monteiro, M. P. Plantas medicinais da caatinga do nordeste brasileiro. Fortaleza, Imprensa universitária, 2020.
- Magalhães, M. A. F.; Cortines, E.; Melo, A. L.; Valcarcel, R. Influência da sazonalidade nos processos de regeneração espontânea na serra Madureira-Mendanha, RJ. In: **Simpósio Nacional sobre Áreas Degradadas**, 6. e Congresso Latino-Americano de Recuperação de Áreas Degradadas, 2., 2005, Curitiba. Curitiba: UFPR, 2005. p. 325 - 333.
- Magwa, M. L.; Gundidza, M.; Gweru, N.; Humpherey, G. Chemical composition and biological activities of essential oil from the leaves of *Sesuvium portulacastrum*. *J. Ethnopharmacol*, v. 103, n. 3, p. 85-89, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.07.024>
- Majumder, I.; Paul, S.; Nag, A. & Kundu, R. Chloroform fraction of *Chaetomorpha brachy-gona*, a marine green alga from Indian Sundarbans inducing autophagy in cervical cancer cells in vitro. *Scientific reports*, v. 10, n. 1, p. 1-12, 2020.
- Malone, C. F. S.; Santos, K. R. S.; Neto, M. J.; Sakamoto, A.Y. Gêneros de algas no plâncton de lagoas salinas situadas na Fazenda Nhumirim, Pantanal da Nhecolândia, MS. *Revista Brasileira de Biociências (Online)*, v. 5, p. 588-590, 2007.
- Manbir, K.; Nitika. Review on Sea purslane, *J Pharmacogn Phytochem*, v. 3, n. 5, p. 22-24, 2015.
- Mancarella, S.; Orsini, F.; Oosten, M. J. V.; Sanoubar, R.; Stanghellini, C.; Kondo, S.; Gianquinto, G.; Maggio, A. Leaf sodium accumulation facilitates salt stress adaptation and preserves photosystem functionality in salt stressed *Ocimum basilicum*. *Environmental and Experimental Botany*, v. 130, p. 162-173, 2016.
- Manzatto, C. V.; Freitas-Junior, E.; Peres, J. R. R. *Uso Agrícola dos Solos Brasileiros*, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. Site: <http://www.cnps.embrapa.br>. Acessado em 24/04/2022
- Matos, F. J. A. *Plantas Mediciniais: Guia de seleção e emprego de plantas medicinais do nordeste do Brasil*. Vol.01. UFCE, Fortaleza: 1989.

- Matta, C. B. B.; Souza, É. T.; Queiroz, A. C.; Lira, D. P.; Araújo, M. V.; Cavalcante-Silva, L. H. A.; Miranda, G. E. C.; Araújo-Júnior, J. X.; Barbosa-Filho, J. M.; Santos, B. V. O.; Alexandre-Moreira, M. S. Antinociceptive and anti-inflammatory activity from algae of the genus *Caulerpa*. *Marine Drugs*, v. 9, n. 3, p. 307-318, 2011.
- Mayer, A. M., Rodríguez, A. D., Tagliatalata-Scafati, O., Fusetani, N. Marine pharmacology in 2009–2011: marine compounds with antibacterial, antidiabetic, antifungal, anti-inflammatory, antiprotozoal, antituberculosis, and antiviral activities; affecting the immune and nervous systems, and other miscellaneous mechanisms of action. *Marine Drugs*, v. 11, n. 7, p. 2510–2573, 2013.
- Medeiros, M. F. T.; Albuquerque, U. P. Food flora in 17th century northeast region of Brazil in *Historia Naturalis Brasiliae*. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, v.10, p.1–20, 2014.
- Mendes, L. P. M.; Maciel, K. M.; Vieira, A. B. R.; Mendonça, L. C. V.; Silva, R. M. F.; Rolim Neto, P. J.; Barbosa, W. L.R.; Vieira, J. M.S. Antimicrobial activity of ethanol extracts of *Peperomia pellucida* and *Portulaca pilosa*. *Rev Ciênc Farm Básica Apl*, v. 32, n. 1, p. 121–125, 2011.
- Mendonça, J. O.; Cervi, A. C.; Guimarães, O. A. O gênero *Erythroxyllum* P. Browne (Erythroxyllaceae) do estado do Paraná, Brasil. *Braz. Arch. Biol. Technol.*, v. 41, n. 3, 1998.
- Meng, X.; Zhou, J.; Sui, N. Mechanisms of salt tolerance in halophytes: current understanding and recent advances. *Open life sciences*, v. 13, n. 1, p. 149-154, 2018.
- Mesquita, S. B. S.; Costa, R. S.; Amorim, A. V.; Lacerda, C. F.; Fonseca, A. M. Crescimento e composição do óleo essencial de malvariço cultivado sob salinidade e doses de biofertilizante. *Revista agroambiente*, v. 11, n. 4, p. 315-322, 2017.
- Mezghani, S.; Csopor, D.; Bourguiba, I.; Hohmann, J.; Amri, M.; Bouaziz, M. Characterization of phenolic compounds of *Ulva rigida* (Chlorophyceae) and its antioxidant activity. *European Journal of Medicinal Plants*, p. 1-9, 2016. <https://doi.org/10.9734/EJMP/2016/22935>
- MINISTÉRIO DA SAÚDE, ANVISA. Monografia da espécie *Tabebuia avellanedae* (ipê roxo), Brasília, 2015.
- Mirzaei, F.; Raissi, V.; Teimouri, A.; Mousavi, P.; Mohaghegh, M. A.; Manshadi, M. D.; Zare, F.; Esboei, B. R. Anti-Trichomonas Vaginalis Activity of Ethanolic Extracts of *Medicago Sativa* and *Satureja Hortensis*, In Vitro Study. *International Journal of Medical Laboratory*, v. 6, n. 3, p. 166-171, 2019. <https://doi.org/10.18502/ijml.v6i3.1397>

- Monção, N. B. N.; Araújo, B. Q.; Silva, J. N.; Lima, D. J. B.; Ferreira, P. M. P.; Airoidi, F. P. S.; Pessoa, C.; Citó, A. M. G. L. Assessing chemical constituents of *Mimosa caesalpinifolia* stem bark: possible bioactive components accountable for the cytotoxic effect of *M. caesalpinifolia* on human tumour cell lines. *Molecules*, v. 20, n. 3, p. 4204-24, 2015.
- Montenegro, A. A. A.; Montenegro, S. M. G. L.; Marinho, I.; Silva, V. P.; Silva, A. A. J. Uso de água subterrânea salina em halófitas no semi-árido Nordeste. *Revista brasileira de recursos hídricos*, v. 8, n. 2, p. 75-84, 2003.
- Mudgalet, V.; Madaan, N.; Mudgal, A. Biochemical mechanisms of salt tolerance in plants: a review. *International Journal of Botany*, v. 6, n. 2, p. 136-143, 2010. <https://doi.org/10.3923/ijb.2010.136.143>
- Munns, R. Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytologist*, v. 167, n. 3, p. 645-663, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01487.x>
- Nassar, C. Macroalgas Marinhas do Brasil: guia de campo das principais espécies. 1 ed. Rio de Janeiro: Technical Books, 2012.
- Nawaz K.; Hussain, K.; Majeed, A.; Khan, F.; Afghan, S.; Ali, K. Fatality of salt stress to plants: Morphological, physiological and biochemical aspects. *Afr. J. Biotechnol.*, v.9, n.34, p. 5475-5480, 2010.
- Neide, R. Bioma Pantanal. Comissão externa destinada a acompanhar e promover e estratégia nacional para enfrentar as queimadas em biomas brasileiros. Brasília, 2020. Disponível em :<https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1949330&9filename> Acesso em: 28 de out. 2021.
- Ngo, D. H.; Vo, T. S.; Ngo, D. N.; Wijesekara, I.; Kim, S. K. Biological activities and potential health benefits of bioactive peptides derived from marine organisms. *Int. J. Biol. Macromol.*, v. 51, p. 378-383, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2012.06.001>
- Niu, X.; Bressan, R. A.; Hasegawa, P. M.; Pardo, J. M. Ion homeostasis in NaCl stress environments, *Plant Physiol.*, v. 109, p. 735-742, 1995.
- Nogueira, R. B. S. S.; Tomaz, A. C. A.; Pessoa, P. D.; Xavier, A. L.; Pita, J. C. R. L.; Sobral, M. V.; Pontes, M. L. C.; Pessôa, H. L. F.; Diniz, M. F. F. M.; Miranda, G. E. C.; Vieira, M. A. R.; Marques, M. O. M.; Souza, M. F. V.; Cunha, E. V. L. Brown Algae *Padina sanctae-crucis* Børgesen: A Potential Nutraceutical. *Mar. Drugs*, v. 15, n. 10, p. 251, 2017.

- Nunes, X. P.; Maia, G. L. A.; Almeida, J. R. G. S.; Pereira, F. O.; Lima, E. O. Antimicrobial activity of the essential oil of *Sida cordifolia* L. Revista Brasileira de Farmacognosia, v. 16, p. 642-644, 2006.
- Oliveira, F. A. Estudo das propriedades farmacológicas da resina de *Protiumheptaphylla*(Aubl.) March. e de seus principais constituintes, mistura de α - e β -amirina. Tese de doutorado. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza: 2005.
- Oresca, D. Interação salinidade, biofertilizante e adubação potássica na formação de mudas de maracujazeiro amarelo. Monografia (Graduação em Engenheiro agrônomo) – Universidade Federal da Paraíba. Arei, PB, 2016
- Paigestout, E., Kubanek, J. Marine macroalgal natural products. In H.-W. Liu & L. Mander (Eds.), Comprehensive natural products II (pp. 41–65). Oxford: Elsevier. 2010.
- Pandey S.; Patel M.K.; Mishra A.; Jha B., In planta transformed cumin (*Cuminum cyminum* L.) plants, over expressing the SbNHX1 gene showed enhanced salt endurance, PLoS ONE, v. 13, n. 11, 2016.
- Pedrini, A.G. Macroalgas: uma introdução à Taxonomia. 1 ed. Rio de Janeiro: Technical Book, 2010.
- Pedrotti, A.; Chagas, R. M.; Ramos, V. C.; Nascimento, P.; Lucas, A. A. T.; Santos, P. B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.
- Pereira, C. K. S. Atividade antinociceptiva e anti-inflamatória de *Herissantia crispa* (L.) Brizicky em camundongos. Tese (Doutorado em Produtos Naturais e Sintéticos Bioativos) Universidade Federal Da Paraíba, João Pessoa, PB, 2013.
- Plaza, M., Cifuentes, A., Ibanez, E. In the search of new functional food ingredients from algae. Trends in Food Science & Technology, v. 19, p. 31–39, 2008.
- Ponce, E. *Nostoc: un alimento diferente y su presencia en laprecordillera de Arica*. Idesia [online]. v. 32, n. 2, p. 119-121, 2014. ISSN 0718-3429.
- Pott, V. J.; Pott, A. Plantas Aquáticas do Pantanal. Corumbá – MS: EMBRAPA, 2000.
- Prado, A. L.; Heckman, C. W.; Martins, F. R. The seasonal succession of biotic communities in wetlands of the tropical wet-and-dry climatic zone: II. The aquatic macrophyte vegetation

- in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. *Internatertionale Revue gesamten Hydrobiologie*, v. 79, n. 4, p. 569-589, 1994.
- Praxedes, S. C.; Lacerda, C. F.; DaMatta, F. M.; Prisco, J. T.; Gomes-Filho, E.; Salt tolerance is associated with differences in ion accumulation, biomassal location and photosynthesis in Cowpea cultivars. *Jornal of agronomy and crop Science*, v. 196, p. 193-204, 2010.
- Qasim, M.; Abideen, Z.; Adnan, M.Y.; Gulzar, S.; Gul, B.; Rasheed, M.; Khan, M.A.; Antioxidant properties, phenolic composition, bioactive compounds and nutritive value of medicinal halophytes commonly used as herbal teas. *South African Journal of Botany*, v. 110, p. 240-250, 2017.
- Rahman, M. A.; Mia, M. A.; Shahid, I.Z. Pharmacological and phytochemical screen activities of roots of *Heliotropium indicum* Linn. *Pharmacologyonline*, v. 1, p. 185-192, 2011.
- Ratter, J. A.; Pott, A.; Pott, V. J.; Cunha, C. N.; Haridasan, M. Observations on woody vegetation types in the Pantanal and around Corumbá, Mato Grosso do Sul, Brazil. *Notes from the Royal Botanic Garden Edinburgh, Edinburgh*, v. 45, n. 3, p. 503-525, 1988.
- Raymundo, M. D. S.; Horta, P.; Fett, R. Atividade antioxidante in vitro de extratos de algumas algas verdes (Chlorophyta) do litoral catarinense (Brasil). *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, v. 40, n. 4, p. 495-503, 2004.
- Ribeiro, M. R.; et al. Química dos solos salinos e sódicos. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (ed.). *Química e mineralogia do solo. Parte II – Aplicações*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 449-484, 2009.
- Rodela, L. G.; Queiroz Neto, J. P. Unidades de vegetação e pastagens nativas do pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul in GEOUSP: Espaço e Tempo: Revista da pós-graduação em Geografia [S.l: s.n.]. São Paulo: USP, 2006.
- Rozentsvet, O. A.; Nesterov, V.N.; Bogdanova, E.S.; Tabalenkova, G.N.; Zakhochiy, I.G., Biochemical conditionality of differentiation of halophytes by the type of regulation of salt metabolism in Prieltonye, *Contemp. Probl. Ecol.*, v. 9, n. 1, p. 98-106, 2016.
- Sales, G. P.; Batista, A. H. M.; Rocha, L. Q.; Nogueira, N. A. Efeito antimicrobiano e modulador do óleo essencial extraído da casca de frutos da *Hymenaea courbaril* L. *Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada*, v. 35, n. 4, 2015.
- Salvador, N.; Garreta, A.G.; Lavelli, L.; Ribera, M.A. Antimicrobial activity of *Iberian macroalgae*. *Scientia Marina*, v. 71, p. 101-113, 2007.

- Santos, K. R.; Sakamoto, A. Y.; Jose Neto, M.; Barbiéro, L.; Queiroz Neto, J. P. Ficoflora do Pantanal da Nhecolândia, MS, Brasil: um levantamento preliminar em três lagoas salinas e uma salitrada. In: IV Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-Econômicos do Pantanal - SIMPAN 2004 - Sustentabilidade Regional, 2004, Corumbá. Anais do IV Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-Econômicos do Pantanal - SIMPAN 2004 - Sustentabilidade Regional. Corumbá – MS: 2004.
- Santos, N. S.; Silva, J. C. S.; Pereira, W. S.; Melo, J. L. R.; Lima, K.V.; Lima, D.O.; Lima, K. F.; Almeida, R. S. Crescimento da palma forrageira sob estresse salino e diferentes lâminas de irrigação. Revista Craibeiras de Agroecologia, v. 5, n. 1, p. e9452, 2020.
- Santos, P. R. Germinação, vigor e crescimento de duas cultivares de feijoeiro em soluções salinas. 48 f. Dissertação (Mestrado em Solos e nutrição de plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 2006.
- Santos, R. F. E. P.; Conserva, L. M.; Bastos, M. L. A.; Campesatto, E. A. Avaliação do potencial biológico de *Tabebuia aurea* (Silva Manso) como fonte de moléculas bioativas para atividade antimicrobiana, antidematogênica e antirradicalar. Rev. Bras. Pl. Med., v. 17, n. 4, p. 1159-1168, 2015. https://doi.org/10.1590/1983-084X/14_168
- Segura, J.G. Halófitas como alternativa em lafitorremediación, producción agrícola y otros usos. Monografía (Graduação e Biologia) – Facultad de Ciencias Experimentales, 2018.
- Shalini, S.; Kaza, R.; Shaik, F. Study on the anti-inflammatory activity of Helio tropium indicum. Journal of Innovative Trends in Pharmaceutical Sciences, v. 1, n. 1, p. 43, 2010.
- Shao, Q.; Han, N.; Ding, T. L.; Zhou, F.; Wang, B.S. SsHKT1;1 is a potassium transporter of the C-3 halophyte Suaeda salsa that is involved in salt tolerance, Funct. Plant Biol., v. 41, p. 790-802, 2014.
- Silva S. L.; Figueiredo P. M.; Yano T. Cytotoxic evaluation of essential oil from *Zanthoxylum rhoifolium* Lam. Leaves. Acta Amazonica, v. 37, n. 2, p. 281-286, 2007.
- Silva, A. C. R., Ferreira, L. G., Duarte, M. E. R., Fujii, M. T., Sanchez, E. F., Noseda, M. D., Fuly, A. L. Protective effect of the sulfated agaran isolated from the red seaweed *Laurencia aldingensis* against toxic effects of the venom of the snake, Lachesis muta. Marine biotechnology, v. 18, n. 6, p. 619-629, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10126-016-9722-8>
- Silva, D. A.; Silva, T. M. S.; Lins, A. C. S.; Costa, D. A.; Cavalcante, J. M. S.; Matias, W. N.; Souza, M.F.V. Constituintes químicos e atividade antioxidante de Sida galheirensis ULBR. (Malvaceae). Quimica nova, v. 29, n. 6, p. 1250-1254, 2006.

- Silva, E. N.; Silveira, J. A. G.; Rodrigues, C. R. F.; Dutra, A. T. B.; Aragão, R. M. Acúmulo de íons e crescimento de pinhão-mansó sob diferentes níveis de salinidade. *Revista Ciência Agronômica*, v. 40, n. 2, p. 240-246, 2009.
- Silva, F. T.; Dias, M. O.; Pinto, A. C.; Santos, N. P. “Pós de doliarina e ferro”: um dos remédios importantes da Farmácia Peckolt. *História, Ciências, Saúde.*, v. 22, n. 4, p. 1427-1439, 2015.
- Silva, L. F. C. R.; Valle, L. S.; Nascimento, A. R. C.; Medeiros, M. F. T. *Cereus jamacaru* DC. (Cactaceae): from 17th century naturalistas to modern day scientific and technological prospecting. *Acta botânica brasílica*, v. 33, n. 2, p. 191-197, 2019.
- Silva, M. H. S.; Sakamoto, A. Y. Reflexões preliminares sobre as lagoas salinas do Pantanal da Nhecolândia como unidades de paisagens distintas e peculiares. In: VI Congresso de Meio Ambiente da Associação de Universidades Grupo de Montevideo AUGM, 2009, São Carlos (SP). *Anais da 8 Jornada Científica e Tecnológica da UFSCAR*. São Carlos – SP: UFSCAR, 2009.
- Silva, M. P.; Ponzoni, F. J.; Pott, V. J.; Pott, A. Fitossociologia e estrutura de cerrado e mata semidecídua do Pantanal da Nhecolândia, MS. In: III Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-econômicos do Pantanal: Os Desafios do Novo Milênio, v. 3. Corumbá – MS: 2000.
- Silveira, J. A. G. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. *Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados*, v. 1, p. 161-18, 2010.
- Siqueira, E. M. S.; Félix-Silva, J.; Araújo, L. M. L.; Fernandes, J. M.; Cabral, B.; Gomes, J. A. S.; Roque, A. A.; Tomaz, J. C.; Lopes, N. P.; Fernandes-Pedrosa, M. F.; Giordani, R. B.; Zucolotto, S. M. *Spondias tuberosa* (Anacardiaceae) leaves: profiling phenolic compounds by HPLC-DAD and LC-MS/MS and in vivo antiinflammatory activity. *Biomedical Chromatography*, v. 30, n. 10, p. 1656-1665, 2016. <https://doi.org/10.1002/bmc.3738>
- Sohgaura, A.; Bigoniya, P.; Shrivastava, B. Diuretic potential of *Cynodon dactylon*, *Emblia officinalis*, *Kalanchoe pinnata* and *Bambusa nana*. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, v. 7, n. 3, p. 2895-2900, 2018.
- Soliman, G. A.; Abd El, R.M. Antihyperglycemic, Antihyperlipidemic and Antioxidant effect of *Atriplex farinosa* and *Atriplex nummularia* in Streptozotocin-induced Diabetes in rats. *Bull EnvPharmacol Life Sci*, v. 4, n. 12, p. 10-8, 2015.

- Soltani S.; Ebrahimzadeh M. A.; Khoshrooei R.; Rahmani Z. Antibacterial and antihemolytic activities of *Enteromorpha intestinalis* in Caspian Sea Coast, Iran. *J. Med. Plants Res.*, v. 6, p. 530-533, 2012.
- Song, W.; Li, Y.; Zhang, X.; Wang, Z. Potent anti-inflammatory activity of polysaccharides extracted from *Blidingiam inima* and their effect in a mouse model of inflammatory bowel disease. *Journal of Functional Foods*, v. 61, p. 103494, 2019.
- Souza, B. W.; Cerqueira, M. A.; Bourbon, A. I.; Pinheiro, A. C.; Martins, J. T.; Teixeira, J. A.; Vicente, A. A. Chemical characterization and antioxidant activity of sulfated polysaccharide from the seaweed *Gracilaria birdiae*. *Food Hydrocolloids*, v. 27, n. 2, p. 287-292, 2012.
- Souza, E. T.; Lira, D. P.; Queiroz, A. C.; Silva, D. J. C.; Aquino, A. B.; Mella, E. A. C.; Lorenzo, V. L.; Miranda, G. E. C.; Araújo-Júnior, J. X.; Chaves, M. C. O.; Barbosa-Filho, J. M.; Athayde-Filho, P. F.; Santos, B. V. O.; Alexandre-Moreira, M. S.. The antinociceptive and anti-inflammatory activities of caulerpine, a bisindole alkaloid isolated from seaweeds of the genus *Caulerpa*. *Marine Drugs*, v. 7, p. 689–704, 2009. <https://doi.org/10.3390/md7040689>
- Souza, J. S. N.; Machado, L. L.; Pessoa, O. D. L.; Braz-Filho, R.; Overk, C. R.; Yao, P.; Cordell, G. A.; Lemos, T. L. Pyrrolizidine alkaloids from *Heliotropium mindicum*. *J. Braz. Chem. Soc.*, v. 16, n. 6, p. 1410-1414, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532005000800019>
- speciesLink*: Banco de Dados. Disponível em: <https://specieslink.net/search/> Acesso em: 15 maio 2020.
- Stein, E. M.; Colepicolo, P.; Afonso, F. A.; Fujii, M. T. Screening for antifungal activities of extracts of the Brazilian seaweed genus *Laurencia* (Ceramiaceae, Rhodophyta). *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 21, p. 290-295, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2011005000085>
- Stengel, D. B.; Connan, S.; Popper, Z. A. Algal chemodiversity and bioactivity: Sources of natural variability and implications for commercial application. *Biotechnology Advances*, v. 29, p. 483–501, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.05.016>
- Sukatar A.; Karabay-yavasoglu N. U Ozdemir G.; Horzum, Z. Antimicrobial activity of volatile component and various extracts of *Enteromorpha phalinza* (Linnaeus) J. Agardh from the coast of Izmir, Turkey. *Annals of Microbiology*, v. 56, p. 275-279, 2006.
- Sun, J.; Shi, D.; Ma, M.; Li, S.; Wang, S.; Han, L.; He, L. Sesquiterpenes from the red alga *Laurencia tristicha*. *Journal of Natural Products*, v. 68, n. 6, p. 915-919, 2005.

- Syracuse, S. M. A. Avaliação do efeito de compostos isolados da alga marinha *Dictyopteris jolyana* sobre a agregação plaquetária. 80 p. Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Farmácia. UFSC. Florianópolis, SC, 2018.
- Tabosa, P. M. S.; Almeida Filho, L. C. P.; Franca, R. X.; Rocha-Bezerra, L. C.B.; Vasconcelos, I. M.; Carvalho, A. F. U. Trypsin Inivasconcelos, I. M.; Carvalho, A. F. Trypsin inhibitor from *Enterolobium contortisiliquum* seeds impairs *Aedes aegypti* development and enhances the activity of *Bacillus thuringiensis* toxins. *Pest Management Science*, v. 73, n. 1, p. 181-187, 2017.
- Távora, F. J. A. F.; Ferreira, R. G.; Hernandez, F. F. F. Crescimento e relações hídricas em plantas de goiabeira submetidas a estresse salino com NaCl. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 23, n.2, p.441-446, 2001.
- Teixeira, C. B. Screening de plantas presentes no Pantanal Sul-mato-grossense fundamentado na atividade antimicrobiana. Tese. Faculdade de Odontologia – UFMS, Campo Grande, 2014.
- Vairappan, C. S. Antibacterial activity of major secondary metabolites: Found in four species of edible green macroalgae genus *Caulerpa*. *Asian Journal Microbiology Biotechnology Environ. Science*, v. 6, p. 197-201, 2004.
- Vallim, M. A.; Juliana, E. B.; Diana, N. O. C.; Joel, C. D. P.; Viveca, A. G. G. O. D. S.; Valeria, L. T.; Izabel, C. N. D. P. P. O. *In vitro* antiviral activity of diterpenes isolated from the Brazilian brown alga *Canistrocarpus cervicornis*. *Journal of Medicinal Plants Research*, v. 4, n. 22, p. 2379-2382, 2010. <https://doi.org/10.5897/JMPR10.564>
- Vasconcelos, M. C.; Moreira, F. J. P.; Silva, M. L. M.; Pinheiro-Neto, L. G.; Souza, M. C. M. R. Caracterização morfobiométrica de frutos e sementes e superação da dormência em coronha (*Acaciafarnesiana*). *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 10, n. 5, p. 120-126, 2015.
- Vilella, T.; Andrade, B. S. B.; Mello, U.; Nord, N.; Silva, F. A. C.; Reis, S. L. A. Plantas Mediciniais e Tóxicas. III Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócioeconômicos do Pantanal: Os desafios do novo milênio, Corumbá – MS, 2000.
- Villa, F. A. & Gerwick, L. Marine natural product drug discovery: leads for treatment of inflammation, cancer, infections, and neurological disorders. *Immunopharmacology and Immunotoxicology*, 32, 228-237, 2010. <https://doi.org/10.3109/08923970903296136>
- White, P. J. & Broadley, M. R. Chloride in soils and its uptake and movement with in the plant. *Annals of Botany*, v. 88, p. 967-988, 2001. <https://doi.org/10.1006/anbo.2001.1540>

- Willadino, L.; Camara, T. R. Origen y naturaleza de los ambientes salinos. In: Reigosa, M. J. Pedrol, N.; Sánchez, A. (eds). La ecofisiología vegetal una ciencia de síntesis. Madrid: Editora Thompson, cap. 10, p. 303-330, 2004.
- Wu S. B.; Su Q.; An L. J. Isolation of cholinemonooxygenase (CMO) gene from *Salicornia europaea* and enhanced salt tolerance of transgenic tobacco with CMO genes. Indian Journal of Biochemistry and Biophysics, v. 47, n. 5, p. 298-305, 2010.
- Wynne, M. J. A check-list of benthic marine algae of the tropical and subtropical western Atlantic: fourth revision. Nova Hedwigia, p. 202, 2017.
- Xu, L.; Chan, C. O.; Lau, C. C.; Mok, D. K. W.; Chen, S. Simultaneous determination of eight anthraquinones in *Semen cassiae* (a seed of *Cassia obtusifolia*) by HPLC-DAD. Phytochemical Analysis, v. 23, n. 2, p. 110 - 116, 2012. <https://doi.org/10.1002/pca.1331>
- Zhang, G.; LI, J.; Zhu, T.; Gu, Q.; Li, D. Advanced tools in marine natural drug discovery. Current Opinion in Biotechnology, v. 42, p. 13-23, p. 2016.
- Zora, D. Salt stress. In physiology and molecular Biology of salt tolerance in plant, Madhava. Rao, K.V.; Raghavendra, A. S. & Janardhan, Reddy, K. Eds. Dordrecht: Springer-Verlag, p. 41-99, 2006.
- Zorb, C., Summer, A., Sungur, A., Flowers, T.J., And Ozcan, H. Ranking of 11 coastal halophytes from salt marshes in northwest Turkey according their salt tolerance, Turkish Journal Botany, v. 37, p. 1125-1133, 2013. <https://doi.or/10.3906/bot-1205-29>

CULTIVOS ALTERNATIVOS PARA A AGRICULTURA EM AMBIENTES SALINOS NO SEMIÁRIDO

Luiz Guilherme Medeiros Pessoa^{1,}, Maria Betânia Galvão dos Santos Freire²,
Josimar Gurgel Fernandes³, Clarissa Buarque Vieira²,
Tiago Cavalcante da Silva², Fernando José Freire²*

RESUMO: As estimativas indicam que as áreas salinas em regiões semiáridas tendem a aumentar como consequência das mudanças climáticas. Isto contribuirá para maior evapotranspiração, menores precipitações e, consequentemente, maior oferta de água de baixa qualidade para a irrigação, com alto teor salino. Para suprir o aumento da demanda de alimentos, ocasionada pelo crescimento populacional destas regiões, é de suma importância desenvolver tecnologias e propor alternativas de uso para tornar as áreas afetadas por sais produtivas, contribuindo assim para o aumento de terras agricultáveis nestas regiões. Neste sentido, o cultivo de plantas tolerantes aos sais surge como alternativa para a utilização de solos já comprometidos pelo excesso de sais. Áreas agrícolas salinizadas podem ser usadas sem medidas corretivas dispendiosas e as águas subterrâneas, consideradas salinas para as culturas

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Serra Talhada - PE, Brasil

² Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Recife - PE, Brasil

³ Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, Recife - PE, Brasil

* Autor correspondente: luiz.pessoa@ufrpe.br

convencionais, podem ser utilizadas para o cultivo de plantas tolerantes aos sais. Estas, além de fonte de alimento, também são capazes de fornecer biomassa vegetal para uso como combustível, forragem, fibras e matérias-primas farmacêuticas. Este capítulo aborda algumas espécies tolerantes aos sais que servem como alternativas para cultivo e uso em áreas onde culturas convencionais não podem se desenvolver ou produzir satisfatoriamente, devido ao alto nível salino dos solos ou das águas de irrigação.

Palavras-chave: Agricultura biosalina, estresse salino, segurança alimentar no semiárido.

ALTERNATIVE CROPS FOR AGRICULTURE IN SALINE ENVIRONMENTS IN THE SEMI-ARID

ABSTRACT: Estimates indicate that saline areas in semi-arid regions tend to increase due to climate change. It will contribute to greater evapotranspiration, lower precipitation, and a more significant supply of low-quality water for irrigation with high saline content. To meet the increased demand for food caused by population growth in these regions is essential to develop technologies and propose alternative uses to make the areas affected by salts productive, thus contributing to the increase of arable land in these regions. In this sense, cultivating plants tolerant to salts appears as an alternative to using soils already compromised by excess salts. Salinized agricultural areas can be used without costly corrective measures, and groundwater, considered saline for conventional crops, can grow salt-tolerant plants. In addition to being a food source, these are also capable of providing plant biomass for fuel, fodder, fibers, and raw pharmaceutical materials. This chapter addresses some salt-tolerant species that serve as alternatives for cultivation and use in areas where conventional crops cannot develop or produce satisfactorily due to the high saline level of soils or irrigation water.

Key words: Biosaline agriculture, salt stress, food security in the semi-arid region.

1 INTRODUÇÃO

Diversos fatores têm contribuído para reduzir a disponibilidade de terras para o cultivo agrícola em países em desenvolvimento, como o crescimento populacional e a urbanização (Hasanuzzaman et al., 2014), a industrialização (Liu & Wang, 2021), as condições ambientais adversas (Hasanuzzaman et al., 2014) e as mudanças climáticas, que também têm contribuído significativamente para a redução de áreas agrícolas devido ao aumento da salinização dos solos e águas (Mukhopadhyay et al., 2021). As áreas afetadas por sais têm aumentado principalmente devido à alta evapotranspiração, menor precipitação, uso de águas de má qualidade, drenagem inadequada, manejo inadequado da irrigação e práticas inadequadas de manejo do solo (Shao et al., 2019).

A salinização do solo tem sido considerada como um dos principais fatores que afetam severamente o crescimento vegetal e a produção agrícola em regiões áridas e semiáridas ao redor do globo terrestre (Costa-Gutierrez et al., 2020; Liu & Wang, 2021). A salinidade do solo resulta no aumento da condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) e, conseqüentemente, na redução do potencial hídrico do solo (Ψ_w) (Pessoa et al., 2019). Deste modo, plantas crescendo em ambientes salinos estão sujeitas aos estresses osmóticos, iônicos e oxidativos (Mansour & Ali, 2017). Por outro lado, o excesso de sódio trocável deteriora a estrutura do solo e, também, desfavorece o crescimento vegetal (Miranda et al., 2018).

Solos afetados por sais ocupam uma área global total em torno de 1.0 bilhão de hectares, principalmente nas regiões áridas e semiáridas de países na Ásia, Oceania, Europa, América do Norte e América do Sul (Gheyi et al., 2022). Mais de 45 milhões de hectares de áreas irrigadas são afetadas por sais em nível global, o que representa aproximadamente 20% do total das terras cultivadas com irrigação (Munns & Tester, 2008). Além disso, estima-se que as áreas afetadas por sais excederão 50% das terras cultiváveis no mundo até 2050 (Shao et al., 2019). Estas áreas, depois de degradadas, são geralmente abandonadas e nada tem sido feito em relação à sua recuperação ou uso, ficando o solo descoberto e exposto aos processos erosivos. Por outro lado, as estimativas indicam que a população mundial alcançará 9 bilhões de pessoas até 2050 (United Nations, 2014). Portanto, é de suma importância não apenas recuperar estas áreas, mas também desenvolver tecnologias e propor alternativas de uso para torná-las produtivas novamente e contribuir para o aumento das terras agricultáveis em regiões semiáridas, a fim de atender à crescente demanda de alimentos em todo o mundo.

Em meio a este contexto de “degradação de áreas agricultáveis x crescimento populacional”, o cultivo de plantas tolerantes aos sais surge como uma alternativa para a utilização de áreas degradadas pelos processos de salinização e sodificação. Em muitos casos, áreas agrícolas salinizadas podem ser usadas sem medidas corretivas dispendiosas e as águas subterrâneas consideradas salinas para o cultivo de culturas convencionais podem ser utilizadas para o cultivo de plantas tolerantes aos sais. Estas plantas tolerantes aos sais também são capazes de fornecer alimento, combustível, forragem, fibras e matérias-primas farmacêuticas (Liu & Wang, 2021).

Este capítulo aborda o uso de plantas com potencial agrícola para áreas salinas, com o objetivo de contribuir para a seleção de espécies potenciais para a prática da agricultura bioassalada. Nosso intuito é promover ao leitor alternativas e oportunidades para o uso de áreas onde o cultivo da maioria das culturas convencionais é dificultado ou impossibilitado, devido aos níveis salinos, contribuindo assim para o manejo destas.

2 SOLOS AFETADOS POR SAIS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

No Brasil, os solos afetados por sais ocorrem predominantemente no semiárido do Nordeste, onde as condições climáticas locais, caracterizadas por um balanço hídrico negativo, favorecem o processo de salinização dos solos (Ribeiro et al., 2003). Neste contexto, registros de áreas afetadas por sais têm sido reportadas por diversos autores em áreas irrigadas do Nordeste brasileiro: Perímetro Irrigado Califórnia - SE (Resende et al., 2014); Perímetro Irrigado de Custódia - PE (Miranda et al., 2021); Perímetro Irrigado de Sumé - PB (Carolino et al., 2017); Perímetro Irrigado Baixo Acaraú - CE (Cunha et al., 2014); Perímetro Irrigado Mandacaru I - BA (Matos et al., 2020); Perímetro Irrigado Baixo-Açu - RN (Justo et al., 2021); canal do sertão alagoano - AL (Costa Filho et al., 2019).

Em muitas áreas do semiárido brasileiro os níveis de sais no solo são extremamente elevados, de modo a tornar a área desertificada (Figura 1) e, conseqüentemente, impossibilitar a prática da agricultura. Pessoa et al. (2019) avaliaram os níveis salinos de solos desertificados em três bacias hidrográficas do semiárido de Pernambuco (Moxotó, Pajeú e Brígida) e identificaram valores de CE_{es} variando de $65,97 \text{ dS m}^{-1}$, no horizonte superficial (0 - 5 cm), a $3,92 \text{ dS m}^{-1}$, no horizonte mais profundo do perfil do solo (120 - 190 cm) (Tabela 1); assim como valores da porcentagem de sódio trocável (PST) variando de 10,46%, no horizonte superficial (0-10 cm), a 76,76% no horizonte mais profundo do perfil do solo (160 - 200 cm) (Tabela 1).

Figura 1. Áreas desertificadas pela salinidade no perímetro irrigado de Ibimirim - PE (A) e Parnamirim - PE (B). Fonte: Luiz G. M. Pessoa.



Tabela 1. Caracterização dos níveis salinos de perfis de solo no semiárido de Pernambuco. Adaptado de Pessoa et al. (2019)

Classe de solo (Local de coleta)	Horizonte	Profundidade (cm)	Variável salina		
			pH	CE _{es} (dS m ⁻¹)	PST (%)
NEOSSOLO FLÚVICO sódico sálico (Ibimirim - PE)	Apz1	0 - 10	7,70	59,63	10,46
	Apz2	10 - 28	8,10	17,25	19,61
	2Cz1	28 - 52	8,00	13,35	17,73
	2Cz2	52 - 82	8,20	9,08	22,46
	2Cgvz1	82 - 130	8,00	8,28	24,00
	2Cgvz2	130 - 160	8,20	6,16	23,37
CAMBISSOLO FLÚVICO sódico salino (Parnamirim - PE)	Ap1	0 - 5	8,20	65,97	20,07
	2Ap2	5 - 20	8,10	20,11	21,72
	2Bi	20 - 48	8,40	7,44	19,97
	2BC	48 - 85	8,50	5,83	17,65
	2C1	85 - 120	8,70	4,89	21,33
NEOSSOLO FLÚVICO sódico sálico (Parnamirim - PE)	3C2	120 - 190	8,80	3,92	20,33
	Ap	0 - 10	6,80	39,87	12,76
	Cv	10 - 40	8,90	12,59	38,96
	2C	40 - 75	8,80	12,38	42,43
	3Cg1	75 - 120	9,10	10,88	48,83
CAMBISSOLO FLÚVICO sódico salino (Serra Talhada - PE)	4Cg2	120 - 150	9,50	8,80	66,54
	Ap	0 - 12	7,00	8,60	16,11
	BA	12 - 26	9,70	12,72	35,59
	Bi	26 - 60	10,00	21,42	56,27
	C1	60 - 100	10,30	19,53	49,14
	C2	100 - 160	10,40	16,32	74,08
	2C3	160 - 200	10,40	13,39	76,76

*CE_{es}: condutividade elétrica do extrato de saturação; PST: porcentagem de sódio trocável.

Estes autores propõem que altos níveis de degradação dos solos pela salinização e sodificação estão mais expressivamente ocorrentes em Neossolos Flúvicos e Cambissolos Flúvicos, nas áreas irrigadas do semiárido de Pernambuco, onde os sais de cloretos e sulfatos de cálcio, magnésio, sódio e potássio são os predominantes e principais contribuintes para a degradação destes solos.

Os altos níveis de degradação observados neste estudo, tanto em superfície como em profundidade (até 200 cm), indicam o grau de dificuldade para recuperar áreas degradadas por altos níveis de sais e sódio. Em um primeiro aspecto, as regiões semiáridas não possuem médias pluviais que favoreçam a lixiviação natural dos sais. Num segundo aspecto, as águas disponíveis nestas regiões, para fins de promover a lixiviação dos sais, são de baixa qualidade, na grande maioria. Outro agravante é que muitas plantas cultivadas são sensíveis aos sais (Dias et al., 2016) e isto dificulta o uso destas áreas para fins agrícolas. No entanto, estas áreas são úteis para plantas tolerantes aos sais, que podem ser cultivadas nestes solos sem intervenções adicionais, facilitando o manejo dessas áreas e possibilitando o uso produtivo dos solos.

3 PLANTAS ALTERNATIVAS PARA USO EM SOLOS AFETADOS POR SAIS: POTENCIALIDADES E BENEFÍCIOS

A adoção de plantas tolerantes aos sais é uma alternativa para o cultivo em áreas salinas, onde muitas culturas sensíveis têm seus rendimentos severamente afetados pelo estresse salino. A maioria destas plantas tolerantes são espécies halófitas. Porém, atualmente existem diversos registros de culturas glicófitas passíveis de uso na agricultura bioassalina (Silva Júnior et al., 2002; da Silva et al., 2021; Canjá et al., 2021). Mesmo que a adoção destas plantas na agricultura bioassalina não recupere os solos a um nível em que possam, posteriormente, ser utilizados para o cultivo de culturas convencionais, geralmente elas tendem a melhorar as características físicas (Miranda et al., 2018), químicas (Miranda et al., 2021) e biológicas (Leite et al., 2020) dos solos. Com a cobertura vegetal, geralmente, a erosão do solo também é reduzida.

Além da possibilidade de utilização de solos com teores consideráveis de sais, muitas águas utilizadas para irrigação no semiárido nordestino têm, naturalmente, elevados teores de sais. Do mesmo modo, águas de rejeitos de dessalinizadores, consideradas como inadequadas para a agricultura convencional, também podem ser utilizadas para irrigar plantas tolerantes aos sais nestas regiões. No entanto, a seleção da espécie a ser cultivada vai depender do nível de salinidade do solo ou da água, o que influenciará fortemente no desempenho da planta, pois o teor e o tipo de sais que podem ser tolerados pelas plantas variam entre as espécies, bem como entre as variedades das espécies (Kumari et al., 2015).

As halófitas são definidas como plantas que conseguem sobreviver e completar seu ciclo de vida em ambientes onde a concentração de sais excede 200 mmol L^{-1} de NaCl (Flowers et al., 2008). Estas espécies constituem, aproximadamente, 1% da flora terrestre (Stuart et al., 2012) e, dependendo da sua tolerância e exigência por sais de sódio, podem ser classificadas como halófitas obrigatórias ou facultativas (Kumari et al., 2015). As halófitas obrigatórias necessitam de sais para seu crescimento, enquanto as halófitas facultativas também podem crescer em condições de ausência de salinidade e, geralmente, são encontradas em habitats menos salinos (Parida & Jha, 2010). Plantas halófitas são capazes de crescer e produzir satisfatoriamente mesmo em condições de alta salinidade, quando comparadas às plantas glicófitas, que geralmente são sensíveis aos sais.

Contudo, até o presente, poucas halófitas têm sido cultivadas com fins produtivos e pouco se sabe sobre seus propósitos econômicos no semiárido do Brasil. Em outras regiões do globo terrestre, já se tem conhecimento de utilização de halófitas para fins industriais e agrícolas. Como exemplos, halófitas têm sido testadas como legumes (Ventura et al., 2011), forragem (Qin, 2003) e oleaginosas (Sharma et al., 2016) em ensaios agrônômicos.

As glicófitas são plantas consideradas sensíveis aos sais e não são capazes de tolerar alta salinidade (Kumari et al., 2015); no entanto, algumas espécies podem ser utilizadas sob condições de baixa a moderada salinidade do solo e/ou água. A tolerância à salinidade em plantas glicófitas está associada à sua habilidade em limitar o acúmulo e/ou o transporte

de íons salinos, principalmente Na^+ e Cl^- , da zona da raiz para a parte aérea das plantas (Greenway & Munns, 1980). Segundo Silva Júnior et al. (2002), estudos mostram que existe um limite para cada cultura em que a concentração de NaCl pode estimular o crescimento, e que concentrações acima deste limite provocam redução importante da massa dos tecidos secos e da área foliar em espécies glicófitas.

Além de possibilitar o uso de áreas antes consideradas improdutivas e degradadas, contribuindo assim para o desenvolvimento da agricultura local, grande parte das plantas tolerantes são capazes de extrair sais do hábitat salino. Deste modo, seu cultivo em áreas contendo altos teores de sais nos solos tende a promover uma remediação destes, devido à extração de sais do solo e posterior acúmulo na parte aérea. Nesse contexto, serão abordadas aqui algumas espécies tolerantes aos sais que vêm sendo estudadas no Brasil e servem como culturas alternativas para cultivo e uso em áreas onde culturas convencionais não podem se desenvolver ou produzir satisfatoriamente, como consequência do alto teor salino dos solos ou das águas de irrigação.

3.1 *Chenopodium quinoa* Willd.

A quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) é uma espécie vegetal, granífera, de origem Andina, conhecida por ser um pseudocereal pertencente à família Amaranthaceae, com alto valor nutricional e adaptabilidade a condições ambientais extremas (Jacobsen, 2003; Vega-Gálvez et al., 2010). É reconhecida internacionalmente como uma cultura alternativa com potencial de aumentar a segurança alimentar no mundo (Jarvis et al., 2017). É classificada como dicotiledônea, halófita facultativa (Sanchez et al., 2003), alotetraplóide (Jarvis et al., 2017), com frutos do tipo aquênio (Figura 2A), achatados e arredondados, que medem de 1,5 a 4,0 mm (Valencia-Chamorro, 2016).

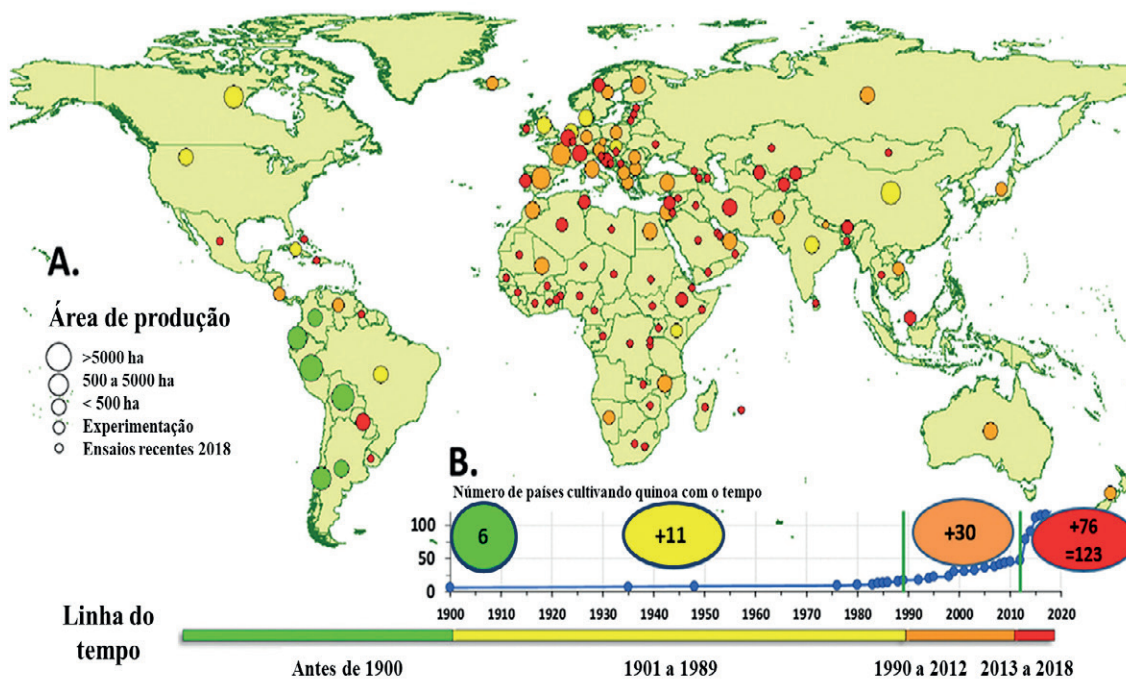
Figura 2. Sementes de quinoa cv BRS Piabiru (A). Fonte: Clarissa B. Vieira. Plantas de quinoa (B). Fonte: Vega-Galvez et al. (2010).



A depender da variedade, a quinoa pode alcançar três metros de altura, com ciclo anual geralmente entre 80 e 150 dias. Suas panículas apresentam diversas colorações desde o amarelo até o roxo (Figura 2B). Possui alta qualidade proteica, cuja proteína é semelhante a caseína do leite, baixo colesterol e ausência de glúten. A presença de saponina (glicosídeo de sabor amargo) é marcante, porém algumas cultivares não apresentam esta substância, como a BRS Piabiru, desenvolvida no Brasil pela Embrapa. No mundo, a produtividade da quinoa é instável, com média variando de 0,4 a 1,1 Mg ha⁻¹. A cultivar brasileira atinge uma média de 2,8 Mg ha⁻¹ sob irrigação (Spehar & Santos, 2002; Valencia-Chamorro, 2016; Alandia et al., 2020).

Por ter alta adaptação a situações adversas, a quinoa pode ser cultivada em amplas faixas de altitude desde o nível do mar até regiões com altitude acima de 4.000 m, além de suportar grandes variações de temperatura e precipitação. A espécie também apresenta tolerância à salinidade e à seca. Países desde a Colômbia até o Chile cultivam esta espécie há milênios, sendo frequentemente utilizada pela população nativa (Jacobsen, 2003; Ruiz et al., 2015). Apesar de 74% da exportação global ser realizada pela Bolívia e Peru, a quinoa está sendo implantada em outros países para experimentação e comercialização. Atualmente, está distribuída em mais de 120 países (Alandia et al., 2020), conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3. Distribuição da quinoa no mundo ao decorrer do tempo. Adaptado de Alandia et al. (2020).

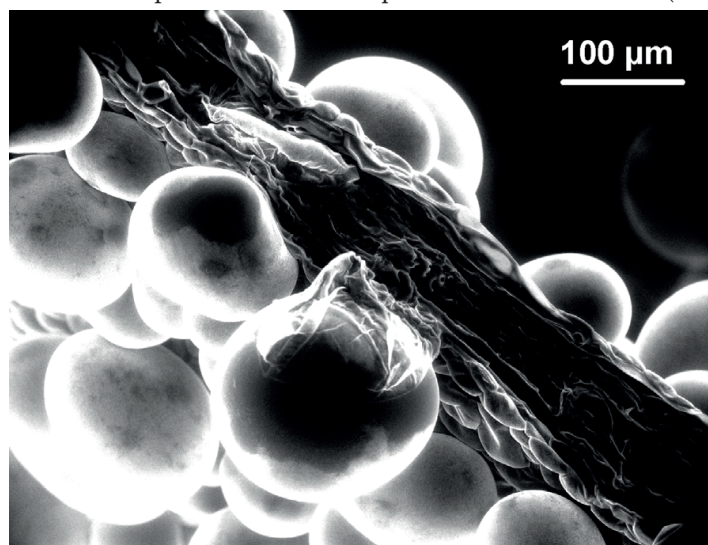


Desde a germinação até a produção do grão, os genótipos de quinoa desenvolveram meios de resistência e convivência com a salinidade e sodicidade dos solos como: alta proteção no interior das sementes, exclusão de Na⁺ do embrião, sequestro de Na⁺ em vacúolos, retenção de potássio nas folhas, ajuste osmótico, alta tolerância a espécies de oxigênio reativo, entre outros mecanismos (Adolf et al., 2013).

Shabala et al. (2013), estudando a tolerância da quinoa à salinidade, observaram que os mecanismos de tolerância divergem entre os genótipos. Apesar desta variabilidade, os autores concluíram que todos os genótipos avaliados foram capazes de reduzir a densidade estomática e aumentar as concentrações de potássio nas folhas quando submetidas a ambientes salinos, permitindo o bom desenvolvimento das plantas sob condições de estresse.

Os mecanismos de tolerância na germinação e no crescimento inicial das plântulas estão relacionados com a funcionalidade do cotilédone, absorção iônica, acúmulo de osmólitos e ajuste osmótico (Ruffino et al., 2010). Cultivares mais tolerantes apresentam melhor metabolismo antioxidante, manutenção das trocas gasosas, controle do fluxo de Na^+ pelo xilema e proteção a processos metabólitos como a fotossíntese. A quinoa possui um eficiente mecanismo homeostático, capaz de aumentar a absorção de K^+ e Na^+ proporcionando a manutenção da turgescência celular (Razzaghi et al., 2015; Causin et al., 2020). Outros mecanismos de tolerância desta espécie aos estresses hídrico e salino são a redução na transpiração e a formação de estruturas de excreção de sais nas folhas (Sanchez et al., 2003) (Figura 4).

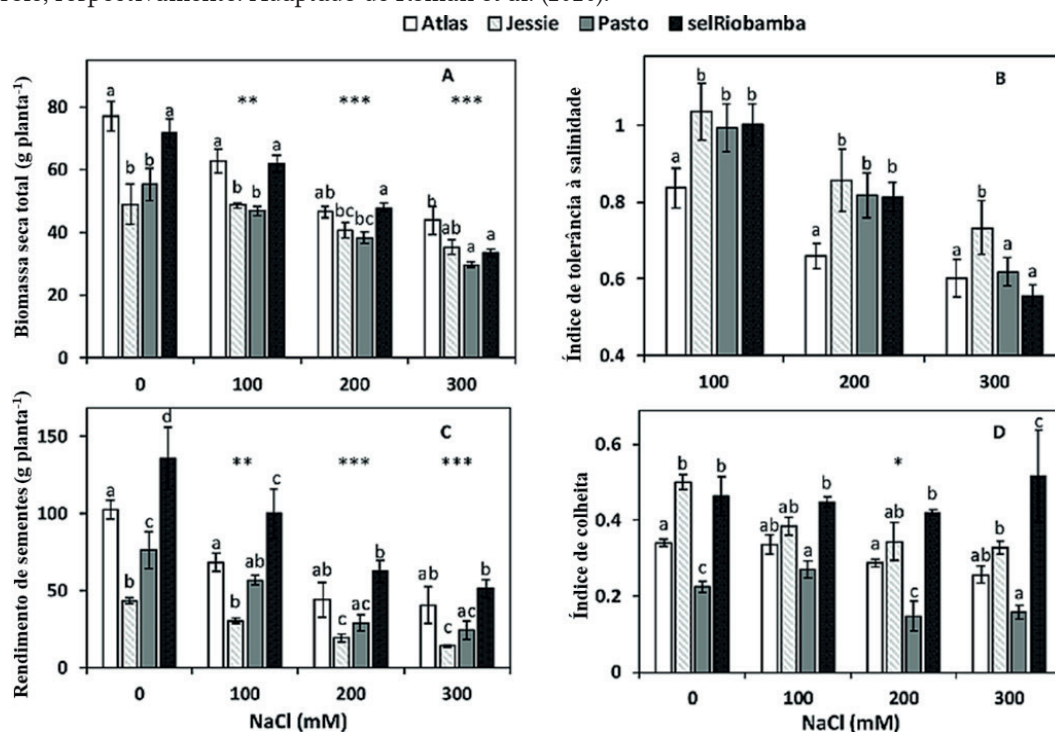
Figura 4. Glândulas salinas na superfície da folha da quinoa. Fonte: Adolf et al. (2013)



Além da tolerância à salinidade, a extração de sais do solo pela quinoa também varia consideravelmente entre os genótipos. Razzaghi et al. (2015), estudando a variedade chilena Titicaca, observaram redução de 50% na produtividade sob CE_{es} estimada de 25 dS m^{-1} . Os autores relatam que, apesar da redução, a produtividade não diferiu significativamente quando aplicada águas de irrigação com CE de 20, 30 e 40 dS m^{-1} , obtendo uma média de $1,62 \text{ Mg ha}^{-1}$. Também foi possível constatar que a extração de sódio aumentou 15 vezes entre as CE das águas de 0 e 40 dS m^{-1} , removendo, aproximadamente, 100 kg ha^{-1} de sódio na maior salinidade da água, enquanto a extração de potássio aumentou cerca de 60% e a de cálcio, 94%. Estes dados confirmam o alto potencial de produção da quinoa em solos com elevados níveis de salinidade e sua capacidade em extrair sais em excesso, melhorando o solo.

A divergência na tolerância à salinidade entre as variedades de quinoa é mostrada por Roman et al. (2020). A biomassa seca, rendimento de sementes e índice de tolerância à salinidade dos genótipos selecionados reduziram com a aplicação das águas com níveis crescentes de sais (Figuras 5A, 4B e 4C). Entretanto, isto não ocorreu expressivamente com o índice de colheita (Figura 5D). Segundo os autores, isto comprova a propriedade halófito da quinoa, pois, mesmo quando submetida a altos níveis salinos é capaz de alocar carbono para as sementes, o que demonstra a capacidade desta espécie em produzir grãos mesmo em situações de alta salinidade.

Figura 5. Características agrônômicas de genótipos de quinoa. (A) Biomassa seca total após 11 semanas da semeadura e 6 semanas após aplicação de águas salinas; (B) índice de tolerância à salinidade calculado a partir da biomassa seca dos tratamentos/biomassa seca do controle; (C) Rendimento de sementes; (D) Índice de colheita. Diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as variedades dentro de cada tratamento são identificadas por letras diferentes. *, **, *** denotam diferenças significativas a 5, 1 e 0,1% entre os tratamentos salinos e o controle, respectivamente. Adaptado de Roman et al. (2020).



Devido a sua alta tolerância aos sais, suas propriedades nutricionais e usos diversos, a quinoa se destaca, em escala global, como uma alternativa para auxiliar na atenuação das mudanças climáticas, dessalinização, fitorremediação, diminuição na deficiência nutricional e, conseqüentemente, na redução da pobreza e fome (Jaikishun et al., 2019). É destinada, principalmente, para alimentação humana e animal sendo também fonte de interesse para indústrias de fármacos e cosméticos. Pode ser utilizada na fabricação de plásticos; na indústria química como fonte de saponina para produção de inseticidas, antibióticos, fungicidas e medicamentos; como fonte de proteína para suplementos alimentares, entre outras aplicações (Spehar & Santos, 2002; Jacobsen, 2003).

O material genético da quinoa também desperta expectativa de utilização pela possibilidade de seu uso no melhoramento de espécies não tolerantes (Ruiz et al., 2015; Jarvis et al., 2017). Isto viabilizaria a introdução de culturas mais adaptadas e produtivas em ambientes com baixas perspectivas agrícolas. Estudos com esta espécie podem basear a implantação da quinoa em solos do semiárido do Brasil, atualmente improdutivos. E essas iniciativas precisam ser estimuladas, contribuindo para a produção de alimentos de alto valor nutritivo, especialmente, em solos degradados pelo acúmulo de sais.

3.2 *Salicornia neei* Lag.

Outra planta que pode ser direcionada para a produção em solos afetados por sais é a Salicórnia. Atualmente, são conhecidas mais de 150 espécies do gênero *Salicornia spp.*, que são classificadas de diferentes formas, devido a sua morfologia, distribuição geográfica e condições ambientais onde estão localizadas. Segundo Alonso & Crespo (2008), existe espécie de Salicórnia perene com ocorrência natural na América do Sul e está amplamente distribuída nas costas temperadas e tropicais do Brasil, Uruguai e, na Argentina, estende-se até Mar del Plata.

A *Salicornia neei* (Figura 6), como é atualmente conhecida, é uma espécie nativa do continente sul-americano e anteriormente era classificada como *Salicornia gaudichaudiana* Moq., sendo depois reclassificada para *Sarcocornia ambigua* (Michx.) (Alonso & Crespo, 2008). É uma halófita da região costeira que cresce em solos com salinidade elevada (16 a 55 dS m⁻¹) (Alves et al., 2020; Costa et al., 2018; Doncato & Costa, 2018), banhados pelo Oceano Atlântico.

Figura 6. Cultivo experimental de *Salicornia neei* na sede do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA. Fonte: Josimar G. Fernandes.



A halófito *Salicornia neei* Lag. também pode ser encontrada em ambientes hipersalinos (Freitas & Costa, 2014). Contudo, segundo estudos publicados por Silva et al. (2019), esta planta apresenta crescimento ótimo sob condições de salinidade baixa ou moderada, sendo assim considerada uma halófito facultativa. Esta planta pertence à classe Equisetopsida, subclasse Magnoliidae, ordem Caryophyllales, e família Amaranthaceae, seguindo ao gênero *Salicornia* e à espécie *Salicornia neei* (TROPICOS, 2021).

Segundo Alves et al. (2019) e Lopes et al. (2017), a *S. neei* tem folhas com ápice subagudo a arredondado. Suas estruturas florais são reduzidas, com inflorescências medindo 150 x 4 mm e dispostas na parte terminal no ápice das brácteas. Sua floração ocorre entre os meses de novembro e março. Suas sementes apresentam diâmetro de 1,4 x 0,9 mm, sendo seus bordos cobertos por tricomas entre 50 e 95 µm. Seu sistema radicular tende a ser superficial (penetrando entre 10 e 20 cm no solo), com poucas ramificações.

Esta halófito possui caule em forma de haste suculenta em formato cilíndrico e segmentado, com altura máxima de 50 cm, podendo apresentar aspecto ereto ou decumbente (Ameixa et al., 2016). Suas hastes podem apresentar cores verdes e avermelhadas, dependendo da concentração de clorofila e betacianina. Além disso, a *Salicornia neei* pode ser propagada vegetativamente ou por sementes, a espécie tem ciclo de vida perene e pode sobreviver por vários anos (Silva et al., 2019).

A estruturação genética das halófitas pode determinar a sua tolerância fisiológica às elevadas concentrações salinas e sua produção de bioativos, sobretudo, aqueles relacionados com os sistemas antioxidantes, conforme apontado por Costa et al. (2018). Segundo Figueiredo et al. (2020), a *Salicornia neei* é um exemplo de halófito utilizada na fitorremediação de rejeitos/ efluentes salinos, produção de biomassa vegetal para diferentes finalidades e restauração de ambientes costeiros. A espécie tem despertado grande interesse nos últimos anos, por ser um vegetal comestível e possuir um notório poder comercial, ainda pouco explorado no Brasil. É possível encontrar em alguns poucos mercados brasileiros a comercialização do vegetal nas versões em pó e/ou em conserva (Romero et al., 2019), mas é muito comum nos países europeus.

Além disso, a espécie pode ser considerada como opção de cultura alternativa multifuncional para regiões áridas e semiáridas que apresentem aspectos salinos, seu cultivo inclusive vem se desenvolvendo de forma a possibilitar o desenvolvimento sustentável no semiárido brasileiro. A produção de biomassa para alimentação animal e subprodutos da *S. neei* permite a reutilização de áreas agrícolas que deixaram de ser exploradas em função da salinidade, contribuindo para a preservação do meio ambiente (Silva et al., 2019). Dessa forma, é possível elencar que a *Salicornia* tem potencial de utilização muito diversificada, desde a recuperação de áreas degradadas, produção de biomassa, alimentação animal e humana e, ainda, produtos bioativos.

Hastes, caules e sementes dessa espécie apresentaram elevada qualidade nutricional, conforme pode ser observado na Tabela 2, com plantas oriundas de área experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA sob cultivo em solo salino e irrigado com água de rejeito de dessalinizadores.

Tabela 2. Conteúdo mineral e composição centesimal da parte aérea de plantas de *S. neei* cultivadas em canteiros e irrigadas com rejeitos de dessalinizador. Fonte: Josimar G. Fernandes (dados não publicados), 2020.

Cultura	Concentração (mg g ⁻¹)						Cl	
	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻		SO ₄ ²⁻
<i>S. neei</i>	2,945	15,275	1,115	0,55	2,08	0,595	0,795	29,02
Cultura	Composição centesimal (%)						Lipídios	
	Umidade	Carboidratos		Cinzas	Proteínas	Fibras		
<i>S. neei</i>	88,42	4,47		4,37	1,54	0,83	0,36	

Segundo Ventura & Sagi (2013), as investigações científicas relativas à composição química da *S. neei* são recentes, e pesquisas têm mostrado que variações podem ocorrer, devido à influência de alguns fatores como: composição química da água, sazonalidade, localização geográfica de ocorrência, clima, tipo de solo e presença de agentes estressores como luz e frequência/duração de inundação pela água.

Também é importante destacar que pouca atenção tem sido dada a espécie *S. neei*, encontrada no Brasil, e que a falta de informações científicas referente à identificação de compostos bioativos, ao perfil da atividade antioxidante, sua composição química detalhada, além de seus efeitos terapêuticos para saúde, têm sido um obstáculo para prospectar o cultivo comercial da planta na região.

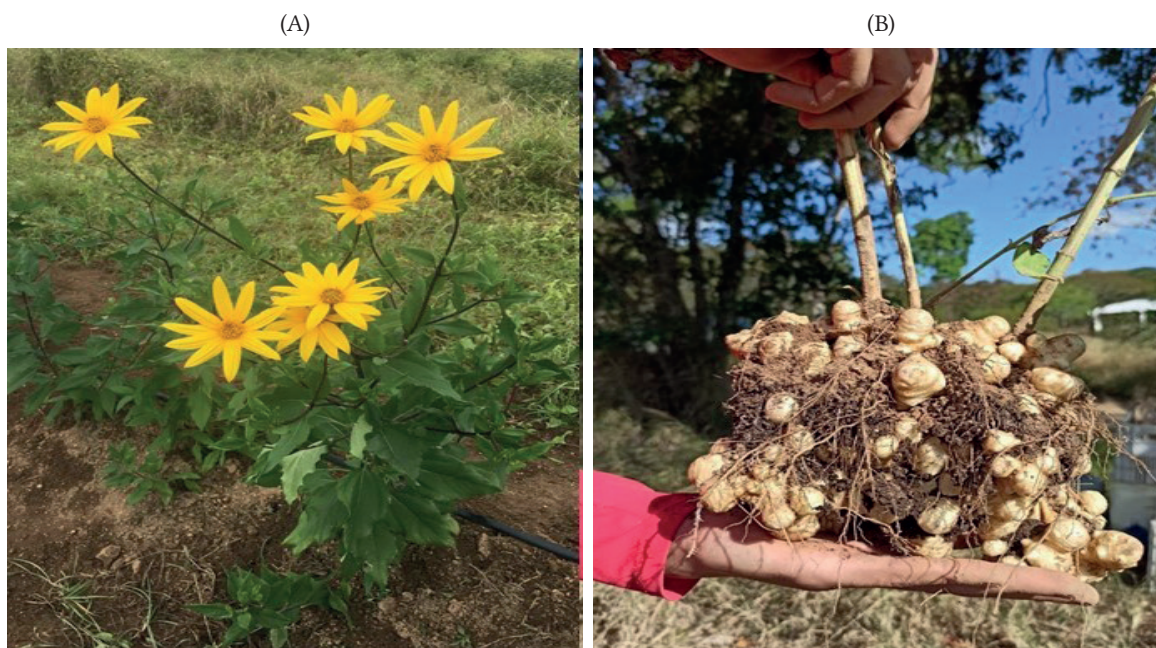
3.3 *Helianthus tuberosus* L.

A terceira espécie é *Helianthus tuberosus* L. (Jerusalém Batateiro, Alcachofra de Jerusalém, Girassol batateiro ou Tupinambo) (Figura 7) que é nativa da América do Norte, com registros de sua origem nos Estados Unidos e Canadá. A espécie foi introduzida na Europa e Ásia tendo destaque pelo seu potencial alimentício e rusticidade (Swanton, 1986; Kays & Nottingham, 2008). Sua primeira menção relatada na história foi descrita por Samuel de Champlain em 1605, tendo atribuído seu sabor característico ao da alcachofra. A disseminação da espécie começou na França, primeiro país fora do centro de origem a cultivar *H. tuberosus*, trazida por exploradores franceses em 1607 (Bourne, 1906; Kays & Nottingham, 2008).

De acordo com a taxonomia, *Helianthus tuberosus* L. ocupa a seguinte posição sistemática - Reino: Plantae; Sub-reino: Tracheophyta; Classe: Magnoliopsida; Ordem: Asterales; Família: Asteraceae; Gênero: *Helianthus*; Espécie: *Helianthus tuberosus* L. (Rhodes & Maxted, 2016).'

A morfologia dos constituintes vegetais da espécie pode variar em forma e tamanho a depender da cultivar. Apresentam folhas caulínárias, compostas em um eixo central com ramos e folhas, inicialmente opostas, mas alternando em diferentes distâncias da base, lanceoladas e ovaladas. Sua estrutura caulinar pode chegar a mais de três metros de altura, embora existam híbridos de porte menor. Seu sistema radicular é fibroso e constituído por raízes adventícias, formadas secundariamente pela degeneração da raiz primária, não sendo originária da radícula do embrião (Swanton, 1986).

Figura 7. Planta de *Helianthus tuberosus* L. no período de floração (A); Tubérculos de *H. tuberosus* L. após colheita (B). Cultivo experimental no agreste pernambucano, na sede do Instituto Agronômico de Pernambuco - IPA Caruaru. Fonte: Tiago C. da Silva.



Os tubérculos, principal órgão de propagação e acúmulo de carboidratos, são do tipo caulinar hipógeo onde o órgão vegetal encontra-se no solo e apresenta crescimento subterrâneo. As flores são isoladas ou em grupo nas extremidades do caule e ramos axilares. Cada inflorescência é composta de pequenas flores tubulares amarelas, que se assemelham às flores do Girassol (*Helianthus annuus* L.) (Pas'ko, 1973; Kays & Nottingham, 2008; Alla et al., 2014). O metabolismo fotossintético da *H. tuberosus* é do tipo C3, conferindo a essa espécie características de melhor desenvolvimento em ambientes com temperaturas mais baixas e satisfatória demanda hídrica (Yan et al., 2011; Dias et al., 2016).

Nos últimos anos, a espécie *H. tuberosus* tem-se evidenciado pelo seu alto potencial agrícola, visto suas mais diversas aptidões, desde alimentação animal e humana, produção de bioetanol e exploração da inulina (Barta & Pátkai, 2007). A inulina, fruto oligossacarídeo (FOS) presente em altas concentrações nos tubérculos de *H. tuberosus*, após ingerida não é degradada por enzimas gástricas chegando à primeira porção do intestino intacta, sendo digerida por bactérias intestinais, conferindo assim um efeito prebiótico. Como consequência, as taxas glicêmicas e os níveis de insulina no sangue não sofrem alterações. A produção média de tubérculos por planta pode variar a depender da cultivar. Estudos apontam produtividades médias em torno de 1,64 a 4,6 kg planta⁻¹ (Puangbut et al., 2012; Zorić et al., 2016). Já as concentrações de inulina nos tubérculos podem variar entre 90 e 95% em relação aos carboidratos totais (Oliveira & Corrêa, 2007).

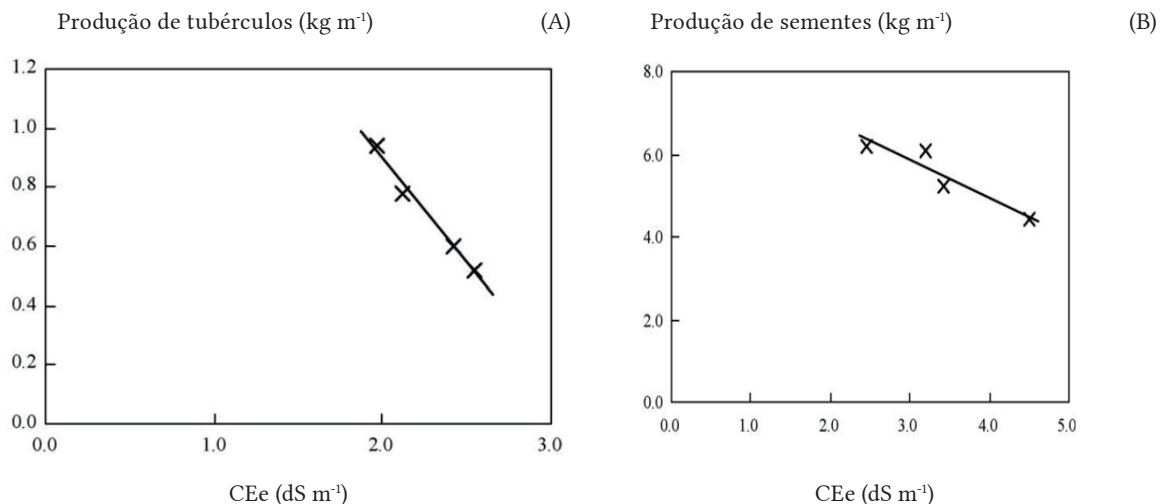
Considerada uma cultura rústica, o cultivo de *H. tuberosus* é relatado na literatura sob as mais diversas condições ambientais, desde geadas a regiões semiáridas, desenvolvendo-se em solos inférteis, com presenças de sais, escassez hídrica e demonstrando resistência a

ataque de pragas (Kosaric et al., 1984). Assim, a condução da cultura é facilitada pelo baixo uso de insumos e tecnologias agrícolas, como sistema de irrigação, fertilizantes minerais e defensivos. Essa junção de fatores para seu cultivo propicia ao produtor uma excelente fonte de renda e com menores impactos ao ambiente cultivado, gerando um sistema autosustentável de exploração (Kays & Nottingham, 2008).

Informações sobre estratégias de manejo e utilização de *H. tuberosus* em ambientes salinos ainda são escassas e pouco relatadas na literatura. Em estudos realizados pelo US Salinity Laboratory, as cultivares “Stampede” e “White Fuseau” irrigadas com águas salinas foram moderadamente tolerantes à salinidade com CE_a de 6,6 e 3,9 $dS\ m^{-1}$, respectivamente. Com o incremento da salinidade da água de irrigação, foi observada perda de produtividade, sendo acentuada de forma mais severa na CE_a 12 $dS\ m^{-1}$ na cultivar Stampede, apresentando uma redução de 67% na biomassa aérea e 47% nos tubérculos; e a cultivar White Fuseau com perdas de 47% nos tubérculos. Essa variação na produtividade da biomassa aérea e tubérculos sugere que distintas cultivares irão apresentar grau de tolerância diferenciado (Dias et al., 2016; Bhagia et al., 2018).

Em comparação com espécies da mesma família botânica (Asteraceae), *H. tuberosus* foi mais tolerante que o Girassol (*Helianthus annus* L.) quando cultivado em ambientes salinos (Figura 8).

Figura 8. Produção de tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. (A) e sementes de Girassol (*Helianthus annus* L.) (B) mediante a salinidade do solo. Adaptado de Gengmao et al. (2010).



O máximo potencial produtivo de tubérculos de *H. tuberosus* foi atingido a uma CE_{es} de 2,5 $dS\ m^{-1}$ e um declínio de 50% da produtividade é esperado a uma CE_{es} de 6 $dS\ m^{-1}$. Enquanto o Girassol apresentou produtividade máxima de sementes na CE_{es} de 1,6 $dS\ m^{-1}$, com redução de 50% na CE_{es} 2,4 $dS\ m^{-1}$ (Gengmao et al., 2010).

Na literatura atual, estudos com *H. tuberosus* associados à fitorremediação de solos afetados por sais ainda são escassos. Por ser uma glicófito, a espécie não apresenta habilidades de fitoextrair grandes concentrações de sais do solo, quando comparada a plantas halófitas.

Em estudo conduzido na Reserva Natural Dafeng na China, Shao et al. (2019) cultivaram *H. tuberosus* com a finalidade de melhorar a qualidade do solo com presença de sais. Em comparação com o solo não cultivado, foi possível verificar melhora na qualidade química do solo com salinidade alta, onde os valores de pH e salinidade do solo, diminuíram de 8,20 para 7,49 e de 5,03 para 4,07 g kg⁻¹ de sais no solo, respectivamente. Nos tratamentos de salinidade moderada e baixa, também foi observada a mesma tendência (Tabela 3).

Tabela 3. Valores de pH e teor de sais no solo sob diferentes níveis de salinidade. Adaptado de Shao et al. (2019)

Atributo do solo	Solo rizosférico com cultivo de <i>H. tuberosus</i> L.			Solo controle sem cultivo		
	SA	SM	SB	SA	SM	SB
Salinidade (g kg ⁻¹ de sais)	4,07	2,94	1,49	5,03	3,89	2,00
pH	7,49	7,13	7,05	8,20	8,16	8,15

SA – Salinidade alta; SM – Salinidade moderada; SB – Salinidade baixa.

A espécie *H. tuberosus* utiliza mecanismos biomoleculares visando mitigar o estresse causado pelo excesso de sais. Dias et al. (2016) evidenciaram tais mecanismos em seu estudo, onde Na⁺ foi acumulado nas raízes em maiores concentrações do que qualquer outro órgão da planta, incluindo os tubérculos (Tabela 4). Os baixos níveis de Na⁺ na parte aérea sugerem a existência de mecanismos de exclusão ou efluxo do Na⁺ nas raízes, permitindo assim, o controle de entrada do íon e conseqüentemente impedindo seu transporte e acúmulo nas folhas e no caule.

Tabela 4. Valores médios das concentrações de Na⁺ e Cl⁻ em folhas, caules, raízes e tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. em resposta a condutividade elétrica da água de irrigação. Adaptado de Dias et al. (2016)

CEa (dS m ⁻¹)	Na ⁺ (g kg ⁻¹)				Cl ⁻ (g kg ⁻¹)			
	Folha	Caule	Raiz	Tubérculo	Folha	Caule	Raiz	Tubérculo
1,2	0,64	0,39	3,6	0,4	5,9	3	3,31	2,3
3,9	0,92	0,7	13,7	1,9	18,5	12,8	16,4	6,3
6,6	0,89	0,64	16,9	3	17,5	12	17,3	7,6
9,3	0,76	0,52	34	6,2	19,7	12,7	25,6	11,7
12	0,97	0,58	27,9	8,4	24,7	16,6	20,1	13,5

Em relação ao Cl⁻, houve um aumento da concentração em todos os órgãos com o incremento da salinidade, sendo maiores em folhas e raízes. Mas, em níveis superiores ao valor suportável, o acúmulo de Cl⁻ causou toxidez nas folhas, na CE_a 12 dS m⁻¹. Em relação às raízes, quando atingido o nível máximo de absorção, houve estabilização na concentração de Cl⁻ e Na⁺, indicando que as raízes tentaram excluir os íons, não sendo translocados para folhas e caule, protegendo de uma possível toxicidade. Através de estratégias bioquímicas e moleculares, foi possível a planta conviver na presença da salinidade, acumulando os sais tóxicos a seu desenvolvimento nas raízes, controlando o fluxo de entrada e excluindo

quando, em nível celular, não era mais possível acumular, e mantendo as concentrações nas folhas em níveis não tóxicos.

Helianthus tuberosus L. traz uma nova perspectiva ao cultivo em ambientes bioassalinos, pela sua versatilidade às mais adversas condições ambientais e baixa necessidade de insumos. Apesar de dados econômicos e produtivos não representarem o real potencial da cultura, a indústria alimentícia, médica, de biocombustível e agrícola veem como potencialidade sua exploração. Os estudos com *H. tuberosus* só elucidam sua eficácia, sendo fundamental adaptar e aplicar estratégias de cultivo condizentes com a condição ambiental do local, para que seja capaz de expressar seu máximo potencial agrônômico. Isso permitiria a exploração agrícola racional, de forma economicamente sustentável, com melhoria da qualidade dos recursos naturais e com a produção obtida neste cultivo.

3.4 *Atriplex nummularia*

Como quarta e última alternativa de cultivo para áreas salinas do semiárido do Brasil, a *Atriplex* já vem sendo estudada sob diversos aspectos. As plantas do gênero *Atriplex* pertencem à família *Chenopodiaceae*, com mais de 400 espécies distribuídas em regiões áridas e semiáridas do globo terrestre. Dentre as espécies da família *Chenopodiaceae*, aproximadamente 15% interessam à produção animal, sendo a halófita *Atriplex nummularia* Lindl. (Figura 9), também conhecida como “Erva-sal”, uma das mais importantes como forrageira (Porto et al., 2001).

Figura 9. Cultivo de *Atriplex nummularia* Lindl. em área experimental no semiárido de Pernambuco. Fonte: Maria Betânia G. dos S. Freire.



A *Atriplex* é uma espécie de metabolismo C₄, com origem na Austrália e, atualmente, com registros desta espécie no oeste da Ásia, norte da África, sul da Europa e da América, principalmente Argentina, Chile e Brasil (Salem et al., 2010). Sua tolerância à salinidade

é atribuída não apenas ao ajuste osmótico, mas também a outros mecanismos de defesa, como a presença de tricomas vesiculares que cobrem a superfície foliar. Estes armazenam grandes quantidades de sais (Smaoui et al., 2010) e desempenham importante papel em sua remoção dos tecidos das folhas, impedindo assim o acúmulo de sais tóxicos no parênquima e tecidos vasculares (Benzarti et al., 2014).

O gênero *Atriplex* vem se destacando em regiões semiáridas por seu fácil estabelecimento, importante suporte proteico, produção constante de forragem e boa aceitabilidade pelos animais (Aganga et al., 2003). A *Atriplex nummularia* pode ser utilizada como recurso forrageiro importante na complementação de dieta de ruminantes, graças ao seu valor nutritivo (em torno de 17% de proteína) e alta digestibilidade (70%) (Leal et al., 2008).

Por ser uma espécie halófito, estudos têm sido realizados no semiárido para avaliar o desenvolvimento da *Atriplex nummularia* quando submetida à irrigação com águas salinas, com o intuito de promover a utilização de águas de baixa qualidade para fins de irrigação. Neste sentido, Porto et al. (2001) avaliaram o desempenho da *Atriplex nummularia* irrigada com rejeito de dessalinização de água (CE de 11,38 dS m⁻¹) e obtiveram uma produtividade estimada de 26.064 kg ha⁻¹. Oliveira et al. (2019) avaliaram estratégias de uso de rejeito de dessalinizadores sobre o crescimento da *Atriplex nummularia* e verificaram que o cultivo com água salina (CE de 1,54 a 3,63 dS m⁻¹) mantido a um nível de 100% da umidade do solo promoveu um aumento na biomassa da parte aérea das plantas, quando comparado ao cultivo irrigado com água de baixa salinidade (0,39 dS m⁻¹) (Figura 10).

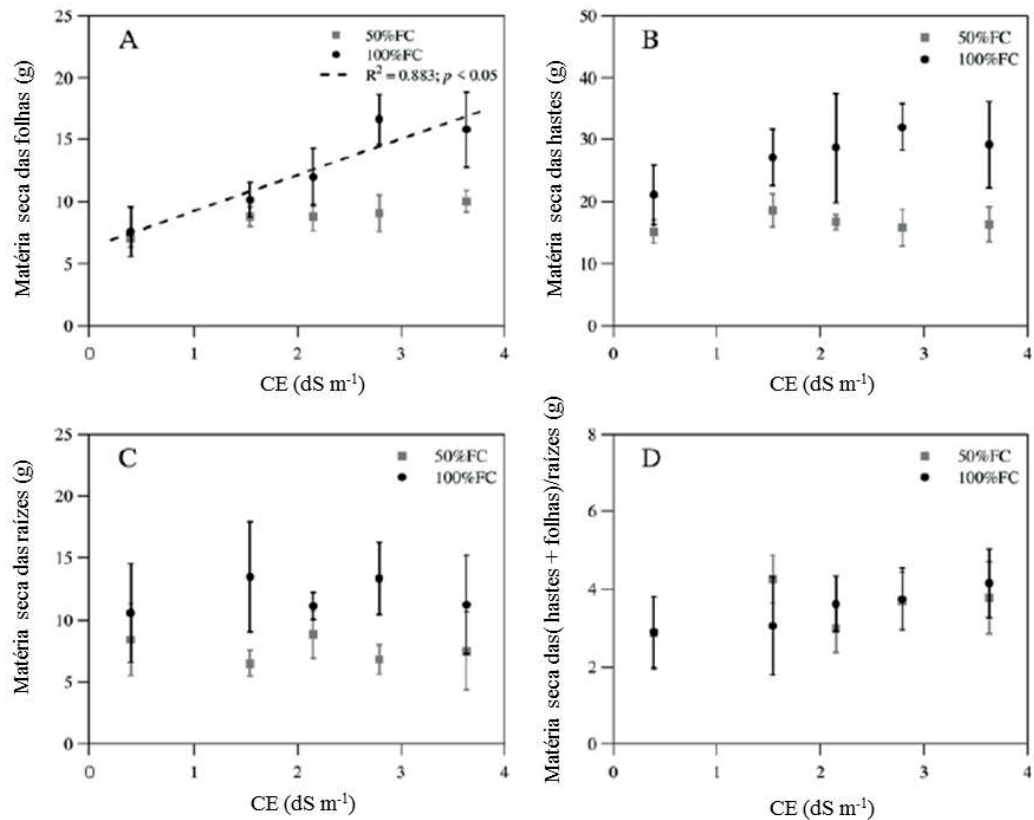
De modo geral, estes resultados indicam o potencial que esta planta tem para ser cultivada e irrigada com águas consideradas como impróprias para a grande maioria das culturas, sensíveis ao excesso de sais presentes em águas subterrâneas, águas cinzas, de rejeito, de reuso etc. No entanto, é importante monitorar o nível de salinidade do solo pelo uso destas águas salinas, a fim de evitar o processo de salinização dos solos.

No semiárido brasileiro, o cultivo da *Atriplex nummularia* L. também vem sendo abordado em estudos como importante ferramenta para a recuperação de solos degradados por excesso de sais, devido a sua alta capacidade de extrair íons do solo, principalmente sódio e cloreto (Azevedo et al., 2005; Souza et al., 2011). A *Atriplex* promove a recuperação destas áreas por meio da fitoextração, que é uma técnica que consiste na extração de sais presentes em solos para posterior acúmulo em sua parte aérea (Qadir et al., 2007).

Miranda et al. (2021) verificaram a eficácia da *Atriplex nummularia* em comparação com condicionadores de solo, em condições de sequeiro, no perímetro irrigado de Custódia – PE. Os autores encontraram que, mesmo sem irrigação e sob baixas precipitações pluviais, a *Atriplex* foi o tratamento mais eficaz para reduzir a salinidade do solo, com reduções nos valores de condutividade elétrica do extrato de saturação do solo de 4,3 para 1,65; 6,03 para 4,18; e 6,66 para 4,49 dS m⁻¹ nas camadas de 0-10, 10-30 e 30-60 cm de profundidade (Figura 11).

Figura 10. Matéria seca de folhas (A), hastes (B) e raiz (C), e relação da massa seca da parte aérea (folhas + hastes) pela da raiz (D), em plantas de *Atriplex nummularia* L. após 160 dias submetidas à irrigação com

níveis crescentes de salinidade (CE igual a 0,39; 1,54; 2,15; 2,79 e 3,63 dS m⁻¹) e dois níveis de umidade do solo (50 e 100% da capacidade de campo – FC). Adaptado de Oliveira et al. (2019).



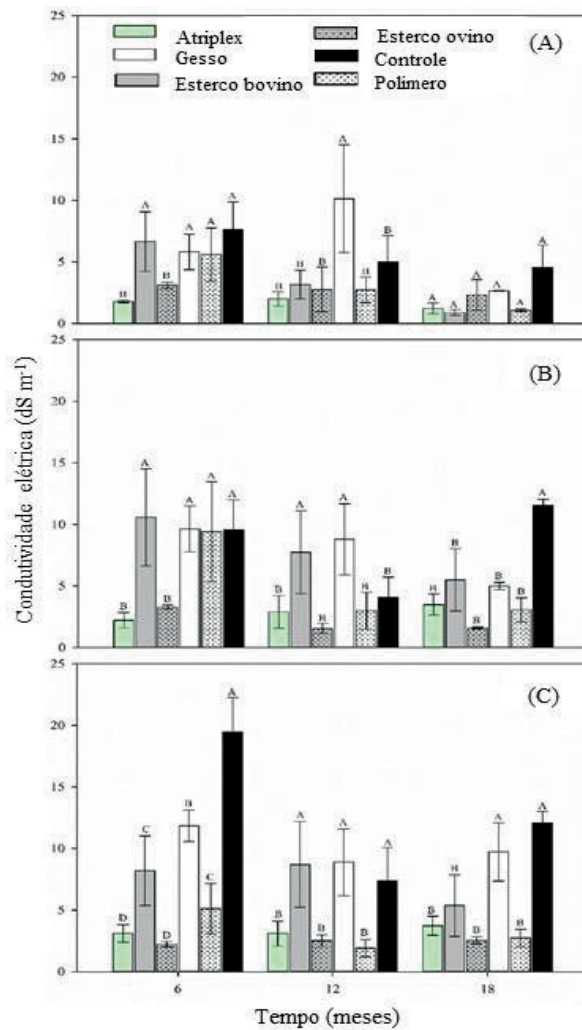
Outros trabalhos têm investigado meios de potencializar a extração de sais pela *Atriplex* pela associação da planta com condicionadores de solo. Leal et al. (2019) verificaram que o cultivo da *Atriplex nummularia* com a mistura de condicionadores de solo “gesso + matéria orgânica” aumentou o fator de transferência de sódio, o potencial de fitorremediação e a eficiência de absorção de sódio da planta em 1,9, 1,5 e 2,9 vezes em relação ao tratamento controle (*Atriplex* sem a aplicação de condicionadores de solo), aos 60 dias do transplântio.

Desta forma, a *Atriplex nummularia* desponta como uma espécie promissora não apenas como alternativa para a produção e complementação de forragem, como também para a possibilidade de revegetar e recuperar solos salinos em ambientes semiáridos. No entanto, conforme Miranda et al. (2021), sob condições de sequeiro a eficácia desta espécie é fortemente influenciada pelas condições climáticas locais e são necessários estudos de longo prazo para avaliar sua eficácia a longo prazo.

Leite et al. (2020) avaliaram a revegetação em solo degradado do semiárido de Pernambuco com *Atriplex nummularia*, *Leucaena leucocephala*, *Azadirachta indica* e *Mimosa caesalpinifolia*, em cultivo individualizado e em consórcio e observaram melhorias nos atributos biológicos do solo sob revegetação em comparação ao tratamento controle. Os autores relataram a presença de associações simbióticas espontâneas das plantas com fungos micorrízico-arbusculares, inclusive na *A. nummularia*, na qual isso ainda não havia sido identificado. Comprova-se,

assim, a importância da revegetação em áreas de solos afetados por sais e desprotegidos, especialmente com espécies que suportam altas concentrações salinas presentes.

Figura 11. Condutividade elétrica do extrato de saturação nas camadas de 0-10 (A), 10-30 (B) e 30-60 cm (C) de profundidade. Adaptado de Miranda et al. (2021).



4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tendência de aumento na salinização de águas e solos já é uma realidade e mais esforços precisam ser feitos no semiárido brasileiro no sentido de identificar espécies com potencial para uso nestas condições, seja como forma de garantir o aporte forrageiro, fonte de renda ou mesmo segurança alimentar aos agricultores. Um fato importante é que as culturas tolerantes aos sais, como alternativa de uso para condições salinas, não devem substituir as culturas convencionais. O propósito é que elas sejam introduzidas apenas onde as culturas convencionais não possam crescer, devido ao teor salino dos solos.

Apesar das espécies tolerantes à salinidade muitas vezes apresentarem boas qualidades agronômicas, geralmente, elas são cultivadas sem tratamentos culturais e manejo de solo e água adequados. Neste sentido, práticas de adubação e preparo do solo, espaçamentos, tratamentos fitossanitários, poda etc., podem contribuir para o melhor desempenho destas espécies quando cultivadas em solos salinizados ou irrigados com águas salobras. O melhoramento genético dessas espécies também pode colaborar para o desenvolvimento de genótipos mais tolerantes aos sais para o semiárido brasileiro.

Trabalhos realizados em campo, envolvendo modelagem e comunicação interdisciplinar são de grande importância para o avanço nos estudos em plantas tolerantes ao excesso de sais. Embora esta já seja uma realidade em muitos países, no Brasil ainda é um cenário muito incipiente. Além disso, a ampla divulgação destas alternativas para agricultores se faz essencial para o sucesso do estabelecimento destas espécies no semiárido, em áreas de solos afetados por sais.

LITERATURA CITADA

- Adolf, V. I.; Jacobsen, S. E.; Shabala, S. Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental and Experimental Botany*, v.92, p.43-54, 2013.
- Aganga, A. A.; Mthetho, J. K.; Tshwenyane, S. *Atriplex nummularia* (Old Man Saltbrush): A potential forage crop for arid regions of Botswana. *Pakistan Journal of Nutrition*, v.2, p.72-75, 2003.
- Alandia, G.; Rodriguez, J. P.; Jacobsen, S. E.; Bazile, D.; Condori, B. Global expansion of quinoa and challenges for the Andean region. *Global Food Security*, v.26, p.1-10, 2020.
- Alla, N. A.; Domokos-Szabolcsy, É.; El-Ramady, H.; Hodossi, S.; Fári, M.; Ragab, M.; Taha, H. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): A review of in vivo and in vitro propagation. *International Journal of Horticultural Science*, v.20, n.3-4, p.131-136, 2014.
- Alonso, M. A.; Crespo, M. B. Taxonomic and nomenclatural notes on South American taxa of *Sarcocornia* A.J. Scott (Chenopodiaceae). *Annales Botanici Fennici*. v.45, p.241-254, 2008.
- Alves, P. R.; Lucena, E. M. P. de; Bonilla, O. H.; Costa, C. S. B. Fenologia da *Salicornia neei* Lag. cultivada no semiárido cearense. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.12, p. 489-504, 2019.
- Alves, P. R.; Reis, A. T.; Costa, C. S. B.; Bonilla, O. H.; Lucena, E. M. P. Cultivo de *Salicornia neei* Lag. no semiárido cearense. *Brazilian Journal of Development*, v.6, n.8, p. 63592-63605, 2020.

- Ameixa, O. M. C. C.; Marques, B.; Fernandes, Soares, A. M. V. M.; Calado, R.; Lillebø, A. I. Dimorphic seeds of *Salicornia ramosissima* display contrasting germination responses under different salinities. *Ecological Engineering*, v.87, p.120-123, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.11.019>
- Azevedo, C. M. da S. B.; Pedrosa, G. P.; Medeiros, J. F. de; Nunes, G. H. de S. Uso de *Atriplex nummularia* na extração de sais de solos irrigados com efluentes salinos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.300-304, 2005.
- Benzarti, M.; Rejeb, K. B.; Messedi, D.; Mna, A. B.; Hessini, K.; Ksontini, M.; Abdelly, C.; Debez, A. Effect of high salinity on *Atriplex portulacoides*: Growth, leaf water relations and solute accumulation in relation with osmotic adjustment. *South African Journal of Botany*, v.95, p.70-77, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2014.08.009>
- Barta, J.; Pátkai, G. Chemical composition and storability of Jerusalem artichoke tubers. *Acta Alimentaria*, v.36, n.2, p.257-267, 2007. <https://doi.org/10.1556/AAlim.36.2007.2.13>
- Bhagia, S.; Ferreira, J. F. S.; Kothari, N.; Nunez, A.; Liu, X.; Dias, N. da S.; Suarez, D. L.; Kumar, R.; Wyman, C. E. Sugar yield and composition of tubers from Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus*) irrigated with saline waters. *Biotechnology and Bioengineering*, v.115, p.1475-1484, 2018. <https://doi.org/10.1002/bit.26582>
- Bourne, A. T. *The Voyages and Explorations of Samuel de Champlain (1604-1616)*. New York: Palala Press, 1906. 308p.
- Canjá, J. F.; Sales, J. R. da S.; Pinho, L. L.; Sousa, N. I. G.; Lacerda, C. F. de; Sousa, G. G. de. Production and water use efficiency of peanut under salt stress and soil cover. *Revista Ciência Agronômica*, v.52, p.1-8, 2021. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20210040>
- Carolino, J. A.; Guerra, H. O. C.; Araújo, W. P.; Sousa, J. Y. B.; Almeida, E. S. A. B.; Barreto, H. T. S. Geoestatística aplicada ao estudo da salinidade do solo, Sumé – Paraíba. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v.13, p.72-81, 2017. <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v13i2.669>
- Causin, H. F.; Bordón, D. A. E.; Burrieza, H. Salinity tolerance mechanisms during germination and early seedling growth in *Chenopodium quinoa* Wild. genotypes with different sensitivity to saline stress. *Environmental and Experimental Botany*, v.172, p.1-12, 2020.
- Costa, C. S. B.; Chaves, F. C.; Rombaldi, C. V.; Souza, C. R. Bioactive compounds and antioxidant activity of three biotypes of the sea asparagus *Sarcocornia ambigua* (Michx.) M.A. Alonso & M.B. Crespo: a halophytic crop for cultivation with shrimp farm effluent. *South African Journal of Botany*, v.117, p.95-100, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.05.011>

- Costa, C. S. B.; Kadereit, G.; Freitas, G. P. M. Molecular markers indicate the phylogenetic identity of southern Brazilian sea asparagus: First record of *Salicornia neei* in Brazil. *Rodriguésia*, v.70, p.e03122017/1-10, 2019. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201970039>
- Costa Filho, W. S.; Souza, M. A.; Gomes, T. C. de A.; Santos, A. F. dos; Pavao, J. M. da S. J.; Costa, J. G. da. Caracterização de solos adjacentes ao canal do sertão alagoano quanto à salinidade. *Brazilian journal of development*, v.5, p.15726-15737, 2019. <https://doi.org/10.34117/bjdv5n9-145>
- Costa-Gutierrez, S. B.; Raimondo, E. E.; Lami, M. J.; Vincent, P. A.; Espinosa-Urgel, M.; Cristóbal, R. E. de. Inoculation of *Pseudomonas* mutant strains can improve growth of soybean and corn plants in soils under salt stress. *Rhizosphere*, v.16, p.1-12, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2020.100255>
- Cunha, C. S. M.; Hernadez, F. F. F.; Silva, F. N.; Escobar, M. E. O.; Magalhães, D. R.; Anjos, D. C. Relação entre solos afetados por sais e concentração de metais pesados em quatro perímetros irrigados no Ceará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.80-85, 2014.
- Dias, N. da S.; Blanco, F. F.; Souza, E. R. de; Ferreira, J. F. da S.; Sousa Neto, O. N. de; Queiroz, I. S. R. de. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. da S.; Lacerda, C. F. de; Gomes Filho, E. Manejo da salinidade na agricultura irrigada. Fortaleza: INCTSal, 2016. Cap.11, p.151-162.
- Dias, N. S.; Ferreira, J. F. S.; Liu, X.; Suarez, D. L. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*, L.) maintains high inulin, tuber yield, and antioxidant capacity under moderately-saline irrigation waters. *Industrial Crops and Products*, v.94, p.1009-1024, 2016.
- Doncato, K. B.; Costa, C. S. B. Growth and mineral composition of two lineages of the sea asparagus *Sarcocornia ambigua* irrigated with shrimp farm saline effluent. *Experimental Agriculture*, v.54, n.3, p.399-416, 2018. <https://doi.org/10.1017/S0014479717000096>
- Figueiredo, C. F. V. de. Avaliação do desenvolvimento da *Salicornia neei* Lag Submetida a diferentes espaçamentos de cultivo. Recife: UNICAP, 42p. 2020. Dissertação Mestrado.
- Flowers, T. J.; Colmer, T. D. Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist*. v.179, p.945-963, 2008.
- Freitas, R. F.; Costa, C. S. B. Germination responses to salt stress of two intertidal populations of the perennial glasswort *Sarcocornia ambigua*. *Aquatic Botany*, v.117, p.12-17, 2014.

- Gengmao, Z.; Mehta, S. K.; Zhaopu, L. Use of saline aquaculture wastewater to irrigate salt-tolerant Jerusalem artichoke and sunflower in semiarid coastal zones of China. *Agricultural Water Management*, v.97, n.12, p.1987-1993, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.04.013>
- Gheyi, H. R.; Lacerda, C. F.; Freire, M. B. G. S.; Costa, R. N. T.; Souza, E. R.; Silva, A. O.; Fracetto, G. G. M.; Cavalcante, L. F. Management and reclamation of salt-affected soils: general assessment and experiences in the Brazilian semiarid region. *Revista Ciência Agronômica*, v. 53, p. 01-19, 2022.
- Greenway, H.; Munns, R. Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes. *Annual Review of Plant Physiology*, v.31, p.149-190, 1980. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.31.060180.001053>
- Hasanuzzaman, M.; Nahar, K.; Alam, Md. M.; Bhowmik, P. C.; Hossain, Md. A.; Rahman, M. M.; Prasad, M. N. V.; Ozturk, M.; Fujita, M. Potential Use of Halophytes to Remediate Saline Soils. *BioMed Research International*, p.1-12, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/589341>
- Jacobsen, S. E. The Worldwide Potential for Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International*, v.19, n.1-2, p.167-177, 2003. <https://doi.org/10.1081/FRI-120018883>
- Jaikishun, S.; Li, W.; Yang, Z.; Song, S. Quinoa: In Perspective of Global Challenges. *Agronomy*, v.9, n.176, p.1-15, 2019. <https://doi.org/10.3390/agronomy9040176>
- Jarvis, D. E.; Ho, Y. S.; Lightfoot, D. J.; Schmöckel, S. M.; Li, B.; Borm, T. J. A.; Ohyanagi, H.; Mineta, K.; Michell, C. T.; Saber, N.; Kharbatia, N. M.; Rupper, R. R.; Sharp, A. R.; Dally, N.; Boughton, B. A.; Woo, Y. H.; Gao, G.; Schijlen, E. G. W. M.; Guo, X.; Momin, A. A.; Negrão, S.; Al-Babili, S.; Gehring, C.; Roessner, U.; Jung, C.; Murphy, K.; Arold, S. T.; Gojobori, T.; van der Linder, C. G.; van Loo, E. N.; Jellen, E. N.; Maughan, P. J.; Tester, M. The genome of *Chenopodium quinoa*. *Nature*, v.542, p.307-312, 2017. <https://doi.org/10.1038/nature21370>
- Justo, J. F. A.; Barreto, A. C.; Silva, J. F. da; Ferreira Neto, M.; Sá, F. V. da S.; Oliveira, R. P. de. Identification and diagnosis of salt-affected soils in the Baixo-Açu irrigated perimeter, RN, Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.25, p.480-484, 2021.
- Kays, S. J, Nottingham, S. F. Biology and chemistry of the Jerusalem Artichoke: *Helianthus tuberosus* L. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, 2008. 498p.
- Kosaric, N.; Cosentino, G. P.; Wieczorek, A.; Duvnjak, Z. The Jerusalem artichoke as an agricultural crop. *Biomass*, v.5, n.1, p.1-36, 1984. [https://doi.org/10.1016/0144-4565\(84\)90066-0](https://doi.org/10.1016/0144-4565(84)90066-0)

- Kumari, A.; Das, P.; Parida, A. K.; Agarwal, P. K. Proteomics, metabolomics, and ion omics perspectives of salinity tolerance in halophytes. *Frontiers in Plant Science*, v.6, p.1-20, 2015.
- Leal, I. G.; Accioly, A. M. de A.; Nascimento, C. W. A. do; Freire, M. B. G. dos S.; Montenegro, A. A. de A.; Ferreira, F. de L. Fitorremediação de solo salino s **ódico** por *Atriplex nummularia* e gesso de jazida. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1065-1072, 2008.
- Leal, L. de S. G.; Pessoa, L. G. M.; Oliveira, J. P. de; Santos, N. A.; Silva, L. F. dos S.; Barros Júnior, G.; Freire, M. B. G. dos S.; Souza, E. S. de. Do Applications of soil conditioner improve the salt extraction ability of *Atriplex nummularia* at early growth stage?. *International Journal of Phytoremediation*, v.22, p.482-489, 2020. <https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1678109>
- Leite, M. C. de B. S.; Freire, M. B. G. dos S.; Queiroz, J. V. J. de; Maia, L. C.; Duda, G. P.; Medeiros, E. V. de. 2020. Mycorrhizal *Atriplex nummularia* promote revegetation and shifts in microbial properties in saline Brazilian soil. *Applied Soil Ecology*, v.153, p.1-10, 2020.
- Liu, L.; Wang, B. Protection of halophytes and their uses for cultivation of saline-alkali soil in China. *Biology*, v.10, p.1-11, 2021. <https://doi.org/10.3390/biology10050353>
- Lopes, M.; Cavaleiro, C.; Ramos, F. Sodium reduction in bread: a role for Glasswort (*Salicornia ramosissima* J. Woods). *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v.16, n.5, p.1056-1071, 2017. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12277>
- Mansour, M. M. F.; Ali, E. F. Evaluation of proline functions in saline conditions. *Phytochemistry*, v.140, p.52- 68, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2017.04.016>
- Matos, C. H. L. de; Vasconcelos, O. C. de M.; Santana, M. B. Soil salinity in the Mandacaru I project, Juazeiro-BA: colonists' perception, diagnosis and monitoring. *Brazilian Applied Science Review*, v.4, p.2048-2057, 2020. <https://doi.org/10.34115/basrv4n3-105>
- Miranda, M. F. A.; Freire, M. B. G. dos S.; Almeida, B. G. de; Freire, A. G.; Freire, F. J.; Pessoa, L. G. M. Improvement of degraded physical attributes of a saline-sodic soil as influenced by phytoremediation and soil conditioners. *Archives of Agronomy and Soil Science*, v.64, p.1207-1221, 2018. <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1419195>
- Miranda, M. F. A.; Freire, M. B. G. dos S.; Almeida, B. G. de; Freire, F. J.; Pessoa, L. G. M.; Freire, A. G. Phytodesalination and chemical and organic conditioners to recover the chemical properties of saline-sodic soil. *Soil Science Society of America Journal*, v.85, p.132-145, 2021.

- Mukhopadhyay, R.; Sarkar, B.; Jat, H. S.; Sharma, P. C.; Bolan, N. S. Soil salinity under climate change: Challenges for sustainable agriculture and food security. *Journal of Environmental Management*, v.280, p.1-14, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111736>
- Munns, R.; Tester, M. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, v.59, p. 651–681, 2008. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Oliveira, M. A. de; Corrêa, D. A. G. Desenvolvimento de *Helianthus tuberosus* (alcachofra de Jerusalém) por micropropagação e caracterização de sus carboidratos de reserva. *Publicatio UEPG Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias*, v.13, n.1, p.41-50, 2007.
- Pas'ko, N. M. Basic morphological features for distinguishing varieties of Jerusalem artichoke. *Trudy po Prikladnoy Botanike, Genetike i Selektzii*, v.50, n.2, p.91-101, 1973.
- Pessoa, L. G. M.; Freire, M. B. G. dos S.; Araújo Filho, J. C. de; Santos, P. R. dos; Miranda, M. F. A.; Freire, F. J. Characterization and classification of halomorphic soils in the semiarid region of Northeastern Brazil. *Journal of Agricultural Science*, v.11, p.405-418, 2019.
- Pessoa, L. G. M.; Freire, M. B. G. dos S.; Santos, R. L. dos; Freire, F. J.; Miranda, M. F. A.; Santos, P. R. dos. Saline water irrigation in semiarid region: I – effects on soil chemical properties. *Australian Journal of Crop Science*, v.13, p.1169-1176, 2019. <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.07.p1686>
- Porto, E. R.; Amorim, M. C. C. de; Silva Júnior, L. G. de A. Uso do rejeito da dessalinização de água salobra para irrigação da erva-sal (*Atriplex nummularia*). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, p.111-114, 2001. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662001000100020>
- Puangbut, D.; Jogloy, S.; Vorasoot, N.; Srijaranai, S.; Kesmala, T.; Holbrook, C. C.; Patanothai, A. Influence of planting date and temperature on inulin content in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *Australian Journal of Crop Science*, v.6, n.7, p.1159, 2012.
- Qadir, M.; Oster, J. D.; Schubert, S.; Noble, A. D.; Sahrawat, K. L. Phytoremediation of sodic and saline-sodic soils. *Advances in Agronomy*, v.96, p.197-247, 2007
- Razzaghi, F.; Jacobsen, S. E.; Jensen, C. R.; Andersen, M. N. Ionic and photosynthetic homeostasis in quinoa challenged by salinity and drought – mechanisms of tolerance. *Functional Plant Biology*, v.42, p.136-148, 2015. <https://doi.org/10.1071/FP14132>

- Resende, R. S.; Amorim, J. R. A.; Cruz, M. A. S.; Meneses, T. N. Distribuição espacial e lixiviação natural de sais em solos do perímetro irrigado Califórnia, em Sergipe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.46-52, 2014.
- Rhodes, L.; Maxted, N. *Helianthus tuberosus*. IUCN Red List of Threatened Species, 2016. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org/species/20694364/20695376>. Acesso em 11 Set. 2024.
- Ribeiro, M. R.; Freire, F. J.; Montenegro, A. A. de A. Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: Curi, N.; Marques, J. J.; Guilherme, L. R. G.; Lima, J. M.; Lopes, A. S.; Alvarez, V. H. *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2003. Vol. 3, p.165-208
- Roman, V. J.; den Toom, L. A.; Gamiz, C. C.; van der Pijl, N.; Visser, R. G. F.; van Loo, E. N.; van der Linden, C. G. Differential responses to salt stress in ion dynamics, growth and seed yield of European quinoa varieties. *Environmental and Experimental Botany*, v.177, p.1-14, 2020.
- Romero, J. A. P.; Piedras, J. M. B.; Gómez, S. R.; Naranjo, E. M. Impact of short-term extreme temperature events on physiological performance of *Salicornia ramosissima* J. Woods under optimal and sub-optimal saline conditions. *Scientific Reports*, v.9, n.1, p.1-12, 2019.
- Ruffino, A. M. C.; Rosa, M.; Hilal, M.; González, J. A.; Prado, F. The role of cotyledon metabolism in the establishment of quinoa (*Chenopodium quinoa*) seedlings growing under salinity. *Plant Soil*, v.326, p.213-224, 2010. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-9999-8>
- Ruiz, K. B.; Biondi, S.; Martínez, E. A.; Orsini, F.; Antognoni, F.; Jacobsen, S. E. Quinoa - a model crop for understanding salt tolerance mechanisms in halophytes. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, v.150, n.2, p.357-371, 2015.
- Salem, H. B.; Norman, H. C.; Nefzaoui, A.; Mayberry, D. E.; Pearce, K. L.; Revell, D. K. Potential use of oldman saltbush (*Atriplex nummularia* Lindl.) in sheep and goat feeding. *Small Ruminant Research*, v.91, p.13-28, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.10.017>
- Sanchez, H. B.; Lemeur, R.; Damme, P. V.; Jacobsen, S. E. Ecophysiological analysis of drought and salinity stress of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International*, v.19, n.1-2, p.111-119, 2003. <https://doi.org/10.1081/FRI-120018874>
- Shabala, S.; Hariadi, Y.; Jacobsen, S. E. Genotypic difference in salinity tolerance in quinoa is determined by differential control of xylem Na(+) loading and stomatal density. *Journal of Plant Physiology*, v.170, n.10, p.906-914, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.01.014>

- Shao, H.; Chu, L.; Lu, H.; Qi, W.; Chen, X.; Liu, J.; Kuang, S.; Tang, B.; Wong, V. Towards sustainable agriculture for the salt-affected soil. *Land Degradation and. Development*, v.30, p.574–579, 2019.
- Shao, T.; Gu, X.; Zhu, T.; Pan, X.; Zhu, Y.; Long, X.; Shao, H.; Liu, M.; Rengel, Z. Industrial crop Jerusalem artichoke restored coastal saline soil quality by reducing salt and increasing diversity of bacterial community. *Applied Soil Ecology*, v.138, p.195-206, 2019.
- Sharma, R.; Wungrampha, S.; Singh, V.; Pareek, A.; Sharma, M. K. Halophytes as bioenergy crops. *Frontiers in Plant Science*, v.7, p.1-8, 2016. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01372>
- Silva, K. A. V. da.; Oliveira, J. de P.; Gomes, E. W. F.; Fernandes, J. G.; Messias, A. S. Use of the *Salicornia ramosissima* for the phytoextraction of minerals from the desalinizer reject. *BioMedical - Journal of Scientific & Technical Research*, v.21, n.3, p.15943-15946, 2019.
- Silva, M. M. A. da; Pessoa, L. G. M.; Simplício, J. B.; Souza, W. L. da S.; Freire, M. B. G. dos S.; Souza, E. S. de; Santos, E. S. dos; Miranda, M. F. A.; Pereira Júnior, C. C.. Soil conditioners as candidates to mitigate salt/water stress effects on sorghum growth and soil properties. *Australian Journal of Crop Science*, v.15, p.98-106, 2021. <https://doi.org/10.21475/ajcs.21.15.01.2881>
- Silva Júnior, C. D. da; Passos, E. E. M.; Gheiy, H. R. Aplicação de água salina no desenvolvimento e comportamento fisiológico do coqueiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, p.39-44, 2002. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662002000100008>
- Smaoui, A.; Barhoumi, Z.; Rabhi, M.; Abdelly, C. Localization of potential ion transport pathways in vesicular trichome cells of *Atriplex halimus* L. *Protoplasma*, v.248, p.363-372, 2010.
- Souza, E. R. de; Freire, M. B. G. dos S.; Nascimento, C. W. do; Montenegro, A. A. de A.; Freire, F. J.; Melo, H. F. de. Fitoextração de sais pela *Atriplex nummularia* Lindl. sob estresse hídrico em solo salino sódico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.477-483, 2011.
- Spehar, C. R.; Santos, R. L. B. Quinoa BRS Piabiru: alternativa para diversificar os sistemas de produção de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n.6, p.889-893, 2002.
- Swanton, C. J. Ecological aspects of growth and development of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). Ph.D. thesis, University Western Ontario, London, Ontario, 1986. 181p.
- TROPICOS. Tropicos.org. Missouri Botanical Garden, 2021. Disponível em: <http://www.tropicos.org/NamePa.ge.aspx?name id=7200300>. Acesso em Ago. 2021.

- United Nations. Concise report on the world population situation in 2014. New York: United Nations, 2014. 38p.
- Valencia-Chamorro, S. A. Quinoa. In: Wrigley, C.; Corke, H.; Seetharaman, K.; Faubion, J. Encyclopedia of Food Grains. Oxford: Elsevier. 2016.2 ed, p.341-348
- Veja-Gálvez, A.; Miranga, M.; Vergara, J.; Uribe, E.; Puente, L.; Martínez, E. A. Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.), an ancient Andean grain: a review. Journal of the Science of Food and Agriculture, v.90, p.2541-2547, 2010.
- Ventura, Y.; Sagi, M. Halophyte crop cultivation: the case of *Salicornia* and *Sarcocornia*. Environmental and Experimental Botany. v.92, p.144-153, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.07.010>
- Ventura, Y.; Wuddineh, W. A.; Myrzabayeva, M.; Alikulov, Z.; Khozin-Goldberg, I.; Shpigel, M.; Samocha, T. M.; Sagi, M. Effect of seawater concentration on the productivity and nutritional value of annual *Salicornia* and perennial *Sarcocornia* halophytes as leafy vegetable crops. Scientia Horticulturae, v.128, p.189–196, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.02.001>
- Yan, K.; Chen, P.; Shao, H.; Zhao, S.; Zhang, L.; Zhang, L.; Xu, G.; Sun, J. Photosynthetic characterization of Jerusalem artichoke during leaf expansion. Acta Physiologiae Plantarum, v.34, n.1, p.353-360, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11738-011-0834-5>
- Zorić, M.; Terzić, S.; Sikora, V.; Brdar-Jokanović, M.; Vassilev, D. Effect of environmental variables on performance of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) cultivars in a long term trial: a statistical approach. Euphytica, v.213, n.1, p.23, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10681-016-1819-7>

CULTIVOS BLOSSALINOS EM ÁREAS COSTEIRAS

*Pedro Dantas Fernandes^{*1}, Claudivan Feitosa Lacerda², Hans Raj Gheyri¹,
Maria Betânia Galvão dos Santos Freire³, Rennan Fernandes Pereira⁴*

RESUMO: O aumento crescente da população exigirá o aporte de novas e avançadas tecnologias de produção de bens agrícolas para satisfazer as necessidades de populações, em tempos futuros. Ao longo de séculos, tecnologias foram geradas para cultivar as mesmas espécies, tradicionalmente selecionadas para condições de solos férteis e irrigação com água boa. Tais condições são, atualmente, cada vez mais limitadas. Há uma outra realidade na periferia do cenário atual, onde são abundantes solos salinos, águas salgadas e extensas áreas costeiras, banhadas por oceanos com altos teores de minerais, dentre eles nutrientes essenciais às plantas. Paralelamente aos esforços atuais para melhorar a tolerância das plantas ao estresse salino, devem ser colocados em prática conhecimentos e tecnologias gerados em épocas anteriores, que possam garantir a utilização de recursos abundantes em ambientes salinos. No texto estão abordadas, também, as potencialidades produtivas já identificadas em muitas espécies. Nos tempos modernos, abrem-se novos cenários, no contexto das mudanças climáticas e impactos sobre os ecossistemas terrestres, além

1 Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande, PB, Brasil

2 Universidade Federal do Ceará - UFC, Fortaleza, CE, Brasil

3 Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Recife, PE, Brasil

4 Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, Catolé do Rocha, PB, Brasil

* Autor correspondente: pedrodantasfernandes@gmail.com

da preocupação com a sustentabilidade para diminuir a poluição crescente. Para minorar os problemas com o excesso de CO₂ na atmosfera, um novo foco se abre para o sequestro de carbono, criando-se uma nova commodity, os créditos de carbono. É uma oportunidade de países em desenvolvimento reforçarem sua política de fontes alternativas de energia limpa, com financiamento dos que dominam o mundo e não querem reduzir os seus níveis de poluição.

Palavras-chave: biosalinidade, produção de alimentos, sequestro de carbono, sustentabilidade.

BIOSALINE CULTIVATION IN COASTAL AREAS

ABSTRACT: The growing population will require the contribution of new and advanced technologies for the production of agricultural goods to satisfy the needs of populations in future times. Over the centuries, technologies have been generated to cultivate the same species, traditionally selected for fertile soil conditions and irrigation with good-quality water. Such conditions are currently increasingly limited. There is another reality on the periphery of the current scenario, where saline soils, salty waters and extensive coastal areas are abundant, bathed by oceans with high levels of minerals, among them essential nutrients for plants. In parallel with current efforts to improve the tolerance of plants to salt stress, knowledge and technologies generated in previous times must be put into practice, which can guarantee the use of abundant resources in saline environments. The text also addresses the productive potential already identified of many species. In modern times, new scenarios are opening up, in the context of climate change and impacts on terrestrial ecosystems, in addition to the concern for sustainability to reduce growing pollution. To lessen the problems with excess CO₂ in the atmosphere, a new focus opens up for carbon sequestration, creating a new commodity, carbon credits. It is an opportunity for developing countries to reinforce their policy of alternative sources of clean energy, with funding from those who dominate the world and do not want to reduce their levels of pollution.

Key words: biosalinity, food production, carbon sequestration, sustainability.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Mais alimentos

Segundo estimativas da FAO, antes da pandemia COVID-19, 690 milhões de pessoas, em todo o planeta (8,9% da população total), estavam subnutridas. A tendência já era de aumentar a fome, sem a pandemia, subindo para 840 milhões, até 2030. A situação se agravou com a Covid-19, com previsão de terem sido adicionados, em 2020, entre 83 e 131 milhões de pessoas às categorias de subnutridas (FAO IFAD UNICEF, 2020). O problema é de natureza global, pois pessoas sem acesso a dietas saudáveis vivem em todas as regiões do planeta (WHO, 2020a; 2020b).

É um problema urgente a requerer solução de todos os governantes e da sociedade, em geral ... encontrar suficiente terra e água para dar suporte à necessidade de alimentos do mundo. No cenário atual, são sombrias as previsões sobre incremento de produção, em todo o planeta, com necessidade estimada em 38% a mais para o ano 2025 e em 57% para 2050 (Shahbaz & Ashraf, 2013; Shrivastava & Kumar, 2015); tais estimativas se baseiam na população prevista para 2050, da ordem de 9,7 bilhões de habitantes (USCENSUS, 2020).

Será necessária a conjugação de esforços, inclusive de cientistas, para agregar à produção de alimentos, alternativas de terras e fontes hídricas com concentrações altas de sais, pela dificuldade de expandir a fronteira agrícola em condições ideais de cultivo. A FAO (2012) estima em 200 milhões de hectares a área adicional para produção de alimentos, até 2025, para saciar a fome de tanta gente, nos padrões de solos férteis e água de boa qualidade. É impossível imaginar, no contexto atual, a revolução tecnológica a ser introduzida na agricultura, até 2050, com abrangência, inclusive, do uso de insetos como fonte de proteínas. As terras de boa qualidade, passíveis de serem cultivadas agricolamente, cerca de 93 milhões de hectares, estão hoje cobertas por florestas, sendo difícil visualizar a sua devastação para atender a demanda de alimentos (FAO, 2012).

A expansão da fronteira agrícola em condições de alta salinidade é uma necessidade real, constitui o que denominamos de agricultura bioassalina. Consiste no uso de águas salinas, geralmente em solos salinos, para o cultivo de espécies tolerantes ao estresse salino, quando água e solos de boa qualidade se tornam escassos. Tradicionalmente, o seu foco tem sido para as halófitas, espécies naturalmente adaptadas a crescer e produzir em condições com alta concentração de sais, mas pode abranger qualquer situação em que plantas são cultivadas sob condições de salinidade.

Os esforços para se viabilizar a produção de bens agrícolas em condições de altas concentrações de sais, tornam-se mais relevantes, ao se considerar serem lentos os progressos por métodos de melhoramento vegetal, com objetivos de transferir genes para a tolerância ao estresse salino de culturas tradicionalmente cultivadas (Panta et al., 2014). Ao se considerar as limitações de tempo e as perspectivas de mudanças climáticas, a saída será a exploração de solos afetados por sais, expansão da fronteira agrícola em situações marginais. Incluem-se, ainda, as extensas áreas costeiras arenosas, inclusive em desertos, a depender dos objetivos

da ação humana ... conteúdos a serem explorados neste Capítulo. Em estuários de rios e no entorno de mangues, a alternância de períodos de maré baixa e alta possibilitará a utilização de águas de qualidades diferentes, o que pode ser um fator favorável para a exploração agrícola, principalmente em fases fenológicas de menor sensibilidade ao estresse salino.

Os benefícios são variados, pela possibilidade de recuperação de áreas degradadas, com benefícios ecológicos importantes; proteção e desenvolvimento de áreas costeiras; estabilização de solos e de dunas; melhoria do clima; drenagem de terrenos alagados e salinos; quebra-ventos; enriquecimento paisagístico e áreas de recreação e campos de golfe. Outra consequência benéfica será o aumento do sequestro de carbono, inclusive pela parte incorporada ao solo (raízes ... matéria orgânica), indispensável para o equilíbrio do fluxo de carbono na atmosfera, com a possibilidade de cultivos alternativos em áreas atualmente não cultivadas. Tais benefícios são de máxima importância no contexto internacional. Vale ser destacado, ainda, o benefício de contribuir para a contenção do processo de desertificação e a possibilidade de converter desertos localizados na orla marítima em áreas produtivas, mudando a paisagem, com grande significado ambiental, ecológico e social.

Desde o início da década de 60, século passado, cientistas vêm se dedicando a estudos de reabilitação e funcionamento de ecossistemas salinos, com a preocupação constante de monitorar a acumulação de sais e mantê-los produtivos. O conhecimento científico será essencial ao desenvolvimento de práticas adequadas ao manejo da agricultura sob altas concentrações de sais (Martinez-Garcia, 2010; Akinshina, 2014; Panta et al., 2014).

Portanto, caberá à agricultura bioassalina um papel relevante na produção de alimentos de origem vegetal ou animal. Tal necessidade é mais patente quando se constata estar a água doce se tornando escassa. Segundo alguns autores, os usos doméstico, industrial e agrícola de água fresca ('fresh water') estão aumentando tão rapidamente que haverá escassez em todo o mundo (Collins & Qadir, 2014).

Outro fator agravante foi detectado nas últimas décadas, a constatação de estarem se tornando progressivamente mais salinas as águas superficiais e subterrâneas, em muitas áreas agrícolas (Wilt & Oosten, 2000; Collins & Qadir, 2014). A situação é preocupante, pelo perigo de expansão da degradação de terras já cultivadas, decorrente de práticas inadequadas de manejo cultural de espécies tradicionalmente cultivadas (milho, soja e trigo, dentre outras).

1.2 Necessidades de água

A preocupação com a necessidade de novas áreas para cultivo e a limitação dos recursos hídricos de boa qualidade são temas atuais, ao se considerar que está aumentando a dificuldade para se conseguir água, em termos quantitativos e qualitativos, em muitas regiões do planeta, principalmente em áreas da Índia, norte da China, norte e região sub-Saariana da África, Oriente Médio e em áreas da Europa Oriental (Godfrey et al., 2010; Vörösmarty et al., 2010). Em contraste, água salgada é abundante, mares e oceanos contêm, aproximadamente, 97% das águas de nosso planeta.

No início do século XXI, a crise da água já era citada como um dos mais sérios desafios a serem enfrentados pela humanidade, pois a demanda pelo precioso líquido crescia em índice duas vezes maior que as taxas de crescimento da população (Ozturk et al., 2006). Essa mesma preocupação foi reforçada, seis anos depois, por Srinivasan et al. (2012), dizendo ser surpreendentemente difícil descrever a natureza da crise global de água, mesmo sendo a escassez do precioso líquido considerada como a grande crise do século. A interpretação dos autores se baseava na alta variabilidade dos fatores climáticos e da disponibilidade dos recursos hídricos, em cada situação, combinadas às intenções e ações de governos e da sociedade, com consequências variáveis para suprir as necessidades da população.

A realidade é que altas temperaturas, resultantes do aquecimento global, e a escassez de chuvas e de águas de superfície têm agravado os problemas de desertificação, à medida que os aquíferos e as águas subterrâneas se tornam mais salinos, como resultado de bombeamento crescente e da incorporação de sais às terras agrícolas. Em muitos locais, por características de solo e clima, as águas superficiais e de poços rasos são, também, salinas (Glenn et al., 1998a; Glenn et al., 2009; Martinez-Garcia, 2010). Segundo dados divulgados pelo ‘International Fund for Agricultural Development’, em muitas áreas a salinidade de aquíferos do interior está atingindo taxas superiores a 16 g L^{-1} (20 dS m^{-1}), chegando a 20 g L^{-1} (25 dS m^{-1}) em zonas costeiras (FIDA, 2004).

Ao longo da história, são várias as experiências de uso da água do mar, ao complementar necessidades ou ao suprir o requerimento hídrico de espécies que interessavam a comunidades. Os exemplos mais comuns envolvem halófitas e entre as mais promissoras estão espécies arbóreas, arbustivas, plantas denominadas de ‘mangroves’ (plantas de mangues), algumas das quais sobrevivem, diariamente, a flutuações de alguns metros do nível da água do mar; em outro extremo, plantas de várias espécies de *Atriplex* sobrevivem em áreas desérticas à alta salinidade e a secas prolongadas (Glenn et al., 1998a; 1998b. Hussin et al., 2013).

Em zonas áridas e semiáridas, o estresse salino é agravado pela falta de água, na maior parte do ano e, quando ocorrem chuvas, os níveis de salinidade variam diária, mensal ou sazonalmente, dependendo da quantidade e frequência da pluviosidade. Como consequência, a salinidade raramente é uniforme em um terreno, com variação no perfil do solo, geralmente com valores mais altos de CE nas camadas superiores, devido à ascensão capilar nos locais onde o lençol freático está mais próximo à sua superfície, explicado pela evaporação da água e deposição de sais (Levy et al., 2003).

2 ÁREAS COSTEIRAS

2.1 Estuários e mangues

São ambientes especiais que se formam na orla marítima, definidos pelas áreas de desembocaduras de cursos d’água no oceano, com inclusão das terras em seu entorno. A natureza especial está na interação entre águas marinhas e as de cada rio no movimento

das marés, com circulação de nutrientes, alimentos e produtos oriundos do metabolismo dos organismos presentes no ecossistema. A maioria dos nutrientes dissolvidos permanece presa nesse estuário (em função de um maior tempo de residência), em vez de ser carregada para o mar, criando condições para funcionar como um “berçário” para espécies as mais diversas. As plantas em tais ambientes formam uma verdadeira usina fotossintetizante e o equilíbrio entre flora, fauna, microorganismos, matéria orgânica e minerais contidos na água salgada dão origem a um dos ambientes mais férteis da terra (Barbier et al., 2011; Brazil & Silva, 2021).

Algumas vezes o estuário se abre em terras úmidas, quando o fluxo de águas fluviais se aproxima da orla marítima. Outras vezes, o estuário abrange uma área maior, com acumulação de águas em terras mais baixas a formarem os mangues, variando a sua extensão quando a maré está alta.

Ao nos referirmos a mangues, cabe um destaque, considerando serem tais ecossistemas muito complexos pela diversidade e abundância da sua biocenose (ICMBio, 2016). São um verdadeiro reservatório de nutrientes e suporte para fases do ciclo biológico de espécies da fauna associada ao manguezal, além de desempenhar um importante papel na redução da vulnerabilidade da zona costeira às alterações marítimas, em muitos países (Novelli et al., 2002). Espécies arbóreo/arbustivas e algas (diatomáceas e algumas cianofíceas) crescem nesses terrenos, sendo diversificada, igualmente, a fauna, com abundância de espécies de crustáceos e moluscos, além de microorganismos diversos (Lugo & Snedaker, 1974; Novelli & Molero, 1999).

Outra constatação, não menos relevante, é serem os mangues sequestradores e estocadores de carbono na biomassa e no solo. Em manguezais tropicais, o estoque de carbono, por unidade de área, é significativamente maior que o observado em quaisquer florestas terrestres, incluindo as tropicais úmidas, como a Amazônia (Meireles & Campos, 2010; ICMBio, 2018).

Em contraste, decorrente dessa riqueza, são, também, muito vulneráveis, explorados exaustivamente por humanos em suas proximidades, em coletas de mariscos e caranguejos e em pescarias (Novelli et al., 1990; Rovai et al., 2012). Os manguezais transformam nutrientes minerais em matéria orgânica vegetal (fitomassa), sustentando a base de teias alimentares costeiras, a base alimentar de ribeirinhos, caiçaras e praianos.

Toda essa complexidade requer uma atenção especial, quando houver necessidade de utilizar água de mangues, na complementação da necessidade hídrica de cultivos em seu entorno (Lugo et al., 1981; Rovai et al., 2013) e deve ser bem avaliado o impacto dos volumes derivados do mangue sobre o ecossistema, para manejo complementar da irrigação, com paralisação da atividade quando houver riscos à garantia da sustentabilidade.

Nos casos de captação da água salgada no estuário de rios ou no entorno de mangues, a prática tem como base a variação de sua qualidade, em função do movimento das marés. Foi o que verificaram Melo et al. (2002), ao avaliarem a qualidade da água em 9 estações de coleta de amostras, nos últimos 4 km do curso do Rio Formoso - PE, com a primeira estação antes da cidade de mesmo nome e a última estação (EC9) próxima à desembocadura no oceano. Aumento na concentração de sais começou a ser detectada na estação EC3 (ponte próxima

ao Hospital local). As diferenças foram mais notórias na fase de ‘baixa-mar’ e, tomando-se como exemplo os dados registrados na EC3 e na EC5 (ilha Ziza), na elevação da maré os valores foram 2,0 e 10,0 dS m⁻¹, respectivamente. Nas mesmas estações, os valores de CEa na fase de ‘baixa-mar’ quando a maré estava secando, foram 0,6 e 4,0 dS m⁻¹, evidência do efeito diluidor da concentração de sais, por influência da água boa. Na foz do rio (EC9) os valores foram de 20 e 40 dS m⁻¹, na maré vazante e enchente, respectivamente.

Portanto, um fato a ser analisado que pode viabilizar o uso de tais águas é a periodicidade das marés, com as consequências de alternância da qualidade da água, em estuário de rios e em mangues, e as facilidades de drenagem de áreas costeiras situadas em seu entorno. Thiers et al. (2016) avaliaram a oscilação da concentração de sais em manguezais localizados na costa noroeste cearense e encontraram valores entre 0,5 e 2,5% (CEa de aproximadamente, 6,25 e 31,25 dS m⁻¹, respectivamente), dependendo do nível das marés, o que atende à necessidade de parte da vegetação pela alternância de águas com concentrações diferentes de sais.

Outro fator relevante a ser considerado na oscilação da salinidade, em estuários e mangues, é a estação de chuvas, quando naturalmente ocorre redução da condutividade elétrica da água. Tal fato está reportado na literatura por Lima et al. (2014), com base em estudos realizados no estuário do Rio Curuçá, situado no Nordeste do estado do Pará. No período de menor pluviosidade, ocorre aumento da CEa, atribuído ao maior fluxo de águas costeiras, com consideráveis quantidades de sais dissolvidos na água. Em tais situações, os autores registraram valores de CEa de 29,92 dS m⁻¹ (fase de vazante) e de 30,42 dS m⁻¹ (fase de enchente) no período de menor pluviosidade, baixando os valores no período chuvoso para 15,49 e 18,94 dS m⁻¹, respectivamente.

2.2 Água salgada na agricultura

Portanto, os problemas de uso de água salgada na agricultura, bem reportados na literatura, merecem outra interpretação e discussão quando o foco é para sua utilização em áreas arenosas (Glenn et al., 1998a; 1998b):

a - existe drenagem livre em terras costeiras, retornando o excesso de água para o mar; segundo os autores citados, em áreas cultivadas por mais de 10 anos não se constatou elevação dos teores de sais;

b - aquíferos na costa e em áreas desérticas, usualmente, contêm concentrações elevadas de sais, sem problemas de serem agravadas com uso de água do mar;

c - os solos com altas concentrações de sais, em geral, são estéreis ou quase estéreis, portanto, o cultivo com água do mar vai causar menor impacto sobre o ecossistema que os ocasionados pela agricultura tradicional.

A estes itens listados por aqueles autores, podemos incluir mais um, por sua relevância no contexto da discussão: nutrientes contidos em águas de oceanos contribuem para a nutrição das plantas, com garantia da produção, desde que se baseiem em culturas tolerantes aos casos de toxicidade de outros minerais, matéria a ser objeto de pesquisas.

As áreas costeiras são estimadas em 130 milhões de hectares que poderiam ser cultivadas com uso de água do mar, para aumentar a oferta de bens agrícolas (Martinez-Garcia, 2010; Akinshina, 2014; Panta et al., 2014). Com essa possibilidade, florestas seriam preservadas e as águas frescas seriam destinadas para uso direto de populações (Glenn et al., 1998a; 1998b. Ozturk et al., 2006).

Vale lembrar que extensas áreas do planeta são, naturalmente, salinas ou têm sido salinizadas por ações antrópicas, geralmente, como consequência de práticas inadequadas de irrigação (Pereira et al., 2002). Solos salinos ocorrem, naturalmente, ao longo da costa de continentes, em estuários, mangues e em áreas salinas internas ('Great Salt Lakes' nos Estados Unidos, Mar Morto em Israel, 'Neusiedlersee' na Áustria, dentre outros). Em regiões áridas e semiáridas, são muitos os exemplos de solos cuja salinização é atribuída à ação humana, ao manejar, inadequadamente, a água em projetos de irrigação.

A boa notícia é que já existe tecnologia para a expansão da fronteira agrícola em ambientes com concentrações altas de sais, pelo conhecimento acumulado sobre tolerância de plantas a condições adversas de solo e água. O uso de halófitas pode ser uma alternativa comercialmente viável, a aliviar a pressão sobre a exigência de água para dessedentar humanos e animais, para uso industrial e para sistemas de cultivo convencionais. Genótipos de outras espécies, tolerantes ao estresse salino, podem ser também utilizados, aliviando a necessidade de terras para aumentar a produção de alimentos e produtos agroindustriais, com extensão da agricultura para áreas desérticas e para as circunvizinhas a mangues e ambientes costeiros.

O uso de água do mar na produção agrícola faz parte da história de muitos povos. É paradoxal se constatar que, embora espécies halófitas sempre tivessem um lugar na dieta de pessoas, na cultura de muitos povos do planeta, os estudos científicos do potencial de exploração agrícola dessas plantas apenas se intensificaram na segunda metade do século XX (Rozema et al., 2013). A explicação para tal discrepância se devia à possibilidade de expansão da fronteira agrícola, em condições ideais de cultivo, nos tempos anteriores. E foi justamente, em Israel, com limitada extensão territorial e limitados recursos naturais, que na década de 1960 se iniciaram pesquisas sobre agricultura biosalina, resultando em um relevante banco de dados sobre halófitas e sua importância econômica (Aronson, 1989).

Nas últimas décadas, intensificaram-se os estudos, visando avaliar as potencialidades de uso de águas salinas para os fins mais diversos, como alimento humano e animal (Reddy et al., 2008; Qadir et al., 2008; Rozema et al., 2013); revegetação e recuperação de áreas salinizadas e poluídas por indústrias (Lewis & Devereux, 2009; Khan et al., 2010); cultivo de flores (Cassaniti et al., 2013); para fins energéticos, inclusive biocombustíveis e biogás (Abideen et al., 2011; Liu et al., 2012; Akinshina, 2014; Panta et al., 2014) e como biofiltros para efluentes aquáticos (Buhmann & Papenbrock, 2013).

Infelizmente, tantas evidências não mudaram muito o ceticismo sobre a viabilidade da utilização de halófitas como culturas alternativas. Mas, já é uma realidade o mercado para produtos agrícolas obtidos em condições salinas (Rozema & Schats, 2013), com alguns destaques neste trabalho.

2.3 Agricultura bioassalina

Para alimentar a população mundial que cresce a cada segundo, deverão ser desenvolvidas tecnologias que garantam a produção sustentável de alimentos de origem vegetal e animal. Os cientistas terão a missão de explorar os recursos naturais, com garantias da sustentabilidade, sem maiores impactos sobre o meio ambiente, e deverão incorporar ao processo produtivo as áreas naturalmente salinas e as salinizadas, antropicamente, ao longo da história.

Historicamente, a humanidade vem dependendo, basicamente, de vegetais, produzidos sob condições de sequeiro ou sob irrigação, com uso de água de baixa salinidade. Nos tempos atuais, 30 espécies vegetais suprem 90% das necessidades de alimentos do ser humano, destacando-se, dentre elas, milho, arroz, trigo, batata e soja (Khan et al., 2006). Mas, há alternativas para a humanidade, em termos de produtos não convencionais, com a inclusão de espécies halófitas, em regiões onde predominem águas e solos salinos.

As espécies mais utilizadas na alimentação humana não sobreviveriam se fossem expostas à água do mar. Mas, a natureza é repleta de vegetais desenvolvendo-se em condições de alta salinidade e diretamente em contato com a água de mares, oceanos e lagos salgados. Da mesma forma como os cientistas souberam domesticar e melhorar as espécies tradicionalmente cultivadas saberão, igualmente, fazer o mesmo com plantas adaptadas a condições adversas de salinidade; um exemplo típico são os trabalhos de melhoramento genético do arroz, com abordagem neste texto (subitem 3.2.1).

A agricultura com água do mar é uma ideia antiga, posta em prática após a II Guerra Mundial. Em 1949, o ecologista Hugo Boyko (nascido em Viena-Áustria) e a horticultora Elisabeth Boyko (natural de Connecticut-USA), durante a formação do Estado de Israel, foram para a cidade de Eilat, próxima ao Mar Vermelho, com o objetivo de alterar a paisagem de modo a permitir a sua habitação e instalação de colônias populacionais. Na falta de água fresca, os Boykos usaram água salgada de poços e água bombeada diretamente do mar. Os frutos desse trabalho difundiram a ideia para áreas semelhantes em todo o globo. Novos ecossistemas foram criados, em países como Índia, México, países do Golfo Árabe, China, dentre outros, onde áreas estão sendo cultivadas utilizando água salgada, diretamente ou através de diluição com águas residuárias (Tromp, 1971; Glenn et al., 1998a). No deserto Negev, em Israel, como exemplo, *Tamarix aphylla* cv. *erecta* está sendo irrigada por gotejamento, com sucesso, para produção de madeira. No Golfo Árabe, pesquisadores da University of Arizona produziram, experimentalmente, óleo de *Salicornia* e de *Arthrocnemum*, irrigadas com água do mar (Aronson & Floch, 1996).

Os casos citados são exemplos relevantes para se quebrar a resistência e o ceticismo à expansão da agricultura bioassalina. Segundo Glenn et al. (1998a), a utilização de águas salgadas de oceanos e mares precisa atender a duas condições:

- os cultivos devem ser úteis, com rendimento suficiente para justificar os custos de bombeamento da água do mar;

- devem ser desenvolvidas tecnologias para o cultivo de forma sustentável, sem agressão adicional ao meio ambiente.

São limitados os resultados de trabalhos de melhoramento, visando à seleção de genótipos tolerantes à salinidade, com base em métodos convencionais. A falta de sucesso se deve, em parte, à metodologia utilizada pelos melhoristas, na avaliação da tolerância ao estresse salino dos materiais genéticos. Segundo Yamaguchi & Blumwald (2005) e Arzani (2008), boas perspectivas estão nos estudos de biologia molecular e de transgenia, na busca da identificação de genes que se expressam em condições de estresse salino (Chen et al., 2010; Pasapula et al., 2011). É o que fazem especialistas da engenharia genética, ao incorporar genes de tolerância a sais em culturas tradicionais, com resultados promissores quando conseguem reduzir o teor de sódio nos tecidos novos de órgãos vegetais em formação (Glenn et al., 1998a; Munns et al., 2012).

Outra linha promissora está em estudos com culturas de células em altas concentrações de sais, complementados com uso de agentes mutagênicos, vindo, em seguida, a identificação de linhagens tolerantes ao estresse salino. Plantas desenvolvidas a partir das linhagens de células que passaram por mutação devem ser cultivadas até a fase de produção, em ciclos sucessivos, com avaliação dos mecanismos genéticos aliados à ativação de genes tolerantes à salinidade (Nabors et al., 1975; Nabors et al., 1980).

Segundo o 'Centro de Biotecnologia Marina' da 'Universidad de Las Palmas de Gran Canaria' (ULPGC), em função da salinidade da água, podem ser distinguidos quatro níveis de manejo agrícola na agricultura salina (ULPGC, 2005):

a - agricultura em baixa salinidade (concentração de sais < 1,5 g L⁻¹)

b - agricultura em média salinidade (1,5 a 15 g L⁻¹)

c - agricultura em salinidade alta (15 a 25 g L⁻¹)

d - agricultura com uso de água do mar (> 25 g L⁻¹)

Em qualquer situação, é importantíssimo o estabelecimento inicial da planta, coincidindo com período de chuvas, por serem, em geral, críticas as fases de germinação e início de formação do sistema radicular e, se a planta sobrevive na fase inicial, aumentam as chances de sobrevivência nas estações seguintes. Além do efeito favorável de chuvas, na lixiviação de sais, outras práticas, altamente recomendáveis na agricultura salina, são: cobertura morta (mulching) para conservar a umidade e diminuir a evaporação; semeadura e plantio em camalhões; irrigações com lâminas pequenas, mas frequentes; rotação de culturas, para explorar as diferenças nutricionais entre genótipos. Drenagem e lixiviação do excesso de sais da zona ocupada pelo sistema radicular são as principais providências para manter a produtividade do solo em agricultura bioassalina (Tester & Davenport, 2003; Atia et al., 2006).

No início da década de 80, século passado, Epstein et al. (1980) defendiam a conjugação de esforços entre engenharia e biologia para a exploração de solos e águas salinas na produção de culturas. Até então, a prioridade era para o desenvolvimento de tecnologias visando à adequação do ambiente para o cultivo de culturas tradicionalmente exigentes em água de

baixa salinidade. Na impossibilidade de recuperação do ambiente salino, pelos altos custos e gastos de energia e água, segundo os autores, a prioridade se abria, também, para a obtenção de genótipos tolerantes à salinidade, o que tornaria possível a utilização de solos e água com maior concentração de sais. Os autores argumentam, ainda, que o uso de águas salinas de superfície, em substituição ao bombeamento de água subterrânea de baixa salinidade, para a produção de culturas, evitaria a intrusão de água do mar para ocupar os espaços vazios, antes ocupados por água com baixa concentração de sais nos lençóis subterrâneos.

Já em 1941, o cientista americano Lyon escreveu (em um artigo sobre a tolerância do tomate ao sulfato de sódio) que “pode ser possível e desejável selecionar e criar plantas tolerantes às condições salinas” (Lyon, 1941). À época, era uma ideia arrojada, quase profética, não considerada pelos cientistas ... seu artigo foi esquecido. Numa conferência em Washington, em 1961, patrocinada pela National Academy of Sciences, em conjunto com a National Research Council, Epstein discorreu sobre o controle genético do transporte de íons minerais e tolerância ao sal em plantas, com referência especial ao ‘cultivo de plantas de interesse econômico, mais tolerantes ao sal do que as espécies de cultivo tradicionais’ (Epstein, 1963).

Na mesma época, Dewey (1962) relatou resultados de pesquisas sobre a tolerância a sais de linhagens de *Agropyron desertorum* (uma poácea). Ele foi o primeiro a conduzir um estudo sistemático de tolerância à salinidade de algumas dezenas de genótipos (60 linhagens), como parte de um programa de melhoramento para tolerância ao estresse salino.

Quase 20 anos após sua palestra na National Academy of Sciences, Washington, em 1961, Epstein reiterou sua convicção de que o maior desafio para os projetos de melhoramento para tolerância à salinidade era resolver os problemas relacionados ao metabolismo dos minerais em nível celular. Para avanço do conhecimento, devem-se considerar todos os mecanismos envolvidos na absorção, síntese de compostos orgânicos, atividade enzimática e balanço energético, dentre outros aspectos da metabolômica. Numa avaliação realizada anos depois, Epstein (1980) destacou os seguintes avanços na tolerância ao estresse salino, obtidos por sua equipe na ‘Agricultural Experiment Station’ em Davis: (i) milhares de genótipos de cevada e trigo foram selecionados; (ii) no caso do tomate, tinham sido transferidos genes de tolerância à salinidade de uma espécie economicamente desconhecida para outra de interesse comercial. O autor alerta que, em algumas espécies cultivadas, há evidências de terem sido perdidos fatores de variabilidade para tolerância à salinidade nos trabalhos de melhoramento pelos quais passaram. Em tais casos, Harlan (1976) recomenda recorrer aos parentes selvagens, tolerantes ao estresse salino, para recuperação da variabilidade perdida.

3. CULTIVOS BIOSSALINOS

3.1 Halofitismo e produção

Considerando a dificuldade de alterar a genética e a fisiologia de uma espécie, tradicionalmente sensível à salinidade, alguns pesquisadores têm investido seu trabalho em

domesticar plantas selvagens tolerantes a sais, as halófitas, com vistas, principalmente, para o uso alimentar, forrageiro e produção de sementes ricas em óleo. Esta linha de trabalho tem como garantia de sua viabilidade, o fato de povos antigos, habitantes do golfo do Rio Colorado, terem se alimentado de grãos de capim-sal (*Distichlis palmieri*) (Dregne, 1991).

Segundo Wilt & Oosten (2000), com o cultivo de halófitas em sistemas irrigados com águas marginais, é possível se ter benefícios os mais diversos, já comprovados, com destaques para: alimento para consumo humano e animal; óleo comestível de excelente qualidade; produtos de química fina; obtenção de biomassa a baixo custo para produção de energia renovável; biofiltração de efluentes urbanos, efluentes de criação de peixes/camarões e de indústrias; produtos bioativos; materiais de construção; produção de papel; recuperação de áreas degradadas, com benefícios ecológicos importantes; proteção e desenvolvimento de áreas costeiras; estabilização de solos e de dunas; melhoria do clima; drenagem de terrenos alagados e salinos; quebra-ventos; enriquecimento paisagístico; recreação e campos de golfe. Acrescentamos a tais benefícios o cultivo de plantas visando à nova commodity – créditos de CO₂. Todos são de máxima importância no contexto internacional. Vale ser destacado, ainda, o benefício de contribuir para a contenção do processo de desertificação e a possibilidade de converter desertos localizados na orla marítima em áreas produtivas, mudando a paisagem, com grande significado ambiental, ecológico e social.

3.1.1 Halófitas na alimentação humana

São muitos os exemplos de sucesso no cultivo de halófitas. Fazendas de *Salicornia* e de *Atriplex* foram implantadas em vários países, com destaques para as do Egito, México, Paquistão, dos Emirados Árabes, da Índia e da Austrália (Glenn et al., 1998b; Leake et al., 2002; Lymbery et al., 2013).

Segundo Da Silva (2002), na China são cultivados 300 mil hectares de terras costeiras com halófitas, nas províncias de Hainan, Hebei, Guangdong e Shandong. Esse autor relaciona, ainda, outros casos: no Egito, halófitas são cultivadas para alimentação animal e como elemento paisagístico; em Marrocos, há cultivo de halófitas como plantas ornamentais; na Tunísia e na Arábia Saudita, em gramados de golfe, irrigados com água do mar; no Chile, também com água do mar é cultivada a leguminosa Tamarugo (*Prosopis tamarugo*) no deserto de Atacama (Habit et al., 1981).

Em várias regiões do Paquistão, foram conduzidos ensaios em grande escala, com êxito, pelo Nuclear Institute for Agriculture and Biology (NIAB), para produção de forragem, com espécies de *Atriplex* e de *Maireana*, em Lahore (Yensen, 2006; Aslam et al., 2009) e em áreas próximas às cidades de Faisalabad, Peshawar, Bahawalpur e Karachi (Hollington et al., 2001).

Glenn et al. (1998a) relatam, também, experiências conduzidas em Puerto Peñasco, no Golfo da Califórnia, com uso de águas altamente salinas (40.000 ppm de sais) para irrigar halófitas, sendo obtidas produções de biomassa seca de até 2 kg m⁻², aproximadamente igual à produção de alfafa irrigada com água de baixa salinidade. Os autores citam, entre as espécies mais produtivas, as dos gêneros *Salicornia* ('glasswort'), *Atriplex* (erva-sal) e

Suaeda, todos da família *Chenopodiaceae*, que abrange cerca de 20% das espécies halófitas. Foram, também, altamente produtivos o capim *Distichlis* spp (família *Poaceae*) e plantas do gênero *Batis* spp (família *Batidaceae*). Fotos das espécies citadas encontram-se em Ogle & St John (2003).

A empresa NyPa International, com sede nos EUA (Nypa Forage™) patenteou uma cultivar de *Distichlis spicata* (vulgarmente denominada Nypa) para produção de grãos, relva e forragem. Os ensaios de campo foram realizados em locais da Austrália Ocidental e do Sul (Leake et al., 2002; Lymbery et al., 2013), com água salgada como fonte de irrigação. Segundo os autores, a espécie é muito promissora como forrageira em ambientes salinos e pode ser cultivada, também, em ambientes alagados para receber efluentes de aquicultura, ricos em nutrientes e sais.

Em Maragogi, Alagoas, Brasil, foi encontrada uma planta vegetando à beira mar com grande vigor, espécie não identificada, mas conhecida como ‘beldroega da praia’, folhas suculentas (Figura 1), com algumas características similares às do gênero *Salicornia* e *Batis*, diferenciando-se mais na morfologia foliar.

Figura 1. Espécie não identificada (A), conhecida como ‘beldroega da praia’, de folhas suculentas (B), ocorrendo naturalmente à beira mar do litoral em Maragogi, Alagoas, Brasil, com detalhes de ramos com flores (C). Foto: PDFernandes (17/01/2006)



Muitas halófitas são ricas em proteínas e carboidratos digestíveis. Infelizmente, essas plantas contêm, também, grandes quantidades de sais; acumular sais é uma das maneiras de ajustamento osmótico para as plantas se adaptarem aos ambientes salinos, conforme já abordado anteriormente. Além de não terem valor calórico, ao ocuparem espaço nas células, os sais diluem o valor nutricional das plantas. Outro problema é a limitação da quantidade de forragem rica em sais que deve ser fornecida aos animais. A recomendação é para limitar a 30-50% a substituição de feno convencional por forrageiras halófitas. Segundo informações contidas em Glenn et al. (1998a; 1998b), os animais alimentados com forragem de *Salicornia*, *Suaeda* e *Atriplex* ganharam peso correspondente aos alimentados apenas com feno, sem ser afetada a qualidade da carne; eles foram atraídos pelo gosto dos sais e beberam mais água.

Destacamos, a seguir, algumas espécies utilizadas na alimentação humana, comprovadamente viáveis para cultivo em condições de alta concentração de sais no solo. O foco para a alimentação animal está no Capítulo ‘Forragens para Ruminantes’.

Amaranthus spp

O gênero *Amaranthus* (família *Amaranthaceae*) é constituído por, aproximadamente, 75 espécies, classificadas como C4, a maioria delas originária das Américas (Omamt et al., 2006; Rastogi & Shukla, 2013; Mei et al., 2014). Dentre elas, 17 são reconhecidas como úteis para a alimentação humana (Meyers & Putman, 1988). No Brasil, são consideradas plantas invasoras em cultivos de soja.

São plantas reconhecidas como tolerantes à salinidade, variando, entretanto, os efeitos do estresse salino entre as espécies. Na Nova Zelândia, como exemplo, Omamt et al. (2006) testaram a tolerância à salinidade de quatro espécies de *Amaranthus*, avaliando parâmetros fisiológicos e de crescimento/desenvolvimento. Os tratamentos consistiram de concentrações de NaCl na água de irrigação, até o limite de 200 mM (correspondente a, aproximadamente, 24 dS m⁻¹ de condutividade elétrica). Aqueles autores verificaram morte das plantas de *A. tricolor* quando irrigadas com água contendo 200 mM de NaCl, com redução do crescimento já na concentração de 50 mM de NaCl (5,0 dS m⁻¹). As espécies mais tolerantes foram *A. hypochondriacus* e *A. cruentus*.

Em geral, folhas e brotos novos de espécies de *Amaranthus* são utilizados em saladas, em várias partes do globo, com destaque para *Amaranthus mangostanus*, segundo informações contidas em Mei et al. (2014). Vale ser ressaltado serem espécies desse gênero tóxicas para animais.

Avicennia marina L. e Avicennia germinans L.

São plantas de mangues da família *Acanthaceae*, com ocorrência em países da América do Sul, sendo os brotos tenros e as folhas utilizados como alimento na Colômbia (Leith et al., 2000).

***Batis marítima* L.**

Angiosperma da família Bataceae, classificada como planta C3, com ocorrência no deserto de Sonora (norte do México e sudoeste dos Estados Unidos), é um arbusto perene, com folhas e ramos suculentos. Raízes e caules têm sido, tradicionalmente, utilizados como alimentos pelos povos indígenas do oeste dos Estados Unidos. Segundo Felger & Moser (1976) e Debez et al. (2010), a *Batis marítima* é rica em aminoácidos essenciais, tocoferol e antioxidantes.

A planta forma colônias densas em pântanos de água salgada, salobras e em manguezais, frequentemente encontrada nas margens das salinas. Em solos degradados, esta espécie é uma planta pioneira, estendendo-se, rapidamente, em áreas onde outras espécies não se desenvolvem (Lonard et al., 2011).

***Capparis decídua* (Forsk.) Edgew**

Espécie da família Capparidaceae, medicinal (alcaloides para tratamento de diabetes e de problemas gástricos e cardíacos), conhecida, também, como *C. aphylla*. Os frutos são usados na alimentação humana e na preparação de pickles, em regiões da Índia (Singh & Singh, 2011; Rameshkumar & Eswaran, 2013).

***Chenopodium quinoa* Willd**

Planta da família *Amaranthaceae*, é uma halófita tolerante a níveis de CEes de até 40 dS m⁻¹ (Adolf et al., 2013) - Ver foto em <https://www.researchgate.net/figure/Figure1-Quinoa-plant-Chenopodium-quinoa>. Nativa na região andina (principalmente em áreas do Peru, do Equador, da Bolívia e da Colômbia), foi domesticada há cerca de 3.000 ou 4.000 anos, por povos nativos, embora existam registros arqueológicos do uso de sementes de materiais genéticos, não domesticados dessa espécie, muito mais antigos, entre 5.200-7.000 anos atrás (Risi & Galway, 1984; Bonales-Alatorre et al., 2013).

Historicamente, quinoa foi sempre um dos alimentos básicos de grupos indígenas da América do Sul. Nos tempos atuais, é considerado um alimento exótico, inclusive em mercados europeus, comercializado a preços compensadores, por ter maior valor nutritivo do que cereais tradicionais (James, 2009; Adolf et al., 2013; FAOSTAT, 2013). Os grãos desta *Amaranthaceae* têm melhor balanceamento na composição de aminoácidos (pelos altos teores de histidina e lisina) que a maioria dos cereais, além de serem ricos em ferro, magnésio, cobre, fósforo e vitamina E, e serem 'glúten free' (James, 2009). Em pesquisa realizada na Argentina foram colhidos 5,2 t ha⁻¹ de grãos, comprovando-se o seu alto potencial agrícola (Vega-Gálvez et al., 2010).

Outra espécie deste gênero é a *C. album*, cujos brotos e folhas novas são, também, utilizados em saladas, em vários países (Mei et al., 2014).

***Crithmum maritimum* L.**

Espécie da família Apiaceae (Atia et al., 2006), é encontrada na costa sul e oeste da Inglaterra e da Irlanda, na costa mediterrânea e ocidental da Europa, incluindo as ilhas Canárias, e no norte da África. As folhas são aromáticas, de sabor agradável e picante, além de ricas em vitamina C e antioxidantes (Ben Amor et al., 2005). Caules, folhas e vagens podem ser conservados em vinagre e usados em saladas (Frank, 1982; Atia et al., 2011). É, também, classificada como oleaginosa, usada em cosméticos (Ben Hamed et al., 2004).

***Distichlis palmeri* Vasey**

A gramínea *Distichlis palmeri* (Vasey) Fassett, família Poaceae, vulgarmente conhecida por Nipa, é endêmica em mangues do golfo da Califórnia, com concentração de sais entre 38 - 42 g L⁻¹. Vem sendo utilizada, há séculos, como alimento, por indígenas Cocopah, habitantes do baixo Rio Colorado, no México (Pearlstein et al., 2012).

Os grãos contêm 79,5% de carboidratos, 7 a 8% de proteínas, 8,4% de fibras e apenas 1,85% de gorduras. Por serem seus grãos mais ricos em fibras que os do trigo (8,4% versus 2,6%), passaram a ser usados na indústria de panificação em vários países (Yensen, 2006). Adapta-se tanto em condições alagadas, como em super salinas (irrigada com água do mar), com produção em torno de 1,25 t ha⁻¹ de grãos com alto valor nutricional (Pearlstein et al., 2012).

***Portulaca oleracea* L.**

Planta da família Portulacaceae, encontrada em diversas áreas costeiras do Mediterrâneo e consumida por serem folhas e caules ricos em ômega-3, vitamina C e vitamina A (Shannon & Grieve, 1999; Simopoulos, 2004; Yazici et al., 2007).

***Salicornia bigelovii* Torr.**

É mais uma espécie da família Amaranthaceae, planta anual suculenta, nativa em mangues de áreas costeiras do leste e do oeste dos Estados Unidos, com maior frequência no sul da Califórnia, em Belize e no México (Balick et al., 2000; Carnevali et al., 2010). Pode ser cultivada em terras costeiras, irrigada com água do mar, abrindo perspectivas de exploração agrícola dessas áreas, onde são raras as possibilidades de cultivo de espécies de interesse comercial (Bashan et al., 2000).

Folhas de *S. bigelovii* podem ser usadas como fonte alternativa de ômega-3 (um ácido graxo poliinsaturado) e de minerais e polifenol. É também uma boa fonte do antioxidante 'α-caroteno' (Zerai et al., 2010; Boestfleisch et al., 2014). Cultivos desta halófita existem na Eritreia e no nordeste da África, irrigados com águas residuárias de aquicultura (Dickerson, 2008).

Outra atenção dos cientistas é para o potencial de produção de óleo (conhecido por óleo de salicornia), com a possibilidade de ser cultivada em condições de deserto, irrigada com

água contendo altos níveis de sais, o que não é nada corriqueiro. As sementes contêm 26 a 33% de óleo (por prensagem), rico em ácido linoleico (73 - 75%) e com 35% de proteína; pode substituir a soja na dieta de aves (Bashan et al., 2000; Anwar et al., 2002). Segundo Dickerson (2008), o óleo pode ser utilizado na produção de biodiesel. A fitomassa de salicornia e o rendimento de sementes se igualam ou ultrapassam os índices obtidos com oleaginosas irrigadas com água de baixa salinidade, como soja e girassol (Glenn et al., 1991). A torta, após extração do óleo, é rica em proteína, mas contém uma saponina amarga, que restringe a massa ingerida pelos animais; entretanto, na quantidade possível de ingestão, atende as necessidades da criação de frangos. Felizmente, a saponina não contamina o óleo.

Para altas produções, o período de 100 dias anteriores ao florescimento da salicornia precisa coincidir com temperaturas baixas, restringindo-se, portanto, o seu cultivo em regiões sub-tropicais.

***Salvadora persica* L.**

É uma halófita facultativa, arbóreo-arbustiva, cultivada na Índia, em solos com alta CEes, com grande interesse pelo óleo das sementes, rico (40 a 45%) em ácidos láurico (C12:0) e mirístico (C14:0), utilizado em indústria farmacêutica e de cosméticos (Rao et al., 2004; Reddy et al., 2008).

Segundo Qadir et al. (2008), a planta suporta CEes de até 50 dS m⁻¹, mas, com menor tolerância na fase de plântula, apenas 15 dS m⁻¹. Em estudos realizados no Central Soil Salinity Research Institute (CSSRI), em Karnal, Índia, segundo os autores, foram colhidos 1.800 kg ha⁻¹ de óleo, em cultivos com 5 anos de idade, o que estimulou o National Bank for Agriculture and Rural Development daquele país a abrir uma linha de financiamento para o cultivo de *Salvadora persica* em áreas afetadas por sais.

Por dados contidos em Rao et al. (2004), quando a salinidade do solo está na faixa de 55 - 65 dS m⁻¹, a produção de sementes cai entre 40 a 47%, em relação à produção colhida na faixa de CEes de 25 - 35 dS m⁻¹. As folhas são boa fonte de forragem para animais.

***Sesuvium portulacastrum* L.**

Halófita da família Aizoaceae, cultivada em regiões da Índia, Indonésia e sul da China, pelo interesse de consumo como alimento folhas e caule, ricos em Ca, Fe e caroteno (BOSTID, 1990; Lokhande et al., 2009). *Sesuvium portulacastrum* L. pode sobreviver e produzir quantidade apreciável de biomassa em condições com concentrações maiores que 200 mM de NaCl no substrato (Lunardi et al., 2005).

***Suaeda* spp**

São várias as halófitas deste gênero, pertencentes à família *Amaranthaceae* (antes, *Chenopodiaceae*), com ocorrência em regiões áridas e semiáridas da Índia, regiões costeiras e

em mangues do Mediterrâneo e da África. Destaques para *S. fruticosa* e *S. linearis*, muito úteis pelo óleo comestível de suas sementes, contendo alta percentagem de ácidos graxos insaturados (cerca de 75%) (Ogle & St John, 2003; Weber et al., 2007). As espécies de suaeda são utilizadas para recuperação de solos salinos e contaminados por metais tóxicos (Hameed et al., 2012).

***Tetragonia tetragonioides* Pall.**

Espécie da família Aizoaceae, é encontrada em regiões da Nova Zelândia, Austrália e Japão, com potencialidades de uso comestível das folhas, por serem ricas em aminoácidos e antioxidantes (Slupski et al., 2010; Ahmed & Johnson, 2000). É, também, conhecida como ‘espinafre da Nova Zelândia’.

As espécies aqui citadas são algumas de tantas outras halófitas, com destaques de cultivo em condições de salinidade alta e de grande utilidade para populações. Por tais evidências, depreende-se, facilmente, da relevância das halófitas para suprir as deficiências na disponibilização de alimentos e matéria prima para várias atividades e necessidades do ser humano (Panta et al., 2014).

3.1.2 Halófitas para fins energéticos

O maior enfoque deste item é sobre a ocupação de terras e o uso de recursos hídricos, convencionalmente julgados como marginais, na produção de halófitas, como fonte de biomassa para fins energéticos. Como defendido por Eshel et al. (2010) e por Liu et al. (2012), o ponto positivo de tais atividades é o fato de não competir com os recursos naturais necessários ao cultivo de espécies para fins de produção de alimentos e de outros bens de origem vegetal ou animal.

Ladeiro (2012) argumenta que as halófitas têm largo espectro de potencialidades como plantas energéticas, podendo contribuir de forma valiosa para a produção de bioetanol, biodiesel e lenha. A biomassa dessas plantas é, geralmente, rica em celulose, hemicelulose e lignina, fontes seguras e ambientalmente corretas para a produção de biocombustíveis (Abideen et al., 2011).

Começamos esta abordagem com *Salicornia bigelovii*, por já ter sido descrita, neste trabalho, em muitas de suas potencialidades. É uma espécie indicada para produção de biocombustível, por seu alto potencial energético (Dickerson, 2008). Aproximadamente 30% (em massa) da semente de salicornia é óleo e os restantes 70% da biomassa podem ser utilizados como proteína alimentar para o gado. A produtividade, em termos de biodiesel, é de 852 a 946 L ha⁻¹, segundo Christiansen (2008).

Segundo Glenn et al. (1991; 1998a), *S. bigelovii* é uma promissora halófito, presente em mangues, com produção de grande quantidade de sementes, ricas em óleo (26 a 33%) e em proteínas (70%). O óleo é rico em poli-insaturados, similar ao de girassol na composição de ácidos graxos; é comestível, com sabor e aroma agradáveis, similar ao óleo de oliva e pode ser refinado em equipamentos da indústria convencional. No México, durante 6 anos de

cultivo, a média de produção foi de 1,7 kg m⁻² de biomassa total, correspondendo a 0,2 kg m⁻² de óleo, produção esta superior à produção de óleo de soja irrigada com água fresca.

Na edição de fevereiro/2014 (número 216) da Revista Pesquisa (FAPESP, 2014) foi publicada uma matéria sobre *Salicornia bigelovii*, em cultivos irrigados com água do mar, no Centro de Pesquisas para produção de biocombustível para aviação, em um projeto em parceria da fabricante norte-americana de aviões Boeing com instituições dos Emirados Árabes Unidos. Nesse trabalho está sendo investigada a viabilidade de produção de etanol de segunda geração, a partir de sementes secas de salicornia, com produção similar a milho, trigo, cana-de-açúcar e outras gramíneas. A única dificuldade é necessitar de água com baixa salinidade para retirar o sal impregnado no produto, antes do processamento do biocombustível. O maior interesse dessas instituições é aliviar a pressão sobre a indústria de combustível de petróleo e ajudar a resolver o problema das emissões de CO₂, atualmente enfrentado pela indústria de aviação (Gentleman & Chen, 2013)

Outras halófitas são destaque, em especial mais de 100 espécies do gênero *Tamarix*, pertencentes à família Tamaricaceae, plantas com porte arbóreo-arbustivo, desenvolvendo-se normalmente em condições salinas com até 15.000 ppm de sais solúveis e tolerando, igualmente, condições alcalinas. Em geral, são plantas invasoras, temidas pela fácil propagação, em casos de abandono de áreas anteriormente cultivadas (Santi et al., 2014; Sharma et al., 2016).

As espécies perenes de *Tamarix* podem sobreviver em condições de alta salinidade, em áreas secas e inundadas e são capazes de produzir mais biomassa para a produção de bioetanol que outras espécies. Em ensaios realizados em diferentes partes, foram registrados dados de produção de biomassa a partir de *Tamarix* spp, variando entre 19,5 (Liu et al., 2012) e 52 t ha⁻¹ ano⁻¹ (Eshel et al., 2010); o valor calórico de 1 tonelada de madeira de *Tamarix chinensis*, por exemplo, cultivada em zonas costeiras da China, é equivalente ao proporcionado por 0,7 t de carvão padrão (Liu et al. 2012).

Entre as gramíneas halofíticas, há registros de sucesso das seguintes espécies perenes, cultivadas em regiões costeiras do Paquistão: *Halopyrum mucronatum*, *Desmostachya bipinnata*, *Phragmites karka*, *Typha domingensis* e *Panicum turgidum* (Abideen et al., 2011). Todas elas são eficientes e adequadas para produção de bioetanol. Com a espécie *Panicum virgatum*, os dados de produção de etanol são similares aos obtidos com milho, em cultivo convencional de solo e água de baixa salinidade, segundo informações contidas em Hendricks & Bushnell (2008) e Liu et al. (2012).

Portanto, o cultivo de halófitas como matéria-prima energética aliviará a dependência mundial dos combustíveis fósseis e contribuirá para minorar o problema do aquecimento global, com redução da produção de gases do efeito estufa.

3.2 Cultivos biohalofíticos com glicófitas

Com base na necessidade de produção de alimentos, boa parcela da investigação científica, em muitos países, está focada em plantas com potencialidades de uso na alimentação

humana, animal e para outros fins, com vistas para sistemas agroflorestais que se adaptem a ambientes com alta concentração de sais, inclusive em áreas costeiras.

Sistemas de diversificação de culturas, baseados em espécies tolerantes à salinidade, podem ser a chave para o futuro crescimento agrícola e econômico em regiões onde existam solos afetados por sais e disponibilidade de águas salobras. Para a adoção de tais sistemas, entretanto, devem ser considerados todos os cuidados para que o ganho em produtividade, com manejo de solos e águas com concentrações altas de sais, não aumente o impacto negativo sobre o ambiente, mas garanta a sustentabilidade da atividade agropecuária.

As mais importantes espécies produtoras de fibras e de cereais, cultivadas em solos afetados por sais ou irrigadas com águas salinas, em muitos países, são algodão (*Gossypium hirsutum* L.), arroz (*Oryza sativa* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.) e cevada (*Hordeum vulgare* L.). Outras espécies são, também, cultivadas em ambientes salinos, como sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], mostarda (*Brassica juncea* L.), canola (*Brassica napus* L.) e beterraba (*Beta vulgaris* L.) (Netondo et al., 2004; Qadir et al., 2008). Algumas dessas culturas já fazem parte do conteúdo de outros capítulos, a exemplo do sorgo, abordado em produção de ‘Forragens para Ruminantes’.

Deve-se ressaltar que informações sobre efeitos da salinidade em culturas, colhidas na literatura, servem como referenciais, pois a tolerância de uma espécie pode variar, dependendo do clima, condições de solo e de práticas de manejo de água - solo - planta (Maas & Hoffman, 1977).

3.2.1 Arroz (*Oryza sativa* L.)

Entre as grandes preocupações para produção de alimentos, nas últimas décadas, está a cultura de arroz, com melhoramento para cultivo em áreas salinizadas interiores e na orla marítima de muitos continentes. Epstein (1980), há quatro décadas, percebia que a incorporação de tolerância a sais era a abordagem mais promissora para a produção de arroz, base alimentar de muitos povos.

É uma espécie classificada como sensível a sais (Shannon et al., 1998), pois, com salinidade limiar de 3,0 dS m⁻¹, a cultura está dentro da divisão sensível de 0 a 8 dS m⁻¹, de acordo com a classificação de tolerância à salinidade. A redução de produção é de 12% por unidade de aumento da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (Maas & Hoffman, 1977). Os efeitos da salinidade no crescimento da cultura estão relacionados à fase de desenvolvimento da planta, tipo e concentração de sal, duração da exposição à salinidade, pH do solo, regime hídrico, temperatura, umidade e radiação solar. Após germinação, as plantas facilmente se recuperam dos efeitos da salinidade nas fases posteriores de crescimento (Akbar & Yabuno, 1974).

O Ceilão, atual Sri Lanka, foi o primeiro país a realizar triagem e cultivo de variedades de arroz tolerantes a sais e, em 1934, em seu território foi introduzida a primeira variedade para cultivo em áreas salinas, a ‘Pokkali’ (Fernando, 1949). Logo em seguida, a Índia e as Filipinas criaram uma série de variedades de arroz tolerantes a sal, inclusive, envolvendo

híbridos duplos e triplos. Depois vieram novas variedades lançadas por Tailândia, Japão, Coreia do Sul e Rússia ... os Estados Unidos criaram a variedade de arroz 'American Rice', tolerante ao estresse salino (Qin et al., 2020). O International Rice Research Institute (IRRI) hospeda mais de 127.000 acessos de arroz coletados em todo o mundo, uma rica fonte de diversidade genética. Na avaliação da tolerância a sais de parte desses materiais, com trabalhos, também, em áreas costeiras, pesquisadores identificaram, aproximadamente, 103 variedades, classificadas como moderada a altamente tolerantes à salinidade (Qin et al., 2020; Rahman et al., 2016).

Em discussões sobre efeitos da salinidade em arroz, sempre surge a pergunta sobre diferenças de tolerância entre as subespécies *japonica* e *indica*. Lee et al. (2003), ao investigarem materiais genéticos dos dois grupos, verificaram menor redução dos índices de crescimento em materiais da subespécie *indica*, que também se diferenciaram em maior absorção de K e maior exclusão de Na, em comparação aos índices de *japonica*.

3.2.2 *Beterraba (Beta vulgaris L)*

É uma das espécies cultivadas tolerantes a sais (salinidade limiar no extrato de saturação do solo de 7 dS m⁻¹), embora sejam as plantas sensíveis ao estresse salino nas fases de germinação, emergência e de plântula (Maas & Grattan, 1999). Por isso, o cultivo de beterraba em níveis altos de sais requer que o estabelecimento da cultura na semeadura e fase inicial, coincidam com período de chuvas. Uma vez estabelecida, a salinidade é benéfica para a cultura por aumentar o teor de açúcar, como observado por Moreno et al. (2001). Em solos com CEes de 10 dS m⁻¹, a produção cai 20%, baixando 50% quando aumenta a salinidade para 16 dS m⁻¹ (Maas & Grattan, 1999).

3.2.3 *Cevada (Hordeum vulgare L.)*

Entre os grãos mais cultivados em grande escala, a cevada é o de maior tolerância à salinidade, reconhecida há séculos, associada às condições de origem da espécie. É amplamente utilizada na recuperação de áreas salinizadas e em terras salgadas por manejo inadequado de irrigação (Jacobsen & Adams, 1958). A genética e a fisiologia da cevada foram muito estudadas e foi confirmada alta variabilidade para tolerância a sal, dentro da espécie. Em banco de germoplasma vinculado ao 'U.S. Department of Agriculture' há mais de 20.000 registros (Epstein et al., 1980).

Epstein et al. (1980) relatam experiências realizadas em Davis, quando submeteram cultivares de cevada a várias concentrações de cloreto de sódio, sendo a mais alta equivalente à encontrada na água do mar. A cv. California Mariout foi a mais tolerante na fase de germinação. Os efeitos foram mais evidentes nos genótipos em que era maior a participação da 'California Mariout', em suas progênes, possivelmente, como efeito aditivo.

Em outros estudos realizados na década de 70, pesquisadores da U.C.-Davis selecionaram um composto genético, dentre 6.200 acessos da coleção da American World Collection (Suneson

& Wiebe, 1962), que denominaram de “Composite Cross XXI” para tolerância ao cultivo irrigado com água do mar ($45,8 \text{ dS m}^{-1}$) no período 1975-1976. Os procedimentos de seleção e os testes de campo foram realizados na estação ‘Bodega Marine Laboratory’, vinculada à UC-Davis, situada a 80 quilômetros ao norte de São Francisco (Epstein & Norlyn, 1977). Nas melhores seleções, cultivadas sob irrigação com água do mar sem diluição e suplementada com nitrogênio e fósforo, a produtividade média, em um primeiro experimento, foi de 1.082 kg ha^{-1} e de 1.500 kg ha^{-1} no experimento seguinte, bem acima de 833 kg ha^{-1} obtidos de outras cultivares inseridas no teste como padrão. O rendimento mundial médio de cevada, à época, segundo os autores, estava abaixo de 2.000 kg ha^{-1} . A coincidência das fases iniciais de crescimento com o período de chuvas foi importante para o sucesso do cultivo sob salinidade (Epstein et al., 1980). Segundo Mano & Takeda (1997), é alta a variabilidade para tolerância a sais, pois sementes de alguns genótipos de cevada germinam com uso de água do mar ($\text{CE de } 47 \text{ dS m}^{-1}$). Plantas tolerantes ao estresse salino retêm mais Na^+ no sistema radicular que o trigo e têm maior capacidade de formar e encher os grãos. A cevada tolera, também, níveis altos de PST (60%, como exemplo). A tolerância à salinidade dessa espécie é atribuída, também, ao rápido crescimento e desenvolvimento fenológico das plantas, com maturação mais cedo das panículas (Epstein et al., 1980; Mano & Takeda, 1997).

3.2.4 Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill)

Nos primeiros ensaios de tolerância ao estresse salino de linhagens de tomate, Rush & Epstein (1976) não obtiveram resultados promissores, o que resultou em mudança de estratégia, ao se voltarem para uma espécie selvagem, economicamente inexpressiva, mas tolerante a sais, a *Lycopersicon cheesmanii* (Hook.) Mull. Sementes dessa espécie foram coletadas na Ilha Isabella (parte das Ilhas Galápagos) de uma planta que crescia à beira-mar. Indivíduos obtidos a partir de sementes dessa planta sobreviveram em meio salino igual ao da água do mar, mas os frutos eram pequenos e sem valor comercial.

Na comparação do tomate de Galápagos com uma cv. comercial, sensível a sais, foram identificadas diferenças marcantes, com destaques para transporte de íons e acúmulo ou exclusão de sal. Na continuidade das investigações, quatro ecótipos da espécie *L.cheesmanii* das Ilhas Galápagos foram comparados com *L.esculentum* cv. VF 36. Os ecótipos de Galápagos foram mais tolerantes à salinidade que a cv. VF e sobreviveram em água do mar com vigor, enquanto a cv. VF não suportou níveis superiores a 50% da água do mar (Rush & Epstein, 1976; Epstein et al., 1980).

Cruzamentos foram feitos e progênies foram selecionadas para tolerância ao sal, cultivando-as em ambiente com água do mar (Epstein et al., 1980). Retrocruzamentos sucessivos com a cultivar comercial (para incorporar características desejáveis, como tamanho e cor) foram concluídos. As linhagens selecionadas, após os cruzamentos, mantiveram um grau promissor de tolerância ao sal. Após cada série de cruzamentos e seleções para tolerância ao sal na germinação e fase de mudas, sobreviventes vigorosos foram plantados em abrigos de areia nas dunas do ‘Bodega Marine Laboratory’ da UC-Davis e irrigados com diluições de

água do mar de até 70%. Os indivíduos resultantes da seleção de cruzamentos floresceram e frutificaram tomates-cereja grandes, com componentes de sabor muito mais intensos do que os do parental comercial. Os resultados são evidências da viabilidade de transferência de fatores relacionados à tolerância à salinidade presentes em espécies silvestres para genótipos de interesse comercial (Harlan, 1976; Epstein et al., 1980).

Tais resultados podem ser evidências da origem do tomateiro em condições salinas. Segundo Wang et al. (2020), nos processos de domesticação deve ter ocorrido erosão genética para tolerância do tomateiro ao estresse salino. Os autores se basearam em estudos de genoma GWAS (Genome-Wide Association Study). Em experimentos, Wang et al. (2020) utilizaram 369 acessos de tomateiros, com larga variabilidade natural. As variações mais significativas, associadas à relação Na^+/K^+ da raiz, foram identificadas no gene *SIHAK20*, transportador de Na^+ e K^+ , regulador da homeostase entre eles, e diretamente envolvido na tolerância à salinidade das espécies de *Lycopersicon*. Mutações ‘knockout’ no *SIHAK20* do tomateiro (o mesmo aconteceu nos seus homólogos *OsHAK4* e *OsHAK17* em arroz) resultaram em hipersensibilidade ao estresse salino.

3.2.5 Trigo (*Triticum aestivum* L.)

O trigo é o cereal mais importante, economicamente (FAO IFAD UNICEF, 2020), mas não tem tolerância ao sal tão boa quanto a da cevada (Ayers & Westcot, 1976), por ser uma espécie moderadamente tolerante à salinidade, embora seja alta a variabilidade em sua carga genética (Maas & Hoffman, 1977; Munns et al., 2006).

É uma espécie que sobrevive em áreas com alta condutividade elétrica, com redução da produção em 20% na CEes de 9 dS m^{-1} e 50% em 13 dS m^{-1} (Maas & Grattan, 1999). Epstein et al. (1980) relatam testes de tolerância a sais realizados em linhagens da coleção de 5.000 acessos de trigo do banco de germoplasma do Department of Agriculture - Washington, D.C. Foi constatada alta variabilidade intraespecífica e 34 linhagens de trigo de primavera produziram grãos, em nível de salinidade correspondente a 50% da CEa da água do mar. As plantas das populações sensíveis morreram dentro de 7 semanas após a germinação. As seleções tolerantes à salinidade foram comparadas com uma das variedades indianas mais tolerantes ao sal (Kharchia). Em apenas um único ciclo de seleção, foram identificadas linhagens cuja produção ultrapassou a da ‘Kharchia’.

4 SEQUESTRO DE CARBONO EM ÁREAS COSTEIRAS

4.1 Inserção no contexto

Na transição entre as décadas de 60 e 70, pesquisadores começaram a sentir e a interpretar mudanças em nosso planeta, pela intensificação dos sinais em vários componentes do clima e relacionaram o aumento do nível de dióxido de carbono (CO_2), lançado na

atmosfera, ao incremento dos processos de aquecimento global. À época, apenas alguns ambientalistas deram crédito a tais estudos, até que, em 1988, as Nações Unidas criaram o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), reunindo 2.500 cientistas de todo o planeta, para investigarem causas e efeitos do aquecimento global. No seu primeiro relatório, em 1990, o IPPC previu que o nível de CO₂ dobraria em 100 anos e a temperatura global se elevaria de 1,5 a 4,5 °C, com possibilidades de elevação do nível do mar e inundação de várias áreas litorâneas (Miguez, 2000; George et al., 2007; IPCC, 2021).

As mudanças climáticas começariam a se refletir em outras áreas, em ocorrência de ciclones, tornados, maremotos, enchentes e secas devastadoras, e proliferação de insetos, dentre tantas outras alterações. Saliente-se que, nos últimos anos, o foco tem sido para a sobrevivência e extinção de espécies (Chilingar et al., 2008; Roman-Palacios et al., 2020). O vilão da história passou a ser o efeito estufa e todas as suas consequências. Vale salientar, entretanto, que o efeito estufa é um fenômeno natural, sob condições de normalidade dos fatores ambientais; é formado por gases que permitem a penetração da radiação solar na superfície da terra, mas bloqueiam a difusão do calor resultante, para fora de nosso planeta. A consequências desse bloqueio é o aumento da temperatura da superfície da terra, mantendo-a em torno de 15 °C, o que resulta em condições propícias à existência de vida. Caso não existisse o efeito estufa, segundo o conhecimento científico sobre o assunto, a temperatura da terra seria, em média, de 18 °C abaixo de zero (Miguez, 2000; Chilingar et al., 2008).

A natureza produz gases de efeito estufa, mas nela existem, também, processos que os absorvem. O conjunto é sustentável, quando a velocidade na produção dos gases é menor do que a velocidade que a natureza age para compensar os danos decorrentes da sua permanência prolongada na atmosfera.

Nesse contexto, destacamos os principais fatores que contribuem para o efeito estufa: CO₂ produzido pela queima de combustíveis fósseis e de biomassa (inclusive florestas); metano (CH₄ - encontrado em aterros de lixo e fossas sanitárias); óxido nitroso (N₂O), gerado pelo uso de nitrogênio em indústrias e na agricultura. Sua concentração na atmosfera é menor do que a de dióxido de carbono, mas o efeito de uma molécula de N₂O é 300 vezes maior que uma de CO₂; hexafluoreto de enxofre (SF₆) e a série de perfluorcarbonos [compostos completamente fluorados]. A lista se completa com os hidrofluorcarbonos (HFCs) e os clorofluorcarbonetos (CFCs, muito utilizados, anteriormente, em aerossóis e em aparelhos de refrigeração). Os CFCs também reagem com o ozônio topoférico e contribuem para a destruição da camada de ozônio (Lan et al., 2020; Blunden e Boyer, 2021).

O gás de maior polêmica é o CO₂, pois sua concentração na atmosfera vem crescendo à taxa de 0,4% ao ano. Na era pré-industrial, a concentração era de 280 ppm e, hoje, alcança cerca de 350 ppm. O aquecimento global por que passa nosso planeta, resulta de fatores diversos a atuarem, principalmente, sobre o CO₂, com destaques para temperatura, secas e umidade do ambiente; em síntese, todos os fatores relacionados ao ciclo do carbono na natureza (Cox et al., 2000; Green et al., 2019).

Estima-se que as atividades humanas estejam lançando, anualmente, 5,5 bilhões de toneladas de CO₂ na atmosfera, com o uso de combustíveis fósseis e outros 1,2 bilhão de toneladas de carbono, pela queima de vegetação natural, principalmente, florestas tropicais. Brasil e Indonésia lideram as queimadas de florestas (Chacon, 2002; George et al., 2007).

Por ocasião da reunião Internacional de Mudança no Clima - ECO 92, realizada no Rio de Janeiro, mais de 150 países concordaram que o problema era global. Pelos acordos firmados e por razões históricas, os países industrializados deveriam reduzir as emissões no ano 2000, aos níveis de 1990. Seriam os primeiros passos para a redução de emissões, ao se considerar que 'os países em desenvolvimento necessitariam aumentar os seus índices, para poder promover o crescimento econômico'. Pressionado pelo lobby das indústrias de petróleo, carvão e de automóveis, em síntese, o plano ficou apenas nas boas intenções (Chacon, 2002; Lopez, 2002).

Reuniões se sucederam: Berlim em 1995; Suíça, em 96; na cúpula de Kyoto, em 1997, os países industrializados (Europa, Estados Unidos, Japão e algumas Repúblicas da ex-União Soviética) comprometeram-se a estabilizar as emissões de gases aos níveis de 1990, mas somente entre 2010 e 2015, ou seja, eles adiaram o problema por mais 20 anos. Para facilitar o cumprimento do acordo, esses países introduziram alguns mecanismos de flexibilização, como o estabelecimento de cotas de emissões, que poderiam ser negociados em um mercado comum, através do qual países industrializados, cujas emissões fossem maiores que as suas cotas, poderiam adquirir títulos de outros países, para cobrir, contabilmente, tais excessos. De tais acordos, foi criado, também, um instrumento denominado de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) - Clean Development Mechanism (CDM) - pelo qual os países industrializados poderiam financiar projetos realizados em países em desenvolvimento, que produzissem o que foi denominado de sequestro de carbono da atmosfera. Seria uma alternativa viável para amenizar o agravamento da emissão de carbono, ao se valorizar o armazenamento do carbono atmosférico em florestas e áreas reflorestadas (USDE, 1993; UNKyoto Protocol, 1997; Miguez, 2000; Herzog, 2001).

Na proposta, tais investimentos seriam contabilizados para redução líquida de emissões de carbono. Batizada como Certificado de Redução das Emissões de Carbono, essa nova commodity passará a ter um valor monetário que poderá ser vendida aos países industrializados.

Segundo estimativas, o preço de cada tonelada de C sequestrado em florestas e em outras atividades, com fins similares, varia entre US\$ 10 a US\$ 100 dólares. Como os países industrializados terão de reduzir suas atuais emissões em cerca de 1 bilhão de toneladas, isso representará altos potenciais de investimento nos países em desenvolvimento. Por enquanto, tais ideias continuam em negociação. De 1992 até hoje, apenas Alemanha e Grã-Bretanha reduziram, de fato, as emissões de carbono e os outros signatários, incluindo o Brasil, as aumentaram (Chacon, 2002; Lopez, 2002; EPA, 2020).

Em Kyoto, portanto, foi estabelecido um critério econômico para estimular a necessária cooperação global entre países. Mas, seria o problema de natureza simplesmente econômica? A solução proposta é inadequada, pois não cria uma consciência global de ser necessário

diminuir a emissão de gases de efeito estufa, a níveis compatíveis com a capacidade da natureza de absorvê-los. Para cumprir os seus compromissos, os 32 países mais industrializados, grandes poluidores, ao invés de reduzir as suas emissões, vão pagar para continuar a poluir... usarão o argumento que contribuirão, de alguma forma, para a redução global de emissões. O MDL, sob esta ótica econômica, pode estimular os países muito pobres a ganhar recursos financeiros sem esforço, vendendo as suas florestas como sumidouros, isto é, como se fossem seus bens particulares, recursos que na realidade, são da natureza do planeta e patrimônio comum da humanidade. A preocupação com os mecanismos que permitirão a compra e a venda de Certificados de Emissões de Carbono nas bolsas de valores vem crescendo e se espera que a comercialização internacional de créditos de emissão de carbono movimente algo em torno de 20 bilhões de dólares anuais (UNKyoto Protocol, 1997; Miguez, 2000).

Os recursos financeiros para projetos em países em desenvolvimento, no jargão popular devem 'contribuir para o bem', e gerar uma efetiva redução das emissões de carbono. No Brasil, por exemplo, a expansão econômica deve reforçar a sua matriz energética limpa e o seu perfil ambientalmente saudável, além de incluir novos e mais eficientes processos industriais. Deve incrementar fontes de energia solar, eólica, hidroeletricidade, usinas de ondas (maremotriz), dentre outras, concomitantemente a um amplo programa de revegetação de áreas historicamente degradadas.

É nesse contexto que incluímos neste Capítulo perspectivas de novas possibilidades agrícolas, para cultivo em áreas costeiras, inclusive com uso de águas do mar nos momentos de suplementação hídrica, coincidentes com períodos de estiagens. Abrem-se novas oportunidades para aumentar as áreas verdes - sequestro de carbono - e inserção do país no mercado de comercialização da nova commodity.

4.2 Espécies para sequestro de carbono

Os benefícios vão além das perspectivas de sequestro de carbono e comercialização, em termos de uma nova 'commodity'. O florestamento de áreas costeiras pode incluir espécies com outras potencialidades econômicas, ao explorar condições que, tradicionalmente, não eram cultivadas nos modelos convencionais de exploração agrícola. Os benefícios se ampliam no contexto de perspectivas sociais, pelas possibilidades de produção de frutos de espécies pouco exploradas que podem contribuir para o bem-estar humano, por seu valor nutricional e alto conteúdo de compostos bioativos. Além de humanos e da fauna, a se beneficiarem com o florestamento, não podem ser esquecidos os benefícios para os ecossistemas 'áreas costeiras'.

4.2.1 *Coccoloba* spp

As espécies de *Coccoloba* têm origem em várias regiões da América Latina, com frutos ainda pouco estudados, por serem tantas as potencialidades já identificadas nas pesquisas

realizadas. Os frutos têm alto valor nutricional e são ricos em compostos bioativos (Campos et al., 2015). Segundo o Dr. Stephen H. Brown, técnico do Serviço de Extensão da Universidade da Flórida (<http://lee.ifas.ufl.edu/hort/GardenHome.shtml>), plantas de *Coccoloba* spp têm alta tolerância à salinidade, insolação, seca e a ventos fortes, além de serem baixos os requerimentos nutricionais, condições preponderantes em áreas costeiras.

As qualidades de *Coccoloba* spp vão além de tolerância a fatores de estresse abiótico. Em frutos de *Coccoloba uvifera* L., Campos et al. (2015) identificaram diversos fitoquímicos, como antocianinas, ácido ascórbico, compostos fenólicos e flavonoides com ação comprovada na eliminação de radicais livres e de antioxidantes. Estudos têm sido intensificados visando a avaliar propriedades fitoterápicas em espécies desse gênero, o que valoriza, ainda mais, a importância de tais plantas, pelas potencialidades econômicas e sociais, ao explorar condições que, tradicionalmente, não eram cultivadas, nos modelos convencionais de exploração agrícola. Como exemplo, pesquisadores do Departamento de Farmacologia/ Laboratório de Fitomedicamentos da UNESP, em Botucatu - SP, estão investigando os efeitos fotoprotetores do extrato dessa planta em doenças de pele, causadas por radiação ultravioleta, e identificaram efeitos antioxidantes e atividades antitirosinas, além de inibição na formação de melanócitos (Silveira et al. 2008).

No México, em estudos com *Coccoloba uvifera*, pesquisadores da Universidade Autônoma de Yucatan e do Instituto Tecnológico de Mérida verificaram efeitos positivos de extratos dos frutos em ação antioxidante e na eliminação de radicais livre, além de serem ricos em vitamina C, antocioninas, compostos fenólicos e flavonoides (Campos et al., 2015).

4.2.2 *Terminalia catappa* L.

O interesse de autores deste capítulo em *Terminalia catappa* surgiu por constatações de ser comum a presença da espécie na arborização de praias de vários estados do Nordeste brasileiro, com crescimento vigoroso das plantas. Após ser encontrada uma amendoeira banhada, diretamente, pela água do mar, no litoral de Maragogi, AL, Brasil (Fig. 2A), aumentou esse interesse, um indicativo evidente de ser adaptada ao estresse salino, investigando-se as possíveis utilidades advindas de seu cultivo. Na literatura já se encontrava referência à sua tolerância à salinidade e a ventos fortes (Thomson & Evans, 2006; Silva et al., 2017). Na foto (Fig. 2) estão detalhes da planta, em Maragogi, cujas raízes ficavam dentro da água do mar, nos ciclos de maré alta, devido à ruptura do quebra-mar; mesmo em tais condições e, inclusive, com as raízes expostas ao ar na maré baixa, a produção de frutos era abundante e não eram visíveis sinais em folhas, de algum distúrbio de possíveis efeitos prejudiciais da salinidade. Esta foto foi registrada no final de 2005, não se encontrando mais a planta no local, ao se retornar ao hotel, em 2012, por serviços de recuperação de suas instalações (coordenadas geográficas de sua localização: -7.214429; -35.906443).

Como ilustração da tolerância da espécie à salinidade, encontramos fotos de exemplares registrados na área costeira de Hōlualoa no Hawaii (Thompson & Evans, 2006) e em Aruba (<https://br.pinterest.com/pin/837388124469884612/>).

Figura 2. Foto de uma planta de *Terminalia catappa* (A) à beira mar em Maragogi, Alagoas - Brasil, com detalhes de frutos e folhas (B), sem sinais de injúrias, mesmo com o sistema radicular exposto ao ar (C) e em contato direto com a água salgada, devido à ruptura do quebra mar (Foto: PDFernandes, 15/11/2005).



Além de serem os frutos comestíveis, principalmente o mesocarpo (polpa envolvendo o endocarpo, em cujo interior está a semente - Fig. 3), as plantas são valorizadas por seu crescimento rápido e boa sombra; a madeira é de cor vermelha e apesar de ser baixa a sua densidade, um ponto positivo é a sua resistência, utilizada, inclusive, na construção de canoas. As potencialidades se ampliam, ao se analisar resultados de pesquisas, tornando públicos os efeitos fitoterápicos de partes da planta.

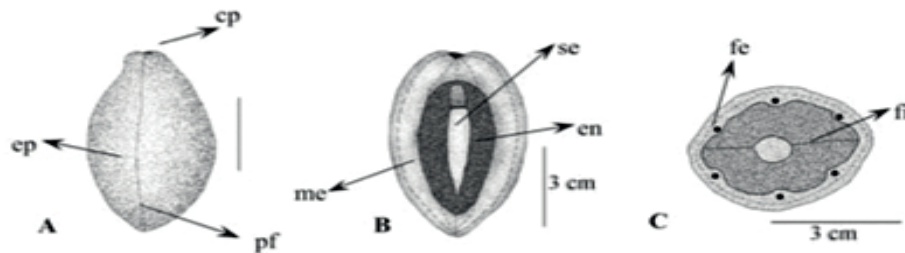
Figura 3. Foto de um fruto (A) e da semente (B) de *Terminalia catappa* (Foto: PDFernandes, 14/11/2016)



T. catappa é uma espécie da família Combretaceae, encontrada em muitos países tropicais e subtropicais, vegetando bem, tanto em áreas interiores como ao longo da costa, condição esta em que o crescimento e o desenvolvimento são muito favorecidos. A origem é duvidosa, presumindo-se ser na Índia ou na Nova Guiné (Oudhia & Paull, 2008). Em nosso país, são diversos os nomes populares, dentre eles, ‘castanhola’, ‘chapéu-de-sol’, ‘amendoeira’, ‘amendoeira-da-praia’, ‘amendoeira-da-Índia’, ‘guarda-sol’, ‘castanheira-da-Índia’ e ‘sete-copas’.

Está nas sementes o maior destaque dos frutos (Fig. 4), por serem ricas em proteínas. Por desconhecimento, geralmente elas são desprezadas. A amêndoa da semente tem sabor e textura similar aos de nozes, com 24% de proteínas e rica em minerais, especialmente potássio (Konrad, 2006) e contém alto teor de óleo de boa qualidade. Em pesquisas realizadas na Tailândia, foram registrados 600 g kg⁻¹ de óleo na semente, com equilíbrio ideal dos ácidos graxos, previstos em orientações dietéticas (Weerawatanakorn, 2013; Janporn et al., 2015).

Fig. 4. Morfologia do fruto de *Terminalia catappa*



Legenda: Vista lateral (A), corte longitudinal (B) e corte transversal do fruto (C); cp- cicatriz do pedúnculo; ep- epicarpo; pf - proeminência da fissura; me- mesocarpo; en-endocarpo; se- semente; fi - fissura; fe - feixe vascular. Fonte: Adaptado de Ivani et al. (2008)

Em seus estudos na Tailândia, Janporn et al. (2015) constataram que todas as propriedades físicoquímicas do seu óleo (densidade, índice de refração, ponto de fusão, acidez, ácidos graxos livres, índices de saponificação, peróxido e composição de ácidos graxos) eram comparáveis às do óleo de soja e seus valores atendiam ao padrão dietético de óleo comestível. Os autores avaliaram a estabilidade do óleo, ao testar condições que acelerassem os processos de sua oxidação, principalmente temperatura (variando de 35 a 55 °C). O valor inicial de peróxido dos óleos de *Terminalia* e de soja foi de 1,45 mEq kg⁻¹ e 1,77 mEq kg⁻¹, respectivamente; portanto, por ser inferior este valor no óleo de *Terminalia*, é uma evidência de ser mais lenta a sua taxa de formação de peróxido, o que significa maior resistência à oxidação.

Em frutos coletados na ‘Naresuan University’, Tailândia, aqueles autores (Janporn et al., 2015) comprovaram a qualidade do óleo, com índices excelentes do ácido oleico (C18:1 - ácido graxo monoinsaturado) e do ácido linoleico (C18:2 - ácido poliinsaturado), com valores muito próximos aos relatados por Mattsson et al. (2009). Além disso, foi constatado um bom equilíbrio de ácidos graxos no óleo das sementes, com índices de 1,2:1,1:1 para SFA:MUFA:PUFA (SFA - saturated fatty acid; MUFA - monounsaturated fatty acid; PUFA

- polyunsaturated fatty acid), valores estes que atendem ao atual 'National Cholesterol Education Program (NCEP)' e ao 'American Heart Association (AHA)' dos Estados Unidos da América, segundo os autores.

A espécie é, também, utilizada com fins medicinais na farmacopeia popular de vários povos, muito comum em países do Caribe, para tratamento de gastrites e infecção urinária. Alguns destes trabalhos estão abordados aqui, por não constarem do Capítulo sobre Plantas Medicinais. Em estudos desenvolvidos na cidade de Santos, SP, Silva et al. (2015) isolaram compostos fenólicos das folhas de Castanhola, com efeitos positivos na prevenção e cura de úlceras crônicas em cobaias e, também, eficientes no tratamento de *Helicobacter pylori*.

Kumar et al. (2014), baseados em estudos com cobaias, destacam o efeito antissecreção do extrato etanólico das folhas, sem, entretanto, ser elucidado o mecanismo envolvido e ressaltam ser muito relevante o efeito sobre bactérias gástricas.

Com base nestes dados e em informações encontradas na literatura, denota-se o grande potencial de cultivo de *Terminalia catappa* em áreas costeiras, com possibilidade de ser irrigada, inclusive, com água do mar. Variados são os seus benefícios, como produção de frutos (fonte de proteína e de óleo), madeira (presta-se à fabricação de embalagens, por sua baixa densidade) e fitoterápicos. Além, é claro, do grande potencial para projetos de sequestro de carbono.

4.2.3 Outras espécies

Por faltarem informações consistentes de tolerância à salinidade de outras espécies, em áreas costeiras, compartilhamos informações sobre tamarindo e jambolão, colhidas em trabalhos encontrados na literatura, com abordagens dos efeitos de salinidade, e informações advindas de observações de plantas em desenvolvimento em áreas litorâneas, na praia do Bessa, em João Pessoa, PB. Tais informações denotam potencialidades para seu cultivo, em áreas costeiras, para fins de sequestro de carbono, desde que o plantio e estabelecimento inicial das plantas coincidam com período chuvoso; nos meses de estiagem, os cuidados se limitarão à irrigação com águas salgadas, principalmente se as plantas estiverem no estuário de rios ou no entorno de mangues.

Tamarindus indica L.

O tamarindo é nativo em regiões tropicais da África, sem conhecimento específico sobre sua origem. Segundo vários autores (El-Siddig et al., 1999; El-Siddig et al., 2006), é grande o seu potencial como fruta e, por isso, é considerada uma das espécies frutíferas do futuro. A planta é uma árvore frondosa, que vegeta bem em solos pobres e salinizados, desde que sejam profundos. A característica mais marcante do tamarindo é seu sabor ácido e doce; a acidez é devido, principalmente, ao ácido tartárico (10%) (El-Siddig et al., 1999; 2006). Na Tailândia e na Índia foram identificados genótipos de 'tamarindo doce', plantas com frutos

em que predomina o sabor doce sobre o azedo, pelo menor teor de ácido tartárico (Caluwé et al., 2010)

O fruto se destaca, também, por ser o de maior teor de fosfato e, por esta característica, é recomendado para quem precisa fortalecer a capacidade de memorização. Outro destaque da sua polpa é o alto teor de vitamina B, riqueza em amino-ácidos, antioxidantes e fenóis. Nas folhas se concentra vitamina C (Glew et al., 1997; 2005; Caluwé et al., 2010). Os maiores produtores de tamarindo são asiáticos (Índia, Tailândia, Bangladesh e Indonésia). Nas Américas, destacam-se México e Costa Rica por grandes produções (El-Siddig et al., 2006; Caluwé et al., 2010)

As sementes, geralmente, são desprezadas nas atividades agroindustriais de aproveitamento dos frutos, por desconhecimento do seu potencial. Elas são ricas em proteínas, em polissacarídeos e minerais essenciais. O endosperma contém 46-48% de pectina que pode formar gel, em uma ampla faixa de pH. Os polissacarídeos do tamarindo, ao contrário das pectinas de frutas, não são afetados pela fervura em soluções aquosas neutras, mesmo se fervidos por longos períodos. Portanto, pode ser útil como agente de formação de gel e substituto de pectinas de frutas. Folhas e flores são preferidas na gastronomia, como vegetais em saladas e em uma variedade de pratos de alguns países. Em várias partes da planta têm sido identificadas substâncias com atividades antioxidante, anti-inflamatória, antimicrobiana e antifúngica (Glew et al., 2005; El-Siddig et al., 2006; Kumar & Bhattacharya, 2008; Caluwé et al., 2010; Carvalho et al., 2021).

É reconhecida sua tolerância à salinidade, pela ocorrência de plantas produzindo em condições salinas, mas não se encontram trabalhos científicos em plantas adultas. Neste contexto, é muito admirado um tamarindeiro adulto com mais de 50 anos na praia do Bessa, em João Pessoa, PB, Brasil (7°04'30"S/34°49'49").

Em plantas, as pesquisas, até agora, se limitaram às fases de germinação, crescimento de plântulas e desenvolvimento inicial de plantas. Com pesquisa desenvolvida no Sudão (Forestry Research Centre, Agricultural Research Corporation, Khartoum/Soba, Sudan), em conjunto com pesquisadores da Alemanha e do Japão, Gebauer et al. (2004) trabalharam com seedlings, com 4 semanas após germinação, e os submetem a 5 níveis de salinidade variando de 0 a 80 mM de NaCl durante 20 semanas e verificaram serem as mudas de tamarindo moderadamente tolerantes à salinidade. Um fato muito positivo, constatado por eles, foi terem as plantas aumentado a concentração de K^+ e de Ca^{2+} nas folhas, nos tratamentos de maior concentração de sais, uma evidência de processo seletivo na absorção de cátions, sem maior interferência do íon Na^+ , um dos sérios problemas em plantas sensíveis à salinidade.

Queiroga et al. (2021), com base em trabalho realizado em Sousa, PB, em que testaram águas de diferentes origens, recomendam o uso de águas residuárias de agroindústria na irrigação de mudas de tamarindo, apesar dos altos níveis de Na e Cl. A água foi proveniente de efluente da agroindústria do IFPB de Sousa, com os seguintes atributos químicos: Cl^- e Na^+ com 5,8 e 11,2 $mmol\ L^{-1}$, respectivamente, RAS 8,4 ($mmol\ L^{-1}$)^{0,5}.

Eugenia jambolana Lamk

Jambolão, azeitona preta e falsa azeitona são alguns dos nomes populares da espécie *Eugenia jambolana* Lam, também registrada com outros binômios (*Syzygium jambolanum*, *Syzygium cumini*). É nativa da Índia e se estende, naturalmente, em vasta área, desde Myanmar até Afeganistão. Esta é outra planta muito comum em casas na orla marítima do bairro do Bessa, em João Pessoa, PB, Brasil, recebendo água salgada na praia.

Sobre as potencialidades da planta, são vários os trabalhos na literatura internacional, com informações de constituintes orgânicos, em várias partes do jambolão, com destaques para taninos, alcaloides, esteroides, flavonoides, terpenoides, fenóis, minerais, carboidratos e vitaminas, vários deles com efeitos antioxidantes, analgésicos, anti-inflamatórios, antimicrobianos e farmacológicos (Herculano et al., 2014; Singh & Navneet, 2018).

Em muitas tentativas na literatura, foi encontrado apenas um trabalho de autoria de Sarwar & Aslam (2019), pesquisadores do ‘Nuclear Institute for Agriculture and Biology (NIAB), Faisalabad, Pakistan’. Os autores estudaram os efeitos de concentrações de sais em duas espécies forrageiras (*Eugenia jambolana* Lam; *Ziziphus mauritiana* Lam). Folhas/ramos e frutos de ambas as espécies são fonte de minerais para pequenos animais de pastoreio, principalmente, caprinos e ovinos. Mesmo em alta condutividade elétrica, as plantas do genótipo *E. jambolana* (Jaman é seu nome popular no país), acumularam menos Na⁺ nas raízes que as da outra espécie. Em comparação com os valores da testemunha, em ambas as espécies, aumentou, substancialmente, a concentração de Na⁺ nas folhas, a partir da CEes de 10 dS m⁻¹, na solução salina, mas este íon aumentou, significativamente, mais na *Ziziphus mauritiana* que em *Eugenia jambolana*, uma evidência da menor sensibilidade do jambolão à salinidade. Nos níveis mais altos de condutividade elétrica (CEes=20 a 25 dS m⁻¹), ocorreu escurecimento e necrose das folhas de ambas as espécies.

As informações são úteis por serem de uma única referência encontrada na literatura e são indicativos dos efeitos da salinidade na *Eugenia jambolana*. Tais evidências, em condições de alta complexidade de cultivo, como as realizadas no Paquistão, e pelas observações de plantas adultas de algumas dezenas de anos, em áreas costeiras do Bessa, já citadas, são indicativos de potencialidades para cultivo da espécie em áreas à beira mar e, principalmente, no entorno de mangues.

5 PERSPECTIVAS

Em ambientes costeiros, com especial atenção para os estuários de rios e para o entorno das áreas de mangues, nos quais varia a condutividade elétrica da água, em intervalo de algumas horas, há um grande potencial para cultivo e produção de alimentos e outros bens para a humanidade. Extensas áreas podem ser incorporadas aos sistemas agropecuários, uma contribuição para suprir parte das necessidades de populações. Ao longo da história, por serem abundantes terras e águas de baixa salinidade, grande parte dos esforços da

ciência foi concentrada para materiais genéticos apropriados para tais condições. A situação mudou, em grande parte do globo, e o espectro terrível da fome atinge milhões de pessoas, sendo real a necessidade de aproveitamento de águas salinas e de extensas áreas em faixas litorâneas para a produção de alimentos e de outros bens agropecuários.

São perspectivas reais, muitas delas a serem respaldadas e/ou reforçadas pelo avanço da ciência e protagonismo da ação de pesquisadores. Como abordado em vários tópicos deste texto, alguns cuidados são óbvios, pelo conhecimento técnico-científico já existente. Na expansão da atividade agrícola em áreas costeiras, a implantação dos cultivos deve coincidir com os períodos chuvosos, providência já alertada por autores diversos, ao tratarem de atividades agrícolas em áreas salinizadas. Tudo indica que serão maiores as perspectivas de sucesso no estuário de rios, por variar a condutividade elétrica da água presente na área, todas as vezes que baixa a maré. Em tais condições, é maior a viabilidade de atender a necessidade hídrica da cultura, quando for necessário o uso de água salgada, em irrigação suplementar. Deve-se alertar, entretanto, para uma atenção especial quando for no entorno de mangues, pela complexidade desses ecossistemas, envolvendo uma biota muito rica e com riscos à degradação (ICMBio, 2018), fato já registrado neste texto (subitem 2.1).

Portanto, estabelecidas as plantas, pelo plantio em meses chuvosos, visa-se atender a necessidade hídrica da cultura, em períodos de estiagens, com água do mar, suprindo as plantas em termos hídricos e de nutrientes, ao se considerar, também, que os solos arenosos facilitam a lixiviação do excesso de sais. Deve-se salientar que, em muitos casos já registrados neste Capítulo, têm sido usadas águas com altas concentrações de sais.

Novas cortinas se abrem, no esforço para conviver e reduzir os impactos ambientais, no cenário de mudanças em todo o planeta. Precisamos diminuir a emissão de gases do efeito estufa que, em excesso, vêm prejudicando a qualidade de vida na terra, com necessidades reais para redução, principalmente, da emissão de CO₂. Nesse contexto, surgiu a ideia de valorização e comercialização de créditos de carbono, uma saída dos maiores poluidores da atmosfera (países mais desenvolvidos), para financiar o (re)florestamento de áreas em países em desenvolvimento e poderem, assim, (ab)usar, de forma crescente, de derivados fósseis em sua matriz energética. Aos países em desenvolvimento cabe aproveitar a novidade, uma 'commodity' emergente, denominada de Certificado de Redução das Emissões de Carbono, para financiar e reforçar a sua matriz energética, através do reforço de projetos de fontes alternativas de energia limpa.

LITERATURA CITADA

Abideen, Z.; Ansari, R.; Khan, M.A. Halophytes: potential source of ligno-cellulosic biomass for ethanol production. *Biomass and Bioenergy*, v.35, p.1818-1822, 2011.

Adolf, V.L.; Jacobsen, S.E.; Shabala, S. Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental and Experimental Botany*, v.92, p.43-54, 2013.

- Ahmed, A.K.; Johnson, K.A. Horticultural development of Australian native edible plants. *Australian Journal of Botany*, v.48, p.417-426, 2000.
- Akbar, M.; Yabuno, T. Breeding for saline resistant varieties of rice. Inheritance of delayed type panicle sterility induced by salinity. *Japanese Journal of Breeding*, v.27, p.237-240, 1974.
- Akinshina, N.; Toderich, K.; Azizov, A.; Saito, L.; Ismail, S. Halophyte biomass - A promising source of renewable energy. *Journal of Arid Land Studies*, v.24, p.231-235, 2014.
- Anwar, F.; Bhangar, M.I.; Nasir, M.K.; Ismail, S. Analytical characterization of *Salicornia bigelovii* seed oil cultivated in Pakistan. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, v.50, p.4210-4214, 2002.
- Aronson, J.A.; Floc'h, E.L. Restoration ecology of salt-affected, arid and semi-arid lands. In: Choukr-Allah, R.; Malcolm, C.V.; Hamdy, A. (eds.). *Halophytes and biosaline agriculture*. New York: Marcel Dekker Inc., 1996. p.55-71.
- Aronson, J.A. *Haloph: A database of salt tolerant plants of the world*. Tucson: Office of Arid Land Studies, University of Arizona, 1989. 75p.
- Arzani, A. Improving salinity tolerance in crop plants: A biotechnological view. *In Vitro Cell Developmental Biology - Plant*, v.44, p.373-383, 2008.
- Aslam, Z.; Awan, A.R.; Rizwan, M. Governmental report on saline agriculture farmer participatory development project in Pakistan. Faisalabad: Nuclear Institute for Agriculture and Biology (NIAB), Pakistan Atomic Energy Commission, 2009. 47p.
- Atia, A.; Hamed, K.B.; Devez, A.; Abdelly, C. Salt and seawater effects on the germination of *Crithmum maritimum*. In: Ozturk, M.; Waisel, Y.; Khan, M. A.; Gork, G. (eds.). *Biosaline agriculture and salinity tolerance in plants*. Berlin: Birkhauser Verlag, 2006. p.29-34.
- Ayers, R.S.; Westcot, D.W. *Water quality for agriculture*. Rome: Food and Agriculture Organization, 1976. 97p. Irrigation and Drainage Paper 29
- Balick, M.J.; Nee, M.H.; Atha, D.E. Checklist of the vascular plants of Belize. *Memoirs of the New York Botanical Garden*, v.85, p.1-246, 2000.
- Barbier, E.B.; Hacker, S.D.; Kennedy, C.; Koch, E.W. The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, v.81, p.169-193, 2011.

- Bashan, Y.; Moreno, M.; Troyo, E. Growth promotion of seawater irrigated oilseed halophyte *Salicornia bigelovii* inoculated with mangrove rhizosphere bacteria and halotolerant *Azospirillum* spp. *Biology and Fertility of Soils*, v.32, p.265-72, 2000.
- Baxter, I.; Brazelton, J.N.; Yu, D.; Huang, Y.S.; Lahner, B.; Yakubova, E.; Li, Y.; Bergelson, J.; Borevitz, J.O.; Nordborg, M.; Vitek, O.; Salt, D.E. A coastal cline in sodium accumulation in *Arabidopsis thaliana* is driven by natural variation of the sodium transporter AtHKT1;1. *PLoS Genet*, v.6, p.13-21, 2010.
- Ben Amor, N.; Ben Hamed, K.; Debez, A.; Grignon, C.; Abdelly, C. Physiological and antioxidant responses of the perennial halophyte *Crithmum maritimum* to salinity. *Plant Science*, v.168, p.889-899, 2005.
- Ben Hamed, K.; Debez, A.; Chibani, F.; Abdelly, C. Salt response of *Crithmum maritimum*, an oleagineous halophyte. *Tropical Agricola*, v.65, p.574-580, 2004.
- Blunden, J.; Boyer, T. State of the climate in 2020. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v.102, p.169-262, 2021.
- Boestfleisch, C.; Wagenseil, N.B.; Buhmann, A.K.; Seal, C.E.; Wade, E.M.; Muscolo, A.; Papenbrock, J. Manipulating the antioxidant capacity of halophytes to increase their cultural and economic value through saline cultivation. *AoB Plants*, v.6, p.1-16, 2014
- Bonales-Alatorre, E.; Pottosin, I.; Shabala, L.; Chen, Z.H.; Zeng, F.; Jacobsen, S.E; Shabala, S. Differential activity of plasma and vacuolar membrane transporters contributes to genotypic differences in salinity tolerance in a halophyte species, *Chenopodium quinoa*. *International Journal of Molecular Sciences*, v.14, p.9267-9285, 2013.
- BOSTID - Board on Science and Technology in International Development. Saline agriculture salt-tolerant plants for developing countries. Washington, DC.: National Academy Press, 1990. 135p. USAID, PNABH313.
- Brazil, T.K.; Silva, L.B. Ambientes estuarinos e manguezais. Disponível em <http://www.qualibio.ufba.br/008.html>. Acesso em 25/11/2021.
- Buhmann, A.; Papenbrock, J. Biofiltering of aquaculture effluents by halophytic plants: basic principles, current uses and future perspectives. *Environmental and Experimental Botany*, v.92, p.122-133, 2013.
- Caluwé, E.D.; Halamová, K.; Damme, D. *Tamarindus indica* L. A review of traditional uses, phytochemistry and pharmacology. *Afrika Focus*, v.23, p.53-83, 2010.

- Campos, M.R.S.; Ruiz, J.R.; Chel-Guerrero, L.; Ancona, D.B. *Coccoloba uvifera* (L.) (*Polygonaceae*) fruit: phytochemical screening and potential antioxidant activity. *Journal of Chemistry*, v.2015, p.1-9, 2015. doi.org/10.1155/2015/534954.
- Carnevali, G.; Tapia-Muñoz, J. L.; Stefano, R.D.; Morillo, I.M.R. Flora ilustrada de la península Yucatán. *Listado Florístico*, v.15, p.1-326, 2010.
- Carvalho, R.T.R.; Pedrosa, C.D.; Leal, A.C.P.; Palermo, L.C.M.; Mansur, C.R.E. Extraction, characterization and rheological behavior of tamarind gum under high salinity. *Brazilian Journal of Analytical Chemistry*, v.26, p.1-20, 2021. <http://dx.doi.org/10.30744/brjac.2179-3425.AR-104-2021>.
- Cassaniti, C.; Romano, D.; Hop, M.E.C.M.; Flowers, T.J. Growing floricultural crops with brackish water. *Environmental and Experimental Botany*, v.92, p.165-175, 2013.
- Chacon, J. Mecanismo de desenvolvimento limpo. *Revista do CREA/RJ*, p.5-21, 2002. Disponível em <https://novoportall.crea-rj.org.br/>. Acesso em 28/02/2022.
- Chen, L.; Ren, F.; Zhong, H.; Jiang, W.; Li, X. Identification and expression analysis of genes in response to high-salinity and drought stresses in *Brassica napus*. *Acta Biochimica et Biophysica Sinica*, v.42, p.154-164, 2010.
- Chilingar, G.V.; Sorokhtin, O.G.; Khilyuk, L.; Gorfunkel, M.V. Greenhouse gases and greenhouse effect. *Environmental Geology*, v. p.1-32, 2008.
- Christiansen, R. Sea asparagus can be oilseed feedstock for biodiesel. *Biomass Magazine*, August, 2008. Disponível em [<http://www.biomassmagazine.com/article.jsp?articleid=1864>]. Acesso em 15-05-2016.
- Collins, T.; Qadir, M. World losing farm soil daily to salt-induced degradation. Disponível em: <http://inweh.unu.edu/world-losing-farm-soil-daily-salt-induced-degradation/>. United Nations University, Ontário, Canadá. 2014. Acesso em 27/04/2016.
- Cox, P.M.; Betts, R.A.; Jones, C.D.; Spall, S.A.; Jotterdell, I.J. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*, v.408, p.184-187, 2000.
- Da Silva, E.J.; Baydoun, E.; Badran, A. Biotechnology and the developing world. *Electronic Journal of Biotechnology*, v.5, p.64-92, 2002.

- Dagar, J.C.; Singh, G.; Singh, N.T. Evaluation of forest and fruit trees used for rehabilitation of semiarid alkali/sodic soils in India. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, v.15, p.115-133, 2001.
- Dagar, J.C.; Tomar, O.S. Utilization of salt affected soils and poor quality waters for sustainable biosaline agriculture in arid and semiarid regions of India. *ISCO Conference*, 12, Beijin, 2002, p.340-347.
- Debez, A.; Saadaoui, D.; Slama, I.; Huckzermeyer, B.; Abdelly, C. Responses of *Batis maritima* plants challenged with up to two-fold seawater NaCl salinity. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v.173, p.291-299, 2010.
- Dewey, D.R. Breeding crested wheatgrass for salt tolerance. *Crop Science*, v.2, p.403-407, 1962.
- Dickerson, M. Letting the sea cultivate the land. *Los Angeles Times*, July 10, 2008.
- Dregne, H E. Desertification costs: Land damage and rehabilitation. Lubback: Texas Tech University, 1991. 75p.
- El-Siddig, K.; Ebert, G.; Lüdders, P. Tamarind (*Tamarindus indica* L.): A review on a multipurpose tree with promising future in the Sudan. *Journal of Applied Botany*, v.73, p.202-205, 1999.
- El-Siddig, K.; Gunasena, H.P.M.; Prasad, B.A.; Pushpakumara, D.K.N.G.; Ramana, K.V.R.; Vijayanand, P.; Williams, J.T. Fruits for the future 1 - Tamarind (*Tamarindus indica* L.). Southampton: Southampton Centre for Underutilized Crops, 2006, 188p.
- EPA - Environmental Protection Agency, UN. Greenhouse gas inventory data explorer. EPA - United Nations, 2020 Disponível em: <https://cfpub.epa.gov/ghgdata/inventoryexplorer/>. Acesso em 09/02/2022.
- Epstein, E. Desalination research conference. Washington, D.C.: National Academy of Sciences - National Research Council, N° 942, 1963, 284 p.
- Epstein, E. Saline culture of crops: A genetic approach. *Science*, v.210, n.2, p.399-404, 1980.
- Epstein, E.; Norlyn, J.D. Seawater-based crop production: a feasibility study. *Science*, v.197, p.249-251, 1977.
- Epstein, E.; Norlyn, J.D.; Rush, D.W.; Kingsbury, R.W.; Kelley, D.B.; Cunningham, G.A.; Wrona, A.F. Saline culture of crops: A genetic approach. *Science*, v.210, n.2, p.399-404, 1980.

- Eshel, A.; Oren, I.; Alekperov, C.; Tamar Eilam, T.; Zilberstein, A. Biomass production by desert halophytes: Alleviating the pressure on the scarce resources of arable soil and fresh water. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, v.5, p.48-53, 2011.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nation. *FAO statistical yearbook 2012, World food and agriculture*. Rome: FAO. 2012, 366p. <http://www.fao.org/docrep/015/i2490e/i2490e00.htm>
- FAOSTAT. FAO Statistics Division. Rome. <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>, 2013. (Acesso em 24.04.2016).
- FAO, IFAD, UNICEF. *The state of food security and nutrition in the World 2020*. Rome: FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9692en>, 2020. (Acesso em 24.04.2016).
- FAPESP. Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do São Paulo. Salicornia - Combustível com água do mar. *Revista Pesquisa*, v.216, p.12-13, 2014.
- Felger, R.S.; Moser, M.B. Seri Indian food plants: desert subsistence without agriculture. *Ecology of Food and Nutrition*, v.5, p.13-27, 1976.
- Fernando, L.H. The performance of salt resistant paddy, Pokkali in Ceylon. *Tropical Agriculture*, v.105, p.124-126, 1949.
- FIDA - Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola. Programa de ahorro de recursos de água dulce mediante la producción de forrajes resistentes a la salinidad en las zonas marginales de la región de Asia Occidental y África del Norte. Rome: FIDA, 2004,
- Frank, W. Vitamin C in sea fennel (*Crithmum maritimum*), an edible wild plant. *Economic Botany*, v.36, p.163-165, 1982.
- Gebauer, J.; El-Siddig, K.; Salih, A.A.; Ebert, G. *Tamarindus indica* L. seedlings are moderately salt tolerant when exposed to NaCl-induced salinity. *Scientia Horticulturae*, v.103, p.1-14, 2004
- Gentleman, A.; Chen, C. The climate impact of aviation aerosol. *Geophysical Research Letters*, v.40, p.1-5, 2013.
- George, K.; Ziska, L.H.; Bunce, J.A.; Quebedeaux, B. Elevated atmospheric CO₂ concentration and temperature across an urban-rural transect. *Atmospheric Environment*, v.41, n.35, p.7654-7665, 2007.

- Glenn, E.P.; Brown, J.J.; O'Leary, J.W. Irrigating crops with seawater. *Scientific American*, v.279, p.76-81, 1998a.
- Glenn, E.P.; McKeon, C.; Gerhart, V, Nagler, P.L.; Jordan, F.; Artiola, J. Deficit irrigation of a landscape halophyte for reuse of saline waste water in a desert city. *Landscape and Urban Planning*, v.89, p.57-64, 2009.
- Glenn E.P.; O'Leary, J.W.; Watson, M.C.; Thompson, R.O.; Huehl, R.O. *Salicornia bigelovii* Torr.: An oilseed halophyte for seawater irrigation. *Science*, p.251, p.1065-1067, 1991.
- Glenn, E.P.; Tanner, R.; Miyamoto, M.; Fitzsimmons, K.; John Boyer, J. Water use productivity and forage quality of the halophyte *Atriplex nummularia* grown on saline waste water in a desert environment. *Journal of Arid Environment*, v.38, p.45-62, 1998b.
- Glew, R.S.; VanderJagt, D.J.; Chuang, L.T.; Huang, Y.S.; Millson, M.; Glew, R.H. Nutrient content of four edible wild plants from West Africa. *Plant Foods for Human Nutrition*, v.60, p.187-193, 2005.
- Glew, R.S.; VanderJagt, D.J.; Lockett, C.; Grivetti, L.E.; Smith, G.C.; Pastuszyn, A.; Mark Millson, M. Amino acid, fatty acid, and mineral composition of 24 indigenous plants of Burkina Faso. *Journal of Food Composition and Analysis*, v.10, p.205-217, 1997.
- Godfrey, S.; Labhasetwar, P.; Wate, S.; Jimenez, B. Safe greywater reuse to augment water supply and provide sanitation in semi-arid areas of rural India. *Water Resources Research*, v.47, p. 1296-1303, 2010.
- Green, J.K.; Seneviratne, S.I.; Berg, A.M.; Kirsten, L.; Findell, K.L.; Hagemann, S.; Lawrence, D.M.; Gentine, P. Large influence of soil moisture on long-term terrestrial carbon uptake. *Nature*, v.565, p.476-479, 2019.
- Habit, M. A.; Contreras, T. D.; Gonzalez, R. H. *Prosopis tamarugo*: fodder tree for arid zones. Rome: FAO - Plant Protection Paper 25. 1981. 285p.
- Hameed, A.; Hussain, T.; Gulzar, S.; Aziz, I.; Khan, M. A. Salt tolerance of a cash crop halophyte *Suaeda fruticosa*: Biochemical responses to salt and exogenous chemical treatments. *Acta Physiologiae Plantarum*, v.34, p.2331-2340, 2012.
- Harlan, J.R. Genetic resources in wild relatives of crops. *Crop Science*, v.16, p.329-333, 1976.

- Hendricks, R.C.; Bushnell, D.M. Halophytes energy feedstocks: Back to our roots. International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery, 12. Honolulu, Hawaii, 2008, p.17-22.
- Herculano, E.D.; Costa, C.; Rodrigues, A.K.; Araújo-Júnior, J.; Santana, A.E.G.; França, P.H.B.; Gomes, E.A.; Salvador, M.J.; Moura, F.B.P.; Ribeiro, E.A.N. Evaluation of cardiovascular effects of edible fruits of *Syzygium cumini* skeels in rats. Tropical Journal of Pharmaceutical Research, v.13, p.1853-1861, 2014.
- Herzog, H.J. What future for carbon capture and sequestration, Environmental Science and Technology, v.35, p.148A-153A, 2001.
- Hollington, P.A.Z.; Hussain, M.A.; Abdullah, K.M. Saline report on Pakistan, Pakistan Saline Agriculture Conference, v.11, p.19-21, 2001.
- Hussin, S.; Geissler, N.; Koyro, H.W. Effect of NaCl salinity on *Atriplex nummularia* L. with special emphasis on carbon and nitrogen metabolism. Acta Physiologiae Plantarum, v.35, p.1025-1038, 2013.
- ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação de Biodiversidade. Atlas dos Manguezais do Brasil / Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Brasília: ICMBio. 2018. 176p.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The physical science Basis. Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC, 6. Cambridge: Cambridge University Press, 42p. 2021.
- Ivani, S.; Silva, B M.S.; Oliveira, C.; Môro, F.V. Morfologia de frutos, sementes e plântulas de castanheira (*Terminalia catappa* L.- *Combretaceae*). Revista Brasileira de Fruticultura, v.30, p.517-522, 2008.
- Jacobsen, T.; Adams, R.M. Salt and silt in ancient Mesopotamian Agriculture: Progressive changes in soil salinity and sedimentation contributed to the breakup of past civilizations. Science, v. 128, p.1251-1258, 1958.
- James, L.E.A. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): composition, chemistry, nutritional, and functional properties. Advances in Food and Nutrition Research, v.58, p.1-31, 2009.
- Janporn, S.; Chi-Tang, H.; Chavasit, V.; Pan, M.H.; Chittrakorn, S.; Ruttarattanamongkol, K.; Weerawatanakorn, M. Physicochemical properties of *Terminalia catappa* seed oil as a novel dietary lipid source. Journal of Food and Drug Analysis, v.23, p.201-209, 2015.

- Jaradat, A.A.; Shahid, M.; Al-Maskri, A. Genetic diversity in the Batini Barley Landrace from Oman: II. Response to salinity stress. *Crop Science*, v.44, p.997-1007, 2004.
- Kang, Y.; Torres-Jerez, I.; An, Z.W.; Greve, V.; Huhman, D.; Krom, N.; Cui, Y.; Udvardi, M. Genome-wide association analysis of salinity responsive traits in *Medicago truncatula*. *Plant, Cell Environment*, v.42, p.1513-1531, 2019.
- Khan, M.A.; Ansari, R.; Gul, B.; Qadir, M. Crop diversification through halophyte production on salt-prone land resources. *CAB Reviews: Perspective in Agriculture, Veterinary Science. Nutrition and Natural Resources*, v.1, p.1-9, 2006.
- Khan, S.; Hesham, A.E.L.; Qiao, M.; Rehman, S.; He, J.Z. Effects of Cd and Pb on soil microbial community structure and activities. *Environmental Science and Pollution Research*, v.17, p.288-296, 2010.
- Konrad, J. Tropical almond tree. Yucatán, México, *Naturalist Newsletter*, n.6, 2006. Disponível em: <http://www.backyardnature.net/yucatan/almond-t.htm> . Acesso em 15/11/2016.
- Kumar, B.G.; Kumari, D.; Ajeshwar, G.R.; Umadevi, V.; Kotla, N.G. Antiulcer activity of ethanolic extract of *Terminalia catappa* leaves against gastric ulcers by pyrolic ligation induced model in rats. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Drug Research*, v.6, p.38-40, 2014.
- Kumar, C.S.; Bhattacharya, S. Tamarind seed: Properties, processing and utilization. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v.48, p.1-20, 2008.
- Ladeira, B. Saline agriculture in the 21st century: using salt contaminated resources to cope food requirements. *Journal of Botany*, v.2012, p.1-7, 2012.
- Lan, X.; Hall, B.D.; Dutton, G.; Mühle, J.; Elkins, J.W. Atmospheric composition. Special Online Supplement to the *Bulletin of the American Meteorological Society*, v.101, p.1-15, 2020.
- Leake, J.E.; Barrett-Lennard, E.G.; Sargeant, M.; Yensen, N.; Prefumo, J. NyPa *Distichlis cultivars*: Rehabilitation of highly saline areas for forage, turf and grain. Rural Industries Research and Development Corporation Publication No. 02/154. 2002. 39p.
- Lee, K.S.; Choi, W.Y.; Ko, J.C.; Kim, T.S.; Gregorio, G.B. Salinity tolerance of japonica and indica rice (*Oryza sativa* L.) at the seedling stage. *Planta*, v.216, p.1043-1046, 2003.

- Leith, H.; Lohmann, M.; Guth, M.; Menzel, U. Cash crop halophytes for future halophytes growers. Institute of Environmental System Research, Osnabreuck: University of Osnabreuck, 2000. 32p.
- Levy, G.J.; Mamedov, A.I.; Goldstein, D. Sodicty and water quality effects on slaking of aggregates from semi-arid soils. *Soil Science*, v.168, n.8, p.552-562, 2003.
- Lewis, M.A.; Devereux, R. Non-nutrient anthropogenic chemicals in seagrass ecosystems: fate and effects. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v.28, p.644-661, 2009.
- Lima, M.W.; Alves, M.A.M.S.; Santos, M.L.S.; Ribeiro, A. M.; Santos, E.T.; Nunes, D.M. Influência do ciclo de maré na variação dos parâmetros físicoquímicos no estuário do Rio Curuçá, Nordeste Paraense. *Boletim Técnico Científico do CEPNOR*, v.14, n.1, p.9-15, 2014.
- Liu, X.Z.; Wang, C.Z.; Su, Q.; Li, C.K. The potential resource of halophytes for developing bio-energy in China coastal zone. *Herald Journal of Agriculture and Food Science Research*, v.1, p.044-051, 2012.
- Lokhande, V.H.; Nikam, T.D.; Suprasanna, P. *Sesuvium portulacastrum* L. a promising halophyte: cultivation, utilization and distribution in India. *Genetic Resource and Crop Evolution*, v.56, p.741-747, 2009.
- Lonard, R.I.; Judd, F.W.; Stalter, R. The biological flora of coastal dunes and wetlands: *Batis maritima* L. *Journal of Coastal Research*, v.27, p.441-449, 2011.
- Lopez, I.G.V. O mecanismo do desenvolvimento limpo – MDL. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2002. 90p.
- Lugo, A.E.; Cintrón, G.; Goenaga, C. Mangrove ecosystems under stress. In: Barret, G.W.; Rosenberg, R. (eds.). *Stress and natural eco-systems*. Chichester: Wiley. 1981. p.129-153.
- Lugo, A.E.; Snedaker, S.C. The ecology of mangroves. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v.5, p.39-64, 1974.
- Lunardi, F.O.; Bonilla, O.H.; Costa, C.S.B.; Freitas, M.C.; Herbster Neto, A.G.; Leão; G.M.O.; Chaves, B.E. Estudos ecofisiológicos e germinativos de *Sesuvium portulacastrum* L. sob estresse salino. *Anais da Reunião Anual da SBPC*, 57. 2005. Fortaleza, CE.
- Lymbery, A.J.; Kay, G.D.; Doupé, R.G.; Partridge, G.J.; Norman, H.C. The potential of a salt-tolerant plant (*Distichlis spicata* cv. NyPa Forage) to treat effluent from inland saline

- aquaculture and provide livestock feed on salt-affected farmland. *Science of the Total Environment*, v.445, p.192-201, 2013.
- Lyon, C.B. Responses of two species of tomatoes and F₁ generation to sodium sulfate in the nutrient medium. *Botanical Gazette*, v.103, p.107-122, 1941.
- Maas, E.V.; Grattan, S.R. Crop yields as affected by salinity. In: Skaggs, R. W.; van Schilfhaarde, J. (eds.). *Agricultural drainage*. Madison: ASA-CSSA-SSSA, 1999. p.55-108.
- Maas, E.V.; Hoffman, G.J. Crop salt tolerance - current assessment. *Journal of the Irrigation and Drainage Division of ASCE*, v.103, p.115-134, 1977.
- Mano, Y.; Takeda K. Mapping quantitative trait loci for salt tolerance at germination and the seedling stage in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Euphytica*, v.94, p.263-272, 1997.
- Martinez-Garcia, R. Physiological studies of the halophyte *Salicornia bigelovii*: A potential food and biofuel crop for integrated aquaculture-agriculture systems. Tucson: Department of Soil Water and Environmental Science, University of Arizona, 2010.73p. PhD Thesis
- Mattsson, E.; Ostwald, M.; Nissanka, S.P.; Holmer, B.; Palm, M. Recovery and protection of coastal ecosystems after tsunami event and potential for participatory forestry CDM - Examples from Sri Lanka. *Ocean and Coastal Management*, v.52, p.1-9. 2009.
- Mei, X.Q.; Li, S.S.; Li, Q.S.; Yang, Y.F.; Luo, X.; He, B.Y.; Li, H.; Xu, Z.M. Sodium chloride salinity reduces Cd uptake by edible amaranth (*Amaranthus mangostanus* L.) via competition for Ca channels. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v.105, p.59-64, 2014.
- Meireles, A.J.A.; Campos, A.A. Componentes geomorfológicos, funções e serviços ambientais de complexos estuarinos no nordeste do Brasil. *Revista da ANPEGE*, v.6, p.89-107, 2010.
- Melo, D.C.P.; Gazineu, M.H.P.; Silva, J.C.; Paiva, S.C.; Rego, R.C.P.; Salgueiro, A.A. Influência das condições da maré na qualidade de água do rio Formoso. *Revista Química e Tecnologia*, v.1, p.21-27, 2002.
- Meyers, R.I.; Putnam, D.H. Growing grain *Amaranthus* as a specialty crop. St. Paul: Center for Alternative Crops and Products, Saint Paul: Minnesota Extension Service, University of Minnesota, 1988. 2p. AG-FS-3458,
- Miguez, J.D.G. O Brasil e o Protocolo de Quioto. Brasília: Comissão Interministerial de Mudanças do Clima - IPCC, 2000. 228p.

- Moreno, F.; Cabrera, F.; Fernández-Boy, E.; Girón, I.F.; Fernández, J.E.; Bellido, B. Irrigation with saline water in the reclaimed marsh soils of south-west Spain: Impact on soil properties and cotton and sugar beet crops. *Agricultural Water Management*, v.48, p.133-150, 2001.
- Munns, R.; James, R.A.; Luachli, A. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*, v.7, p.1025-1043, 2006.
- Munns, R.; James, R.A.; Xu, B.; Munns, R.; James, R.A.; Xu, B.; Athman, A.; Conn, S.J.; Jordans, C.; Byrt, C.S.; Hare, R.A.; Tyerman, S.D.; Tester, M.; Plett, D.; Gilliam, M. Wheat grain yield on saline soils is improved by an ancestral Na⁺ transporter gene. *Nature Biotechnology*, v.30, p.360-364, 2012.
- Nabors, M.W.; Daniels, A.; Nadolny, L.; Brown, C. Sodium chloride tolerant lines of tobacco cells. *Plant Science Letters*, v.4, p.155-159, 1975.
- Nabors, M.W.; Gibbs, S.E.; Bernstein, C.S.; Meis, M.E. NaCl-tolerant tobacco plants from cultured cells. *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie*, v.97, p.13-17, 1980.
- Netondo, G.W.; Onyango, J.C.; Beck, E. Sorghum and salinity: I. Response of growth, water relations, and ion accumulation to NaCl salinity. *Crop Science*, v.44, p.797-805, 2004.
- Novelli, Y. S.; Molero, G. C. Brazilian mangroves: a historical ecology. *Ciência e Cultura, Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science*, v.51, p.274-286, 1999.
- Novelli, Y. S.; Molero, G. C.; Adaime, R.R.; Camargo, T.M. Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian coast. *Estuaries*, v.13, p.204-219, 1990.
- Novelli, Y. S.; Molero, G. C.; Soares, M.L.G. Mangroves as indicators of sea level change in the muddy coasts of the world. In: Healy, T.J.; Yang, T.; Healy, J.A. (eds.). *Muddy coasts of the world: Processes, deposits and function*. Amsterdam: Elsevier Science. 2002. 285p.
- Ogle, D.G.; St John, L. Fourwing saltbush plant guide. Boise: USDA-NRCS. 2003. 41p.
- Omamt, E.N.; Hammes, P.S.; Robbertse, P.J. Differences in salinity tolerance for growth and water-use efficiency in some amaranth (*Amaranthus* spp) genotypes. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, v.34, p.11-22, 2006.
- Oudhia, P.; Paull, R.E. West indian almond *Terminalia catappa* L. Combretaceae. In: Janick, J.; Paull, R.E. (eds.). *Encyclopedia of fruit and nuts*. Wallingford: CABI, 2008. p.273-276.

- Ozturk, M.; Waisel, Y.; Khan, M.A.; Gork, G. (eds.). Biosaline agriculture and salinity tolerance in plants. Berlin: Birkhauser Verlag, 2006. 215p.
- Panta, S.; Flowers, T.; Lane, P.; Shabala, S. Halophyte agriculture: Success stories. *Environmental and Experimental Botany*, v.104, p.71-83, 2014.
- Pasapula, V.; Shen, G.; Kuppu, S.; Valencia, J.P.; Marisol Mendoza, M.; Qiu, X.; Zhu, L.; Zhang, X.; Auld, D.; Blumwald, E.; Zhang, H.; Gaxiola, R.; Payton, P. Expression of an Arabidopsis vacuolar H⁺-pyrophosphatase gene (AVP1) in cotton improves drought- and salt tolerance and increases fibre yield in the field conditions. *Plant Biotechnology Journal*, v.9, p.88-99, 2011.
- Pearlstein, S.L.; Felger, R.S.; Glenn, E.P. Harrington, J.; Al-Ghanem, K.A.; Nelson, S.G. NyPa (*Distichlis palmeri*): a perennial grain crop for saltwater irrigation. *Journal of Arid Environments*, v.82, p.60-70, 2012.
- Pereira, L.S.; Oweis, T.; Zairi, A. Irrigation management under water scarcity. *Agricultural Water Management*, v.57, n.3, p.175-206, 2002.
- Qadir, M.; Tubeileh, A.; Akhtar, J.; Larbi, A.; Minhas, P.S.; Khan, M.A. Productivity enhancement of salt-affected environments through crop diversification. *Land Degradation and Development*, v.19, p.429-453, 2008.
- Qin, H.; Li, Y.; Huang, R. Review - Advances and challenges in the breeding of salt-tolerant rice. *International Journal of Molecular Sciences*, v.21, p.1-12, 2020.
- Queiroga, R.A.; Pereira Jr, E.B.; Moreira, J.N. Santos, R.F.; Lima Filho, P.; Oliveira Filho, F.S.; Bezerra, D.E.L.; Ferreira Neto, J.; Brito Filho, J.S. Mudanças de tamarindos irrigadas com diferentes tipos e proporções de água. *Research, Society and Development*, v.10, e481101019098, 2021.
- Rahman, M.A.; Thomson, M.J.; Shah-E-Alam, M.; De Ocampo, M.; Egdane, J.; Ismail, A.M. Exploring novel genetic sources of salinity tolerance in rice through molecular and physiological characterization. *Annals of Botany*, v.117, p.1083-1097, 2016.
- Rameshkumar, S.; Eswaran, K. Ecology, utilization and coastal management of salt tolerant plants (halophytes and mangroves) of Mylapore coastal regions, Andhra Pradesh - India. *International Journal of Environmental Biology*, v.3, p.1-8, 2013.

- Rao, G.G.; Nayak, A.K.; Chinchmalatpure, A.R.; Nath, A.; Babu, V.R. Growth and yield of *Salvadora persica* a facultative halophyte grown on saline black soil (Vertic Haplustept). *Arid Land Research and Management*, v.18, p.51-61, 2004.
- Rastogi, A.; Shukla, S. Amaranthus: A new millennium crop of nutraceutical values. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v.53, p.109-125, 2013.
- Reddy, M.P.; Shah, M.T.; Patolia, J.S. *Salvadora persica*, a potential species for industrial oil production in semiarid saline and alkali soils. *Industrial Crops and Products*, v.28, p.273-278, 2008.
- Richards, L.A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington DC: US Department of Agriculture, 1954. 160p. Handbook 60
- Risi, J.C.; Galway, N.W. The *Chenopodium* grains of the Andes: Inca crops for modern agriculture. *Advances in Applied Biology*, v.10, p.145-216, 1984.
- Roman-Palacios, R.; Christian, J.; John, J.W. Recent responses to climate change reveal the drivers of species extinction and survival. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v.117, p.4211-4217, 2020.
- Rovai, A.S.; Barufi, J.B.; Pagliosa, P. R.; Scherner, F.; Torres, M.A.; Horta, P.A.; Simonassi, J.C.; Quadros, D.P.C.; Borges, D.L.G.; Soriano-Sierra, E.J. Photosynthetic performance of restored and natural mangroves under different environmental constraints. *Environmental Pollution*, v.181, p.233-241, 2013.
- Rovai, A.S.; Menghini, R.P.; Schaeffer-Novelli, Y.; Cintrón, G.; Coelho Jr, C. Protecting Brazil's coastal wetlands. *Science*, v.335, p.1571-1572, 2012.
- Rozema, J.; Muscolo, A.; Flowers, T. Sustainable cultivation and exploitation of halophyte crops in a salinising world. *Environmental and Experimental Botany*, v.92, p.1-3, 2013.
- Rozema, J.; Schats, H. Salt tolerance of halophytes, research questions reviewed in the perspective of saline agriculture. *Environmental and Experimental Botany*, v.92, p.83-95, 2013.
- Rush, D.W.; Epstein, E. Differences between salt-sensitive and salt-tolerant genotypes of the tomato. *Plant Physiology*, v.57, p.162-166, 1976.
- Santi, G.; D'Annibale, A.; Eshel, A.; Zilberstein, A.; Crognale, S.; Ruzzi, M.; Valentini, R.; Moresi, M.; Petruccioli, M. Ethanol production from xerophilic and salt-resistant *Tamarix jordanis* biomass. *Biomass Bioenergy*, v.61, p.73-81, 2014.

- Sarwar, A.; Aslam, Z. Effect of root zone salinity on mineral nutrition and growth of beri (*Zizyphus mauritiana* Lam) and jaman (*Eugenia jambolana* Lamk). *International Journal of Horticulture and Floriculture*, v.7, p.001-006, 2019.
- Shahbaz, M.; Ashraf, M. Improving salinity tolerance in cereals. *Critical Review Plant Science*, v.32, p.237-249, 2013.
- Shannon, M.C.; Grieve, C.M. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae*, v.78, p.5-38, 1999.
- Shannon, M.C.; Rhoades, J.D.; Draper, J.H.; Scardaci, S.C.; Spyres M.D.; Assessment of salt tolerance in rice cultivars in response to salinity problems in California. *Crop Science*, v.38, p.394-398, 1998.
- Sharma, R.; Wungrampha, S.; Singh, V.; Pareek, A.; Sharma, M.K. Halophytes as bioenergy crops. *Frontiers in Plant Science*, v.7, p.1-8, 2016.
- Shrivastava, P.; Kumar, R. Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi Journal Biological Sciences*, v.22, p.123-131, 2015.
- Silva, F.A.; Brito, M.E.B.; Fernandes, P.D.; Pereira, E.R.L.; Farias, C.A.S.; Medeiros, M.B. Balance of elements and tolerance of the *Terminalia catappa* L. to seawater salinity. *African Journal of Agricultural Research*, v.12, p.2482-2489, 2017.
- Silva, L.P.; Angelis, C.D.; Bonamin, F.; Kushima, H.; Mininel, F.J.; Santos, L.C.; Delella, F.K.; Felisbino, S.L.; Vilegas, W.; Rocha, L.R.M.; Ramos, M.A.S.; Bauab, T.M.; Toma, W.; Lima, C.A.H. *Terminalia catappa* L.: A medicinal plant from the *Caribbean pharmacopeia* with anti *Helicobacter pylori* and antiulcer action in experimental rodent models. *Journal of Ethnopharmacology*, v.159, p.285-295, 2015.
- Silveira, J.E.P.S.; Pereda, M.C.V.; Eberlin, S.; Dieamant, G.C.; Di Stasi, L.C. Effects of *Coccoloba uvifera* L. on UV-stimulated melanocytes. *Photodermatology, Photoimmunology and Photomedicine*, v.24, p.308-313, 2008.
- Simopoulos, A. P. Omega-3 fatty acids and antioxidants in edible wild plants. *Biological Research*, v.37, p.168-214, 2004.
- Singh, A.; Navneet, H. Ethnobotanical uses, antimicrobial potential, pharmacological properties and phytochemistry of *Syzygium cumini* Linn syn. *Eugenia jambolana* - A review. *International Journal of Innovative Pharmaceutical Science and Research*, v.6, p.32-47, 2018.

- Singh, D.; Singh, R. K. Kair (*Capparis decidua*): A potential ethnobotanical weather predictor and livelihood security shrub of the arid zone of Rajasthan and Gujarat. *Indian Journal of Traditional Knowledge*, v.10, p.146-155, 2011.
- Slupski, J.; Achrem-Achremowicz, J.; Lisiewska, Z.; Korus, A. Effect of processing on the amino-acid content of New Zealand spinach (*Tetragonia tetragonioides* Pall.). *International Journal of Food Science and Technology*, v.45, p.1682-1688, 2010.
- Srinivasan, V.; Lambin, E.F.; Gorelick, S.M.; Thompson, B.H.; Rozelle, S. The nature and causes of the global water crisis: Syndromes from a meta-analysis of coupled human-water studies. *Water Resources Research*, v.48, p.1-16, 2012.
- Suneson, C.A.; Wiebe, G.A.A “Paul Bunyan” plant breeding enterprise with barley. *Crop Science*, v.2, p.347-348, 1962.
- Tester, M.; Davenport, R. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of Botany*, v.91, p.503-527, 2003.
- Thiers, P.R.L.; Meireles, A.J.A.; Santos, J.O. Manguezais na costa oeste cearense: preservação permeada de meias verdades. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2016. 126p.
- Thomson, L.A.J.; Evans, B. *Terminalia catappa* (tropical almond). In: Elevitch, C. R. (ed.). *Species profiles for pacific island agroforestry: Permanent Agriculture Resources, Hōlualoa, Hawaii 2006*. Disponível em: <http://www.traditionaltree.org>. Acesso em 21/11/2016.
- Tromp, S.W. In memoriam doctor Hugo Boyko. *International Journal of Biotechnology*, v.15, n.1, p.1-2, 1971.
- ULPGC - Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Agricultura salina – Centro de Biotecnología Marina. www.cbm.ulpgc.es/AM%20intro-aplicaciones. 2005. Acesso em 14/10/2005.
- UN Kyoto Protocol, Reference manual on accounting of emissions and assigned amount. United Nations Framework Convention on Climate Change. Kyoto: United Nations, 1997. 130p.
- USCENSUS. United States Census Bureau. 2020. <http://www.census.gov/population/> inter2 national. Acesso em 22/04/2021
- USDE - U.S. Department of Energy. The capture, utilization and disposal of carbon dioxide from fossil fuel-fired power plants. Washington, DC: USDE, 1993. 77p. DOE/ER-30194

- Vega-Gálvez, A.; Miranda, M.; Vergara, J.; Uribe, E.; Puente, L.; Martinez, E.A. Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.), an ancient Andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v.90, p.2541-2547, 2010.
- Vörösmarty, C.J.; McIntyre, P.B.; Gessner, M.O.; Dudgeon, D.; Prusevich, A.; Sullivan, C.A.; Liermann, C.R.; Davies, P.M. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, v.467, p.555-561, 2010.
- Wang, A.Z.; Hong, Y.; Zhu, G. Li, Y.; Niu, Q.; Yao, J.; Hua, K.; Bai, J.; Zhu, Y.; Shi, H.; Huang, S.; Zhu, J.K. Loss of salt tolerance during tomato domestication conferred by variation in a Na⁺/K⁺ transporter. *EMBO Journal*, v.39, p.1-12, 2020.
- Weber, D.J.; Ansari, R.; Gul, B.; Khan, M.A. Potential of halophytes as source of edible oil. *Journal of Arid Environments*, v.68, p.315-321, 2007.
- Weerawatanakorn, M. *Terminalia catappa* seeds oil as a new dietary healthy oil source. The Annual Meeting of the International Society for Nutraceuticals and Functional Foods (ISNFF). Taipei, Taiwan. November 5-9, 2013.
- Wilt, J.G.; van Oosten, H.J. Bio-production and ecosystem development in saline conditions. Knowledge and innovation challenges. Hague: National Council for Agricultural Research (NRLO) 10E, 2000, 6p.
- WHO - World Health Organization. 5 keys to a healthy diet. Geneva: WHO, 2020a. www.who.int/nutrition/topics/5keys_healthydiet/en.
- WHO - World Health Organization. Dietary recommendations/Nutritional requirements. Geneva: WHO, 2020b. www.who.int/nutrition/topics/nutrecomm/en.
- Yamaguchi, T.; Blumwald, E. Developing salt-tolerant crop plants: Challenges and opportunities. *Trends in Plant Science*, v.10, n.2, p.615-620, 2005.
- Yazici, I.; Turkan, I.; Sekmen, A.H.; Demiral, T. Salinity tolerance of purslane (*Portulaca oleracea* L.) is achieved by enhanced antioxidative system, lower level of lipid peroxidation and proline accumulation. *Environmental and Experimental Botany*, v.61, p.49-57, 2007.
- Yensen, N.P. Halophyte uses for the twenty-first century. In: Khan, M.A., Weber, D.J. (eds.), *Ecophysiology of high salinity tolerant plants*. Berlin/Heidelberg/New York: Springer, 2006. p.367-396.

Zerai, D.B.; Glenn, E.P.; Chattervedi, R.; Lu, Z.; Mamood, A.N.; Nelson, S.G.; Dennis T.; Ray, D.T. Potential for the improvement of *Salicornia bigelovii* through selective breeding. Ecological Engineering v. 36, p.730-739, 2010.

SEÇÃO C

BIOSSALINIDADE
ASPECTOS TÉCNICOS
E ECONÔMICOS

SALINIDADE E SEMENTES

Riselane de Lucena Alcântara Bruno^{1*}, Karialane da Silva Belarmino¹, Edna Ursulino Alves¹, Lucas Kennedy Silva Lima², Onildo Nunes de Jesus³, Jackson Silva Nóbrega⁴, Alberício Pereira de Andrade⁵, Eva Maria Rodrigues Costa³, Idália Souza dos Santos²

RESUMO: A salinidade é um dos estresses abióticos que impacta o desenvolvimento das culturas, limitando a produção agrícola em todo o mundo, ocasionando efeitos que vão desde a germinação de sementes até o crescimento e rendimento das culturas. Logo, o desenvolvimento de cultivares tolerantes à salinidade é uma estratégia necessária para produção em solos salinos. Contudo, a obtenção dessas cultivares não é trivial, passa inicialmente pela seleção de genótipos tolerantes ao estresse salino, que pode ser realizada na fase de sementes, mudas ou plantas no processo reprodutivo. A seleção geralmente é realizada através de avaliações biométricas de produção ou do acúmulo de sódio nos tecidos, contudo, uma compreensão mais profunda, envolve o desenvolvimento de uma combinação integrada de técnicas genéticas, epigenéticas, fisiológicas, anatômicas e bioquímicas, visando identificar os mecanismos e genes associados à tolerância a salinidade em espécies

1 Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Areia - PB, Brasil

2 Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS, Feira de Santana - BA, Brasil

3 Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas - BA, Brasil

4 Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Pombal - PB, Brasil

5 Universidade Federal do Agreste de Pernambuco - UFAPE, Garanhuns - PE, Brasil

* Autor correspondente: lanebruno.bruno@gmail.com

silvestres e se foram introgridos nos processos de hibridação via melhoramento clássico ou através de ferramentas biotecnológicas. Diante disso, o fornecimento de subsídios acerca da adaptação e do desenvolvimento vegetal em condições de salinidade se faz necessário, principalmente considerando as espécies com potencial econômico e florestal.

Palavras-chave: estresse salino, germinação, melhoramento vegetal.

SALINITY AND SEEDS

ABSTRACT: Salinity is one of the abiotic stresses that impacts crop development, limiting agricultural production worldwide, causing effects ranging from seed germination to crop growth and yield. Therefore, the development of salinity-tolerant cultivars is a necessary strategy for production in saline soils. However, obtaining these cultivars is not trivial, it initially involves the selection of genotypes tolerant to saline stress, which can be carried out in the seed, seedling or plant phase of the reproductive process. Selection is usually performed through biometric assessments of sodium production or accumulation in tissues, however, a deeper understanding involves the development of an integrated combination of genetic, epigenetic, physiological, anatomical and biochemical techniques, aiming to identify the mechanisms and genes associated with salinity tolerance in wild species and whether they were introgressed in hybridization processes via classical breeding or through biotechnological tools. In view of this, the supply of subsidies regarding adaptation and plant development in salinity conditions is necessary, especially considering species with economic and forestry potential.

Key words: salt stress, germination, plant breeding.

1 INTRODUÇÃO

Em seu habitat, as plantas estão susceptíveis a diversos fatores de estresse ambiental, a exemplo da seca, calor e salinidade. Quando o estresse supera certos limites de tolerância das plantas, pode afetar o seu desenvolvimento, a sua estrutura e os processos fisiológicos e bioquímicos (Jaleel et al., 2009; Ferreira et al., 2015). Alguns fenômenos, como baixos níveis de pluviosidade, salinização do solo e altas temperaturas podem comprometer a germinação de sementes, o desenvolvimento inicial e o estabelecimento de plantas, mesmo daquelas consideradas mais adaptadas (Oliveira et al., 2019).

O estresse salino é provocado pelo excesso de sais na solução do solo, seguido de alterações no metabolismo, interferência no desenvolvimento dos vegetais e perdas consideráveis na produção agrícola em todo o mundo. Inicialmente, como resultado do excesso de sais, há redução do potencial osmótico do solo com consequências na absorção de água pelas plantas (Nunes et al., 2019).

Entre os diferentes tipos de estresse ocasionados pela presença de sais, estão o osmótico e o oxidativo, com efeitos significativos sobre a germinação de sementes. Para germinar, estas necessitam de água disponível em quantidade suficiente para ativar as reações químicas do metabolismo e conseqüentemente o desenvolvimento embrionário; com a absorção da água, ocorre a reidratação dos tecidos e intensificação da respiração e das demais atividades metabólicas, o que resulta no fornecimento de energia e nutrientes necessários para o crescimento do eixo embrionário (Carvalho & Nakagawa, 2012; Inocente & Barbedo, 2019).

O estresse osmótico e a fitotoxicidade iônica específica do sal resultam na diminuição da absorção de nutrientes e do crescimento, com distúrbios no metabolismo vegetal. Logo, alterações nas funções metabólicas, fisiológicas e anatômicas podem ocorrer nas plantas em condições de estresse salino (Harter et al., 2014; Dutra et al., 2017). Como consequência do estresse oxidativo ocorre o acúmulo de espécies reativas de oxigênio (EROs), como peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e radicais livres, superóxido (O_2^-) e hidroxila (OH), entre outros (Gill & Tuteja, 2010; Nunes et al., 2019).

Os efeitos dos sais no desempenho germinativo de sementes de muitas espécies são conhecidos, com atuação principalmente na redução da porcentagem e velocidade de germinação, bem como, efeito tóxico ao embrião (Campos & Assunção, 1990). A depender das características da planta e do nível de salinidade, existem espécies sensíveis e outras capazes de sobreviver através de várias tolerâncias (Dogan, 2020). Nesse contexto, são consideradas halófitas espécies que conseguem crescer e completar todo o seu ciclo de vida sob condições de elevada salinidade e, glicófitas, as caracterizadas pela baixa tolerância à salinidade ou cujo crescimento seja inibido, mesmo em condições de salinidade não muito elevadas (Grigore et al., 2012; Cruz et al., 2020).

O aumento da salinidade no solo acarreta redução da disponibilidade hídrica, com consequências no metabolismo germinativo e prejuízos no vigor de plântulas. Logo, é de grande relevância o conhecimento dos seus efeitos sobre as espécies, assim como, os níveis

de tolerância às condições do estresse ocasionado pela presença de sais. Neste capítulo, serão abordados os efeitos da salinidade no metabolismo da germinação e crescimento inicial de plântulas, enfoques no âmbito do melhoramento visando à tolerância das espécies, os mecanismos associados ao condicionamento de sementes (*seed priming*), estudos envolvendo a produção de sementes de grandes culturas e cereais, bem como, pesquisas com salinidade em espécies florestais da Caatinga. Objetiva-se mostrar, por meio de uma literatura atual, os impactos causados pelo estresse salino, assim como os mecanismos de tolerância existentes como ferramentas do melhoramento genético vegetal e abordar os principais aspectos de estudos acerca de salinidade na área de produção e tecnologia de sementes.

2 SALINIDADE E SEUS EFEITOS NO METABOLISMO DA GERMINAÇÃO E DO CRESCIMENTO INICIAL

A salinidade é um dos principais fatores de estresse a afetar a agricultura mundial, por resultar em danos ao crescimento e à produção das culturas. Em escala global, estima-se que a salinização das áreas agrícolas é reconhecida em 118 países e atinge em torno de 833 milhões de hectares (FAO, 2021).

O estresse salino é responsável por promover alterações em diversos processos bioquímicos, fisiológicos, moleculares e morfológicos (Chourasia et al., 2021). As diversas fases do crescimento vegetal são afetadas pela salinidade, sendo às mais sensíveis a germinação e o estabelecimento inicial das plantas (Ayers & Westcot, 1999; Ibrahim, 2016; Alves et al., 2020; Johnson & Puthur, 2021).

Os efeitos danosos promovidos pela salinidade na germinação e no crescimento inicial são relatados para diversas culturas agrícolas, tais como milho, feijão, soja, café, algodão, girassol, gergelim, entre outras. Um dos efeitos mais sentidos é a diminuição na capacidade de absorção de água, em virtude de os elevados teores de sais reduzirem o potencial osmótico e, conseqüentemente, impedirem à absorção de água pela semente. Como o metabolismo germinativo é caracterizado por uma série de eventos que se sucedem a partir da embebição de água pelos tecidos internos, a germinação é comprometida pela redução do potencial osmótico e, por extensão, também o hídrico, ocasionado pelo estresse salino (Nóbrega et al., 2021).

A absorção de água é fundamental para a germinação da semente, pois, segundo o padrão estabelecido por Bewley & Black (1994), a fase I se inicia com a intensa hidratação dos tecidos internos da semente, desencadeando uma série de reações bioquímicas que vão desde o aumento da intensidade respiratória, ao início de degradação das reservas e crescimento do embrião. Assim, o excesso de íons salinos altera as reações iniciais do processo germinativo, por reduzir à atividade enzimática envolvida na hidrólise das reservas e na mobilização do amido, necessária ao fornecimento de energia para o crescimento do eixo embrionário (Farooq et al., 2017).

A redução na hidrólise e mobilização de reservas da semente, afeta não só a germinação, mas, também, o crescimento inicial das plântulas, uma vez que a formação de mudas de elevado vigor é dependente de tais processos, com prejuízos no estabelecimento de campos de produção (Padilha et al., 2021).

Em estudo realizado por Nóbrega et al. (2021), a salinidade afetou, negativamente, o metabolismo da germinação de sementes de *Moringa oleifera* Lam., por diminuir a absorção de água. Tal fato, prolongou a fase I da germinação de 10 para 38 horas e reduziu o incremento médio, durante esse período, na massa da semente de 0,15 g para 0,09 g, ao se elevar a condutividade elétrica da água (CEa) de 0,0 para 9,0 dS m⁻¹, um indicativo de ter sido alterado o metabolismo da germinação pelo estresse salino.

Em sementes de melão pepino (*Cucumis melo* L.), a salinidade também afetou o metabolismo da germinação (Nóbrega et al., 2020), pois com elevação da CEa até 4,5 dS m⁻¹ ocorreu aumento de 9 horas na fase I, devido à baixa absorção de água, representando perdas no incremento 0,008 g ao final da germinação, em relação ao tratamento controle mantido em água deionizada. Além de retardar a germinação de sementes, o estresse salino compromete a emergência e o estabelecimento de plântulas, como observado em caju (*Anacardium occidentale* L.), onde além de ter ocorrido prolongamento no processo germinativo, houve redução de 50% na emergência de plântulas quando submetidas a solução de NaCl de 0,50 mM, estando os efeitos atrelados à limitação hídrica e restrição aos processos de expansão e alongamento celular (Alves et al., 2013).

Além do efeito osmótico, na embebição das sementes, o conteúdo de íons salinos em células e tecidos também aumenta, os quais contidos na água, podem resultar em toxicidade. Dentre os principais íons, destacam-se o Na⁺ e o Cl⁻ que, ao se acumularem nos tecidos vegetais, resultam em toxidez osmótica e iônica, por reduzir o potencial osmótico celular (Johnson & Puthur, 2021). O acúmulo excessivo de sódio acarreta a precipitação e desnaturação de proteínas, desequilíbrio de fitohormônios e alterações na permeabilidade das membranas (El-Moukhtari et al., 2020).

Em sementes de algodão (*Gossypium hirsutum* L.), Chen et al. (2020) constataram peroxidação lipídica da membrana, como efeito da toxicidade iônica causada pelo excesso de íons Na⁺ e Cl⁻. A redução no equilíbrio entre K⁺ e Na⁺ e de proteínas solúveis atuantes no sistema antioxidante de defesa, resultam em efeitos negativos à germinação. Tal fato foi também observado em sementes de alface (*Lactuca sativa* L.), cujo aumento da peroxidação lipídica da membrana ocorreu a partir da elevação dos teores de Na⁺ e Cl⁻ (Alves et al., 2020).

Ademais da toxicidade iônica e osmótica, o excesso de íons salinos pode resultar em produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), ao desencadear processos do estresse oxidativo. Dentre as principais, destacam-se vários radicais livres (radicais hidroxila, superóxido e peróxido de hidrogênio, entre outros) o que, em elevadas quantidades, promove a oxidação dos componentes celulares e pode resultar na morte celular (Ibrahim, 2016).

O estresse oxidativo é causado pela produção e acúmulo excessivo de EROs, que ativa na planta mecanismos do sistema de defesa, com destaques para a produção de antioxidantes

enzimáticos como superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX), glutathiona redutase (GR), glutathiona peroxidase (GPX), guaiacol peroxidase (GOPX) e glutathiona-S-transferase (GST) e outros de natureza não enzimáticas, como carotenoides, fenólicos, flavonoides, tocoferóis entre outros (Wei et al., 2015).

Assim, a atividade enzimática é um indicativo do efeito da salinidade na germinação e no crescimento inicial da plântula. Jakovljević et al. (2017) constataram que o estresse salino afeta em sementes e plântulas de manjerição (*Ocimum basilicum* L.) que a atividade da catalase se mostrou a mais sensível à salinidade. Em sementes de melão o estresse salino aumenta a atividade enzimática da CAT, SOD e POX (Pinheiro et al., 2016). Em sementes de soja (*Glycine max* L.) foi constatado aumento na transcrição dos genes de FeSOD, ascorbato peroxidase e de catalase (Sheteiwy et al., 2020).

3 MELHORAMENTO PARA TOLERÂNCIA À SALINIDADE

A salinidade do solo, considerada um tipo de estresse abiótico, pode afetar a produção agrícola de culturas essenciais para a alimentação humana e de animais domésticos. Deve-se levar em conta que o aumento progressivo da salinização do solo pode resultar em uma perda de aproximadamente 30% das terras aráveis nos próximos 25 anos (Wu, 2018). Portanto, compreender os mecanismos indutores da tolerância das plantas ao estresse salino é fundamental, inclusive os referentes aos bancos de germoplasma por possibilitarem a seleção de cultivares capazes de produzir em áreas com risco de salinização ou aquelas irrigadas com água salina ou salobra.

A elevada concentração de sais na solução do solo aumenta a pressão osmótica e proporciona uma condição semelhante à seca (Sayar et al., 2010), com prejuízos à absorção de água do solo, o que prolonga ou mesmo inibe a embebição pelas sementes durante o processo de germinação (Mwando et al., 2020). A germinação de sementes é o primeiro e mais decisivo estágio no crescimento e desenvolvimento das culturas (Tuan et al., 2019), por ser a embebição da água reprimida na presença de estresse salino, o que prejudica a progressão da germinação.

É complexo o efeito da salinidade sobre as plantas, por envolver alterações morfológicas e de crescimento, além de processos fisiológicos e bioquímicos que variam em função de genótipo, estágio de desenvolvimento da planta e intensidade e duração do estresse (Negrão et al., 2017; Wu, 2018; Lima et al., 2020; Santos et al., 2022). Os efeitos mais marcantes do estresse salino, decorrentes de alterações do potencial osmótico, da toxicidade iônica e do desequilíbrio da absorção dos nutrientes, refletem-se no crescimento e produção das plantas, com sérios prejuízos à atividade agrícola (Aslam et al., 2017).

Algumas espécies vegetais possuem mecanismos que possibilitam a sobrevivência em ambientes com altos teores de sais, resultantes de processos adaptativos que envolvem absorção, transporte e redistribuição dos sais em vários órgãos da planta (Acosta-Motos et al., 2017). Podendo ser classificadas como: *I*-estratégias para excluir o Na⁺ de alguns tecidos (xilema) para

a solução do solo; *II*- evitando o acúmulo do Na^+ no limbo das folhas; *III*- reduzindo as implicações negativas da salinidade sobre o metabolismo das folhas, como o processo de fotossíntese (Wu, 2018). As plantas tolerantes à salinidade são capazes de excluir o Na^+ no processo de absorção e mantém elevada a concentração de K^+ na parte aérea sendo; portanto, a relação K^+/Na^+ nos tecidos das plantas é um bom indicador de tolerância à salinidade (Lima et al., 2020).

A produção de osmoprotetores e a ativação de enzimas favorecem a sobrevivência das plantas em ambientes salinos, sendo um exemplo disso, a prolina que além de osmorregulador, atua favorecendo o equilíbrio redox em células submetidas a estresses (Liang et al., 2013), como prevenção na formação de EROs (Harir & Mitller, 2009). Para evitar o acúmulo de EROs geradas em condições de estresse, as plantas desenvolveram um eficiente mecanismo de defesa antioxidativo do qual participam algumas enzimas como superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX) e glutathiona peroxidase (GPX), que são marcadores de estresse (Hasanuzzaman et al., 2020). As peroxidases, por exemplo, são óxi-dorredutases que reduzem o H_2O_2 formando água e O_2 (Harir & Mitller, 2009).

Uma compreensão mais profunda sobre como as plantas respondem a diferentes níveis de estresse salino envolve o desenvolvimento de uma combinação integrada de técnicas genéticas, epigenéticas e fisiológicas, importantes pré-requisitos para o desenvolvimento de variedades tolerantes a sais (Zhang & Shi, 2013). Essas técnicas foram criadas com base em métodos convencionais de melhoramento genético e na aplicação da moderna biotecnologia, que envolve áreas de conhecimento como a da cultura de tecidos e transgenia, além de modificações epigenéticas associadas à metilação do DNA, modificações de histona (variantes de histona MicroRNAs) e RNAs de cadeia longa não codificadas (Soares Filho et al., 2016; Singroha et al., 2022).

3.1 Estratégias para screening de germoplasma visando identificar fontes de tolerância ao estresse salino

A variabilidade das culturas na sensibilidade/tolerância ao incremento de sais na água e no solo, é uma evidência para a necessidade de pesquisas, que visem identificar genótipos tolerantes aos efeitos deletérios da salinidade às plantas, já que é difícil a utilização de águas salinas na agricultura em regiões semiáridas, sem o devido uso de tecnologias adequadas (Cavalcante et al., 2003). O manejo da salinidade através da recuperação de terras salinizadas ou técnicas de irrigação melhoradas é caro e não proporciona uma solução a longo prazo (Arzani, 2008); o uso de genótipos tolerantes surge como uma estratégia econômica, sustentável e efetiva (Begum et al., 2022), o que torna essencial a identificação de fontes de tolerância (Raza, 2021).

Nesse contexto, a identificação de fontes de tolerância ao estresse salino e posterior incorporação aos programas de melhoramento genético, direcionados à obtenção de cultivares tolerantes à salinidade, é essencial para o aproveitamento da expressiva variabilidade genética, despendendo-se esforços no sentido de identificar o conjunto (*pool*) gênico associado

a cada cultura, com envolvimento de espécies cultivadas, selvagens e de gêneros afins (Soares Filho et al., 2016).

Os bancos de germoplasma, distribuídos em todo o mundo, fornecem um meio prático para estudos de triagem (*screening*) e melhoramento de plantas, pois dispõem de ampla variabilidade genética e possibilitam a seleção de materiais promissores (El-Fattah et al., 2020). As estratégias utilizadas para identificar fontes de tolerância à salinidade são variadas e incluem: *screening*, em condições de campo (Moustafá et al., 2021) e em ambientes controlados, por meio de sistemas hidropônicos (Yasmin et al., 2020), semi-hidropônicos (Lima et al., 2020); testes de germinação de sementes (Li et al., 2022) e outros meios artificiais, como bioensaios com discos foliares (Roy & Chakraborty, 2017) e cultura *in vitro* (Ahmed et al., 2020).

O *screening* em campo é laborioso, de modo geral, devido às condições climáticas, flutuações sazonais de precipitação e heterogeneidade do solo (Ismail & Horie, 2017). Tais dificuldades podem ser minimizadas em ambientes controlados, pela possibilidade de proporcionar níveis de salinidade, pH e condições de nutrição uniformes nos meios de cultivo, além de permitirem a compreensão dos diferentes mecanismos de tolerância ao estresse salino em genótipos e entre eles, em um menor tempo (Uzair et al., 2022). No entanto, salienta-se que condições controladas proporcionam um ambiente completamente diferente para as plantas em crescimento, que podem não ter o mesmo desempenho em condições de campo, sendo recomendada a realização de avaliações posteriores de validação dos resultados, em tais condições (Kakar et al., 2019).

A identificação de estágios de crescimento e desenvolvimento mais informativos é essencial para uma fenotipagem precisa dos genótipos em condições de estresse salino (Begum et al., 2022). A germinação de sementes e o crescimento de plântulas são apontados como as fases mais sensíveis em diversas culturas como arroz (Rasel et al., 2021), sorgo (Dehnavi et al., 2020), tomate (Sivakumar et al., 2020) e maracujá (Moura et al., 2020).

A germinação das sementes é a primeira etapa do ciclo de vida da planta e, nesse sentido, está presente em métodos mais difundidos, mundialmente, para *screening* e determinação de tolerância ou sensibilidade das espécies à salinidade (Hakim et al., 2010). Os relatos são indicativos que o estresse salino pode reduzir, significativamente, a porcentagem de germinação, pois diminui a capacidade das sementes de absorver água do solo, resultando na inibição do crescimento e perda de produtividade (Wu et al., 2018; Soliman et al., 2020). Assim como os testes de germinação, os testes de vigor também são úteis para avaliar a qualidade fisiológica das sementes, durante o estresse salino, cujas avaliações são importantes para estimar o potencial de desempenho das sementes em ambientes salinos, mormente em condições de campo.

Além de métodos destrutivos de avaliação da sensibilidade ao sal, como descritos anteriormente, outras técnicas para identificação de plantas tolerantes têm sido desenvolvidas, com destaque para os bioensaios com discos foliares (Ghosh et al., 2015). Ao avaliarem os danos oxidativos, induzidos por seca e/ou salinidade, num experimento de incubação de discos foliares, em linhagens de citros transgênicas e não transformadas (WT), Romero-Romero

et al. (2020) demonstraram que o NaCl (a 100 mM) deteriorou as linhagens WT, com descoloração característica de redução da clorofila total. Para Roy & Chakraborty (2017), esta é uma técnica fácil e rápida para selecionar gramíneas forrageiras, potencialmente tolerantes a sais, e com alto grau de reprodutibilidade para uso em diversas culturas, com interesse na identificação de plantas tolerantes à salinidade e a outros estresses abióticos.

O *near-infrared spectroscopy* (NIRS) vem sendo amplamente usado para extrair informações quantitativas sobre a composição de diversos materiais (Lugassi et al., 2019), como na determinação do teor de hemicelulose, celulose e lignina (Jin et al., 2017a); classificação de espécies (Jin et al., 2017a); determinação do conteúdo de água na folha (Jin et al., 2017b) e salinidade no solo (Nawar et al., 2014; Wang et al., 2018). Além disso, alguns autores recomendaram a técnica para determinação do teor de sódio no tecido foliar (Goldshleger et al., 2013; Mokhtari et al., 2014; Lugassi et al., 2017), pela rapidez e baixo custo, quando comparada com a análise química (Mokhtari et al., 2014); pode ser utilizada no processo de Screening para identificação de fontes de tolerância ao estresse salino.

3.2 Mecanismos da tolerância à salinidade em sementes condicionadas e em plantas

Além do efeito iônico e osmótico, ocasionado pela salinidade, as plantas podem ser afetadas por estresse oxidativo, que ocorre quando aumenta a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), com possíveis alterações no metabolismo celular (Rehman et al., 2021; Saddhe, et al., 2021), docorrente à acumulação de radicais livres. Embora possa ocorrer germinação, o aumento da salinidade dificulta a absorção de água pelas raízes, prejudicando o crescimento e desenvolvimento da planta (Isayenkov & Maathuis, 2019).

Os diferentes níveis de adaptação das espécies à salinidade resultam de elevada variação quanto ao crescimento e desenvolvimento das plantas, em função da variação entre espécie e cultivares. Estudos com diferentes espécies, com destaques para alface (Alves et al., 2020), trigo (Feghhenabi et al., 2020), maracujá (Santos-Moura et al., 2020), sorgo (Chen et al., 2021), arroz (Yi et al., 2022) e canola (Wang et al., 2022) têm corroborado tal afirmativa.

Em sementes, destacam-se, também, os estudos com condicionamento (*seed priming*), cuja técnica se baseia em hidratação parcial, sem promover a protrusão da raiz primária nesta etapa de preparação das sementes (Lutts et al., 2016; Hussain & Saqib, 2022). O condicionamento é utilizado para melhorar a eficiência de germinação e emergência em campo, sob condições ambientais adversas, como na presença de salinidade (Ashraf & Rauf, 2001; Amjad et al., 2007; Jisha et al., 2013). Além disso, as plântulas são mais vigorosas, tolerantes a estresses abióticos (Lutts et al., 2016) e possibilita aumento de produtividade, em algumas culturas, na presença de salinidade (Hussain & Saqib, 2022). Seu efeito pode, inclusive, continuar ao longo de todo o desenvolvimento da planta e na geração subsequente (Aswathi et al., 2021). Vários agentes podem ser utilizados no condicionamento de sementes, entre eles, destacam-se os sais, ácido salicílico, ácido ascórbico, *polietilenoglicol* (PEG), citocininas e benzilaminopurina (BAP) (Iqbal & Ashraf, 2006; Amjad et al., 2007; Kubala et al., 2015), entre outros.

O condicionamento permite que as plantas reconheçam e decodifiquem, precocemente, os sinais que são rapidamente ativados quando expostas ao respectivo fator de estresse (An et al., 2020; Hussain & Saqib, 2022). De fato, vários trabalhos têm comprovado o aumento da tolerância de espécies à salinidade, quando sementes são submetidas ao *seed priming*, como relatado em várias espécies cultivadas, a exemplo de pimenta (Amjad et al., 2007), fava (M'Sehli et al., 2020), milho (Ashraf & Rauf, 2001), arroz (Li et al., 2021), cevada (Carrillo-Reche et al., 2021) e trigo (Ali et al., 2017).

Estudos que buscam compreender os mecanismos associados ao *seed priming* e à tolerância ao estresse salino são vários. Dentre os relatos, destacam-se que as citocininas (cinetina) poderiam regular as mudanças induzidas pela salinidade no equilíbrio hormonal para adaptação fisiológica adequada a ambientes estressantes em plantas. De fato, tem sido observado que a aplicação exógena de citocininas promove crescimento e maior produção de grãos, tanto em cultivar de trigo considerada sensível como na tolerante, em condições de campo, com condutividade elétrica de 15 dS m⁻¹ (Iqbal & Ashraf, 2006).

A aplicação de ácido abscísico (ABA) também proporciona efeito positivo, quando aplicado em sementes de fava silvestre (*Vicia faba* L.) (Sagervanshi et al., 2021), bem como, em sementes e mudas de arroz (Wei et al., 2017; Chen et al., 2022). Em estudos com canola, constatou-se que a tolerância à salinidade pode também estar associada ao acúmulo de deidrininas e de um sistema antioxidante eficiente (Kubala et al., 2015).

O estresse oxidativo, induzido pela salinidade, resulta na geração de espécies reativas de oxigênio (EROs) que prejudicam as funções celulares, devido às suas reações oxidativas com lipídios e proteínas de membrana, ácidos nucleicos, proteínas e inativação de enzimas, o que, eventualmente, podem acarretar a morte celular (Mansour et al., 2019; An et al., 2020). No *seed priming* foi detectado aumento da atividade de enzimas antioxidantes, como catalase (CAT), peroxidase (POX) e superóxido dismutase (SOD), com redução do estresse oxidativo em plântulas de trigo (Hussain et al., 2018) e em plantas de arroz (Samota et al., 2017). Em estudos de transcriptoma, sob condições de estresse salino, foi detectado que genes diferencialmente expressos em sementes tratadas (*seed priming*) foram associados a vias de EROs e homeostase de íons, indicando que EROs e vias de sinalização de plantas desempenham, provavelmente, papéis fundamentais na tolerância à salinidade (An et al., 2020).

A síntese de prolina (*Pro*) também pode estar relacionada a uma maior eficiência na germinação, por ser um componente importante do sistema de defesa antioxidante, além de regulador celular do potencial redox, estabilizador de estruturas subcelulares e macromoléculas ou um componente de vias de transdução de sinal que regulam genes responsivos ao estresse (Kubala et al., 2015). O acúmulo de *Pro* no curso do estresse osmótico é parcial, devido à sinalização de ABA e H₂O₂ (Savouré et al., 1997; Rejeb et al., 2014). Quando a *Pro* é aplicada de forma exógena há redução no estresse salino, com melhorias em atividades antioxidantes e redução na absorção e translocação de Na⁺ e Cl⁻, enquanto aumenta a assimilação de K⁺ pelas plantas (El-Moukhtari et al., 2020). Em um estudo com quatro variedades de trigo, o condicionamento de sementes com prolina aumentou os pesos fresco e seco da

parte aérea e das raízes, bem como, a altura das plantas e alterou, significativamente, a atividade do fotossistema II (PSII) (Ambreen et al., 2021).

Além da regulação de osmoprotetores e ativação de enzimas, alterações epigenéticas estão sendo exploradas por diferentes grupos de pesquisa, para identificar os mecanismos associados a tolerância ao estresse salino em plantas e assim, desenvolver cultivares tolerantes. Mudanças epigenéticas são modificações hereditárias no DNA que ocorre sem alterar a sequência de nucleotídeos e que exercem papel decisivo para o ciclo de vida vegetal, pois implicam em mudanças no fenótipo da planta (Duan et al., 2018; Singroha et al., 2022). A epigenética envolve vários processos como, por exemplo, as alterações covalentes no DNA; modificação e ou variantes de histona e alguns RNAs não codificantes que podem atuar modificando a compactação de cromatina (Talbert & Henikoff, 2021).

Essas mudanças epigenéticas regem a acessibilidade do DNA às máquinas transcricionais e, conseqüentemente, influenciam a expressão genética sob diversas condições de estresse (Singroha et al., 2022). A metilação da citosina é uma modificação hereditária e reversível do DNA comum em plantas e pode ocorrer nos CpG ou ilhas CG que são as bases nitrogenadas citosina e guanina separadas por apenas um grupo fosfato. Nas condições de estresse salino há registro de uma alta frequência de hipermetilação nos sítios CpG localizados no promotor, embora o estresse salino afete a metilação de diferentes maneiras nas espécies (Singroha et al., 2022).

Em algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.), o padrão de metilação da citosina sob estresse salino se correlacionou negativamente ($r = -0,986$, $p \leq 0,05$) com as concentrações (0 a 200 mmol.L⁻¹) de NaCl e o nível de metilação do DNA nas raízes de mudas de um genótipo de algodoeiro (Xue-Lin et al., 2009). Além disso, há variação nesses padrões nos genótipos contrastantes quanto a resposta à salinidade. A comparação do padrão de metilação em *Triticum aestivum* mostrou que o genótipo tolerante apresentou mais sítios de metilação que no genótipo sensível (Zhong et al., 2009), entretanto, em cultivar de colza (*Brassica napus*) foi observado que a metilação da citosina foi menor na cultivar tolerante e maior na cultivar sensível (Marconi et al., 2013). Esses últimos resultados também foram observados por Wang et al. (2011a) ao avaliarem as mudanças na metilação do DNA em dois genótipos de arroz (*Oryza sativa* L.) contrastantes quanto à salinidade.

Os progressos da investigação científica em nível molecular, com uso de sequenciamento de alta escala (*high-throughput sequencing/next-generation sequencing* - NGS), têm também possibilitado importantes avanços do conhecimento nessa área. O uso de marcadores moleculares como o *single-nucleotide polymorphisms* (SNPs) tem permitido identificar QTLs (*quantitative trait loci*) associados à tolerância à salinidade (Wang et al., 2011b; Kan et al., 2015). Em arroz, estudo com associação genômica ampla (GWS - *Genome Wide Association Studies*) permitiu identificar 17 genes candidatos (Yu et al., 2018), enquanto em linhaça (*Linum usitatissimum* L.) foram identificados 64 QTLs envolvendo 268 genes candidatos (Li et al., 2022) que podem contribuir para a tolerância ao sal durante o estágio de germinação das sementes.

Além disso, a análise de genes candidatos e o estudo de sua regulação ajudam a entender a capacidade de adaptação das plantas as condições de estresse (Mirouze & Paszkowski, 2011). A resistência das plantas ou adaptação ao estresse salino depende das sofisticadas redes de regulação da expressão gênica (Fang et al., 2017). Os estudos de expressão de genes por NGS e qRT-PCR são uma realidade e têm permitido identificar novos genes pela abordagem transcriptômica e estudos de níveis de expressão de genes associados à tolerância (Jamil et al., 2011; Cheng et al., 2018; Lai et al., 2020), além da compreensão dos mecanismos epigenéticos (Karan et al., 2012; Sen & Puthur, 2020; Johnson & Puthur, 2021; Liu et al., 2022). Espera-se que, em breve, essas tecnologias possibilitem pleno domínio das vias metabólicas e que a descoberta de novos genes, associados à salinidade, permita avançar em identificação e desenvolvimento de novos genótipos tolerantes.

4 ESTUDOS DE SALINIDADE NA PRODUÇÃO DE SEMENTES

Considerado um sério problema para a agricultura, o uso de água salina na irrigação de culturas pode limitar a produção agrícola, resultando em efeito adverso nas relações solo-água-plantas e restrição nas atividades fisiológicas e no potencial produtivo das plantas cultivadas (Dias et al., 2016). Logo, o conhecimento da influência dos sais na planta é fundamental quando se pretende adotar práticas de manejo da água e de cultivo adequadas, visando à produção em condições de salinidade (Lemes et al., 2018).

Quando sementes são produzidas em condições salinas de solo ou de água, a sua qualidade pode ser afetada, diretamente, em especial na germinação e no vigor, pelos efeitos negativos da salinidade no crescimento e desenvolvimento das plantas; além do efeito osmótico sobre a espécie cultivada, prejuízos maiores podem ser causados por íons específicos, principalmente sódio e cloro, com consequências importantes no metabolismo de proteínas e nas funções enzimáticas.

4.1 Soja (*Glycine max* L.)

O papel fisiológico de tratamentos com cisteína, na minimização do efeito deletério do estresse salino, em plantas de soja foi estudado por Sadak et al. (2020). Os autores utilizaram sementes de mesmo tamanho e cor, sendo as folhas pulverizadas com cisteína (0, 20 e 40 mg L⁻¹) aos 30 e 45 dias após a semeadura; o estresse salino foi ocasionado dissolvendo-se sal marinho em água de torneira (0, 3000 e 6000 mg L⁻¹) para irrigação das plantas. Com base nos resultados, os tratamentos com cisteína aliviaram o efeito adverso do estresse salino no crescimento e rendimento das plantas de soja, ao passo que aumentou os pigmentos fotossintéticos, conteúdo de prolina, teores de N, P e K, atividade da superóxido dismutase e catalase e a porcentagem de óleo.

Em seu estudo, Sheteiwy et al. (2020) propuseram que o ácido jasmônico pode aumentar à atividade das enzimas ascorbato (ASC) e desidroascorbato redutase (DHAR), com redução

dos efeitos prejudiciais da salinidade nos processos da fotossíntese. Além disso, também avaliaram se o tratamento com o ácido jasmônico via *priming* de sementes, combinado com a sua aplicação via foliar poderia induzir a expressão de genes de defesa relacionados a enzimas antioxidantes. Ao final do experimento constataram que tanto à utilização do *priming* quanto à aplicação foliar com ácido jasmônico, assim como a combinação de ambos causou melhorias no potencial hídrico e osmótico, na eficiência do uso da água, no teor relativo de água e nas propriedades fotossintéticas das cultivares de soja submetidas ao estresse salino.

De forma semelhante, a aplicação foliar de potássio (K_2SO_4) em plantas de soja cultivadas em solo salino ($CE = 7.46 \text{ dS m}^{-1}$) melhorou as respostas de defesa da planta ao estresse, aumentando o conteúdo da enzima ascorbato (ASC), a atividade da superóxido dismutase (SOD) e da catalase (CAT), ao passo que diminuiu o teor de malondialdeído (MDA); além de aumentar o rendimento de sementes e o teor de proteína, mostrando-se mais eficiente que o tratamento de imersão de sementes (Taha et al., 2020).

Um outro composto capaz de atuar no aumento da tolerância da soja à salinidade é o nitroprussiato de sódio (SNP), o qual pode ser utilizado como regulador, com atuação positiva em reparo da parede celular, sequestro do íon sódio no vacúolo celular, conservação de cloroplastos e indicativos de aumento da atividade fotossintética (Jabeen et al., 2021).

Pesquisas no âmbito da microbiologia também vêm sendo desenvolvidas, a exemplo disso, com objetivo de avaliar os efeitos da inoculação com *Bradyrhizobium* e *Enterobacter* em plantas de soja sob estresse salino, dessa forma, Agha et al. (2021) expuseram a superfície das sementes a NaOCl 4% por 2-3 minutos, seguido por tratamento com *hidro-primer* por 8 horas; para inoculação, foi utilizada uma solução de açúcar a 10% com posterior repouso das sementes durante a noite. Como resultados, a salinidade diminuiu a germinação e afetou aspectos morfológicos e a estabilidade da membrana, sendo que a inoculação combinada das bactérias foi eficiente na redução dos efeitos nocivos do sal sobre as plantas de soja, com aumento da regulação de antioxidantes, por redução dos níveis de ROS e extravazamento da membrana.

4.2 Algodão (*Gossypium hirsutum* L.)

Considerada fator primordial para o desenvolvimento das plantas, a qualidade da água de irrigação tem influência direta sobre o potencial produtivo das espécies, sendo que, a quantidade de sais dissolvidos nessa água pode limitar o crescimento e a produtividade de muitas culturas. Sabendo disso, ao estudarem estratégias de irrigação com água salina em dois ciclos de produção de três genótipos de algodão ('BRS Rubi', 'BRS Topázio' e 'BRS Safira'), Soares et al. (2020) fizeram uso da irrigação salina em diferentes fases do desenvolvimento das plantas. Constataram que a sobrevivência das plantas sob condições adversas depende, em grande parte, da regulação dos genes responsivos ao estresse. Nos três genótipos analisados evidências sugeriram adaptação do algodão ao estresse salino, ou seja, quando as sementes foram formadas sob níveis elevados de salinidade, a expressão de genes permaneceu ativa em novos indivíduos no ciclo seguinte, resultando em maior tolerância.

Alguns estudos sugerem que a melatonina pode atuar como substância promotora de tolerância ao estresse salino nas plantas. A exemplo disso, o pré-tratamento com 20 μM de melatonina exógena elevou a porcentagem de germinação de sementes de algodão submetidas ao estresse salino e causou aumento no comprimento do hipocótilo, bem como no conteúdo de melatonina endógena durante a germinação das sementes; tais resultados obtidos por Chen et al. (2021) indicaram que a melatonina regulou a expressão dos genes ABA e GA na via de transdução de sinal da planta, induzindo o desenvolvimento da raiz e consequentemente a germinação, promovendo assim maior tolerância à salinidade.

De forma semelhante, mudas oriundas de sementes tratadas com 25 μM de melatonina mostraram maior eficiência fotossintética, assim como maior capacidade de eliminar espécies reativas de oxigênio; além disso, se observou que a melatonina pode cooperar com as vias de sinalização de fitohormônios para responder contra o estresse salino, mostrando grande potencial para produção de algodão em solos salinizados (Zhang et al., 2021).

Outra alternativa estudada em resposta ao estresse salino é o silenciamento gênico induzido por vírus (VIGS), um método inovador de genética reversa para investigar funções gênicas em plantas. Pensando nisso, Zhang et al. (2018) utilizaram este método para silenciar genes em mudas e raízes jovens de algodão via imersão das sementes em culturas de *Agrobacterium* portadores do vírus do chocalho do tabaco (TRV)-VIGS; ao investigarem a função do gene GhBI-1 (algodão Bax inibidor-1) em resposta ao estresse salino verificaram que o mesmo pode desempenhar um papel protetor sob condições de salinidade, suprimindo a morte celular induzida pelo estresse no algodão.

4.3 Cereais

Atualmente, o milho (*Zea mays* L.) constitui o cereal mais cultivado no Brasil, com uma produção estimada de 112.342,8 mil toneladas em cerca de 20.895,6 mil hectares (Conab, 2022). Diante da relevância da cultura no cenário brasileiro e mundial, pesquisas vêm sendo cada vez mais desenvolvidas, inclusive às relacionadas com a produção das sementes em ambiente salino. A exemplo disso, ao estudarem o crescimento inicial do milho, Sousa et al. (2018) avaliaram cinco níveis de salinidade da água de irrigação (1,0; 2,0; 3,0; 4,0 e 5,0 dS m^{-1}) e dois tipos de cobertura da cultura (presença e ausência de cobertura vegetal morta), com análise do efeito dos tratamentos sobre variáveis de crescimento. Os autores verificaram aumento do comprimento da raiz e do número de folhas, com utilização da cobertura vegetal morta e irrigação com baixa ou alta salinidade.

Com o objetivo de estudar a produção de milho sob condições de estresse hídrico e salino, Diniz et al. (2018) avaliaram a germinação, o vigor e a atividade da enzima α -amilase em sementes produzidas sob estresse; para isso, as mesmas foram colhidas em diferentes estádios de desenvolvimento, determinados pela linha de leite (LL), sendo então submetidas ao teste de germinação e vigor (envelhecimento acelerado) e determinação da expressão da α -amilase por eletroforese. Com base nos resultados, a qualidade fisiológica das sementes não foi afetada quando produzidas em solos com condutividade elétrica de 3 dS m^{-1} (condição

considerada estressante para as plantas), além disso, o estresse salino não afetou a atividade da enzima α -amilase em sementes colhidas no estágio de maturação LL5.

Ao estudarem o papel do Na_2SeO_4 na neutralização dos efeitos do estresse salino em arroz (*Oryza sativa* L.), Subramanyam et al. (2019) testaram diferentes modos de sua aplicação nas plantas, com realização de ensaios para verificação da capacidade antioxidante das enzimas superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX), catalase (CAT), glutatona redutase (GR), glutatona peroxidase (GSH-Px) e guaiacol peroxidase (GPOX); também determinaram o conteúdo de prolina livre e clorofila total, bem como, a expressão do gene *OsNHX 1* por PCR quantitativa em tempo real (qRT-PCR). Os autores verificaram que o tratamento referente à combinação de *priming* de sementes e pulverização foliar com selenato de sódio melhorou, significativamente, o desempenho das plantas sob estresse com NaCl, sendo indicada a concentração de 6 mg L^{-1} de Na_2SeO_4 em plantas com duas semanas de idade.

Quatro variedades de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) foram cultivadas sob seis tratamentos de salinidade ($8, 16$ e 32 dS m^{-1} de NaCl e Na_2SO_4) e dois níveis de fertilização (baixo e alto), sendo avaliadas variáveis de qualidade da semente (conteúdo de proteína, dureza e densidade). Foram constatadas diferenças entre as variedades quanto aos tratamentos utilizados e a maior concentração de Na_2SO_4 promoveu aumento no teor de proteína e densidade das sementes, ao passo que, o tratamento com NaCl não ocasionou diferença significativa em tais índices de qualidade (Wu et al., 2016). Trabalhando com a mesma espécie, Fisher et al. (2017) embeberam as sementes em sorbato de potássio $0,07 \text{ M}$ + solução de cloreto de sódio (NaCl) ou sacarose (Suc) e acondicionaram-nas em câmara de crescimento no escuro a $18 \text{ }^\circ\text{C}$ por cinco dias; os autores verificaram que a solução de cloreto de sódio aumentou a porcentagem de germinação, o vigor e a massa fresca dos brotos de quinoa, em comparação com o tratamento com solução de sacarose.

Embora os pseudocereais, como a quinoa, sejam fontes valiosas de nutrientes, são relativamente pouco estudados em termos de desempenho agrônomico e respostas em sua composição à ambientes salinos áridos e hiperáridos (Toderich et al., 2020). Estudando um genótipo de alto rendimento, esses autores constataram que o alto teor de salinidade (mistura de Na_2SO_4 + NaCl) reduziu à altura das plantas em 30%, o peso seco da parte aérea e das raízes em 29%, à altura da panícula e o peso da panícula em 36-43% e a produção média de sementes por planta em 36,6%, em comparação ao controle. Observaram, ainda, que o peso de 1.000 sementes não diminuiu significativamente e que a salinidade do solo não afetou o conteúdo dos aminoácidos Arg, Asx, Glx, His, Phe, Trp e Val/Met, mas aumentou, significativamente, o conteúdo de Gly, Tyr e Pro nas sementes.

Pesquisa sobre germinação de sementes de painço (*Setaria italica* L.) sob estresse salino, desenvolvidas por Zhang et al. (2021) realizaram análise do transcriptoma numa cultivar tolerante e em outra sensível da espécie. No estudo, 100 sementes de cada cultivar foram cuidadosamente distribuídas sobre três camadas de papel filtro, embebido com solução de NaCl ($100, 200$ e 300 mM), sendo que, a cada dois dias as sementes eram transferidas para novas placas contendo as mesmas soluções, até a estabilização do período germinativo.

Encontraram nas análises do transcriptoma 4090 genes responsivos à salinidade (SRGs) por sequenciamento do RNA.

Os efeitos do condicionamento osmótico com nitrato de potássio na germinação e no crescimento inicial de plântulas de trigo (*Triticum aestivum* L.) sob estresse salino foram avaliados; para isso, as sementes foram embebidas em água destilada e em solução contendo 10 g L⁻¹ de KNO₃ à 25 °C, durante 2 horas, e, após secagem, foram distribuídas em caixas plásticas com papel mata-borrão contendo diferentes soluções (0, 25, 50, 75 e 100 mmol L⁻¹) de NaCl. Ao final do experimento, constataram efeitos negativos do estresse salino, os quais podem ser revertidos com o uso de *priming* com nitrato de potássio, tendo em vista que aumento da germinação e vigor de plântulas foi conseguido com uso de sementes tratadas (Steiner et al., 2018).

5 SALINIDADE E SEMENTES DE ESPÉCIES FLORESTAIS DA CAATINGA

No ambiente florestal, diversos fatores influenciam a germinação das espécies, a exemplo da temperatura, luz e salinidade, os quais associados ao excesso ou deficiência hídrica tornam-se imprescindíveis para garantir a uniformidade, velocidade e porcentagem de emergência das plantas em campo (Dutra et al., 2016). O aumento na concentração de sais do solo está associado à redução do seu potencial hídrico e se reflete no processo germinativo das sementes; logo, são relevantes os estudos referentes à germinação e ao desenvolvimento inicial de plântulas de espécies nativas, em especial daquelas utilizadas em recomposição de áreas degradadas (Betoni et al., 2011).

A escassez de recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas envolve aspectos quantitativos e qualitativos, causando restrições quanto ao uso para consumo humano, animal e irrigação (Soares et al., 2020). Nesses locais a pluviosidade é baixa e com distribuição irregular; além disso, as fontes de água existentes têm como característica a alta concentração de sais. Nessas regiões ocorre predomínio da vegetação de Caatinga, a qual é detentora de uma grande biodiversidade, sendo muitas das espécies endêmicas e, em sua maioria, adaptadas às condições intrínsecas do meio.

A germinação e o índice correspondente de velocidade de germinação de sementes submetidas à salinidade são índices eficientes para serem utilizados na avaliação de tolerância de várias espécies, visto que o estabelecimento de plântulas normais é um forte indício quanto ao sucesso de desenvolvimento no meio. Logo, sabendo-se do potencial das espécies florestais da Caatinga, são necessários estudos visando à efetivação da recuperação de áreas degradadas e salinizadas com espécies nativas adaptadas a tais condições (Nogueira et al., 2020).

Os efeitos dos sais no desempenho germinativo de sementes de algumas espécies florestais são conhecidos, com consequências, principalmente, na diminuição da porcentagem e velocidade de germinação, bem como, ação inibidora no embrião, cujo limite de tolerância é variável entre espécies (Silva et al., 2019). No entanto, em virtude de fatores adaptativos, a

exemplo de raízes profundas e folhas modificadas, muitas espécies florestais da Caatinga mostram-se tolerantes aos sais.

Algumas plantas possuem a habilidade de eliminar o excesso de sais, sem prejudicar seriamente a função vital, tornando-se capazes de tolerar, em determinado grau de especificidade, a depender do genótipo e das proporções iônicas na água, os efeitos tóxicos e osmóticos associados ao estresse salino; o fato dessas espécies mais tolerantes conseguirem estabelecer suas plântulas em áreas onde as mais sensíveis não alcançam sucesso na germinação torna-se importante para recomendações de plantio em diversas situações ecológicas, principalmente considerando solos salinos e com baixa disponibilidade hídrica (Rego et al., 2011).

Na literatura encontram-se estudos realizados com a finalidade de se avaliar o efeito causado pelo aumento dos níveis de salinidade da água de irrigação no desenvolvimento de espécies florestais, a exemplo de pinhão-manso (*Jatropha curcas*) (Andréo-Souza et al., 2010), jucá (*Caesalpinia ferrea*) (Freitas et al., 2010), mulungu (*Erythrina velutina*) (Lopes et al. 2019), jurema-de-embira (*Mimosa ophthalmocentra*) (Leal et al., 2015) e catingueira-verdadeira (*Cenostigma pyramidale*) (Matias et al., 2018).

Estudos de germinação podem ser realizados com PEG-6000 (Polietilenoglicol-6000), para simularem variações do potencial osmótico, por ser um composto de alto peso molecular e não interferir na nutrição das plantas. Foi o que realizaram Antunes et al. (2011), ao avaliarem a porcentagem de germinação em sementes de catingueira (*Poincianella pyramidalis*) submetidas a diferentes potenciais osmóticos (0, -0,2, -0,4, -0,6, -0,8, -1,0 e -1,2 MPa). Os autores observaram redução progressiva da germinação quanto mais negativo foi o potencial.

Em seu estudo com sementes de catanduva (*Piptadenia moniliformis*), Matos et al. (2021) avaliaram o desempenho germinativo das sementes em diferentes condições de estresse salino e osmótico, utilizando para isso soluções de NaCl, CaCl₂ e KCl, em diferentes potenciais osmóticos, obtidos com PEG 6000 (0; -0,1; -0,2; -0,4; -0,6 e -0,8 MPa). Constatou-se maior tolerância das sementes nas fases iniciais da germinação quando se utilizou o KCl, ao passo que os níveis crescentes de PEG 6000 geraram reduções significativas na viabilidade das mesmas a partir do potencial osmótico de -0,1 MPa. Sementes dessa mesma espécie mostraram comportamento diferente ao serem submetidas ao hidrocondicionamento e estresse salino por meio de soluções com cloreto de sódio (NaCl) nos potenciais -0,3, -0,6, -0,9 e -1,2 MPa; as mesmas foram pouco afetadas pelos sais, mostrando considerável porcentagem de germinação e origem de plântulas vigorosas até a concentração de -0,9 MPa (Ramalho et al., 2020).

Em sementes de faveiro (*Dimorphandra mollis*), Masetto et al. (2014) avaliaram o efeito do estresse salino com soluções de CaCl₂ e NaCl nos potenciais osmóticos de 0,0 (controle), -0,4, -0,8, -1,5 e -2,0 MPa e o efeito do condicionamento osmótico com soluções de polietilenoglicol (PEG 6000) nos potenciais de 0,0 (controle), -0,3, -0,7, -1,0 e -1,3 MPa; os mesmos observaram sensibilidade da espécie à salinidade ocasionada por NaCl e CaCl₂ a partir de -0,4 MPa, diferentemente do efeito osmótico causado pelo polietilenoglicol, o qual foi eficiente para aumentar a porcentagem e a velocidade de germinação das sementes.

Tratamentos com potenciais osmóticos negativos, obtidos com sais (NaCl, CaCl₂) e com PEG-6000 foram, também, testados em catingueira e em angico (*Anadenanthera colubrina*) por Santos et al. (2016); os autores verificaram que a germinação de ambas as espécies foi mais afetada com uso de CaCl₂ (Tabela 1).

Tabela 1. Porcentagem de germinação de sementes de *Poincianella pyramidalis* (Catingueira) e *Anadenanthera colubrina* (Angico), submetidas a diferentes potenciais osmóticos induzidos pelo cloreto de sódio (NaCl), cloreto de cálcio (CaCl₂) e polietilenoglicol 6000 (PEG 6000).

Porcentagem de Germinação (%)		
Tratamentos	Catingueira	Angico
Controle	90 aA	96 aA
-0,4 MPa NaCl ₂	79 bAB	0 aE
-0,8 MPa NaCl	70 aB	51 bC
-1,2 MPa NaCl	4 aC	3 aE
-0,4 MPa CaCl ₂	84 aAB	65 bBC
-0,8 MPa CaCl ₂	2 aC	0 aE
-1,2 MPa CaCl ₂	0 aC	0 aE
-0,4 MPa PEG	78 aAB	75 aB
-0,8 MPa PEG	18 bC	30 aD
-1,2 MPa PEG	0 aC	0 aE

Letras minúsculas comparam as espécies e maiúsculas os tratamentos. Fonte: Santos et al. (2016)

Diferentes níveis de salinidade (0, 1, 2, 3 e 4g de NaCl L⁻¹) foram testados no estudo da emergência e estabelecimento inicial de plântulas de pau-ferro (*Libidibia ferrea*), correspondendo às condutividades elétricas de 0; 1,7; 3,4; 5,1 e 6,9 dS m⁻¹; com incremento da salinidade na água de irrigação foi verificada redução linear de todas as variáveis analisadas (porcentagem de emergência, índice de velocidade de emergência, número de folhas, altura da planta, diâmetro do caule e índice SPAD), afetando o crescimento da referida espécie (Bezerra et al., 2020).

Nesse contexto, Meiado et al. (2010) analisaram índices germinativos de sementes de mandacaru (*Cereus jamacaru*) em função de fatores ambientais e constataram redução significativa na germinação, quando submetidas ao estresse salino, sendo afetados, também, o tempo médio e índice de velocidade da germinação, o que resultou em processos mais lentos e dessincronizados em concentrações mais elevadas de sais.

De modo diferente, a espécie jurema-branca (*Piptadenia stipulacea*) mostrou-se moderadamente tolerante à salinidade, com bom desenvolvimento em condutividade elétrica de 4,5 dS m⁻¹, sem a ocorrência de perdas significativas na germinação (Nogueira et al., 2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os efeitos negativos da salinidade para as sementes e plantas, especialmente aqueles relacionados à germinação e ao crescimento e rendimento das culturas necessitam cada vez mais de estudos aprofundados capazes de fornecer subsídios acerca da adaptação e do desenvolvimento vegetal em condições de estresse salino, ainda mais em se tratando de espécies com potencial econômico e/ou florestal.

Sabe-se que o processo germinativo e o estabelecimento inicial de plântulas são etapas primordiais no ciclo de vida dos vegetais; desse modo, torna-se um desafio para a comunidade científica a busca por respostas das plantas ao excesso de sais, sejam elas a nível morfológico, fisiológico, bioquímico ou molecular. No caso deste último, a regulação de genes antioxidantes tem demonstrado um potencial adaptativo para a criação de variedades tolerantes à salinidade; associado a isso, as técnicas de melhoramento com vistas ao acesso à diversidade genética existente em muitas espécies podem ser usadas em favor do desenvolvimento de genótipos tolerantes ao sal, podendo a seleção dos indivíduos ter suporte de marcadores específicos.

Por fim, é importante considerar que pesquisas sobre o condicionamento de sementes podem ser uma das alternativas para desencadear os processos fisiológicos de indução da germinação em se tratando de algumas espécies cultivadas em solos salinos, sobretudo, aquelas com relevância econômica e oriundas de genitores florestais

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal da Paraíba e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGAgro), à Universidade Estadual de Feira de Santana, Embrapa Mandioca e Fruticultura, Universidade Federal de Campina Grande e à Universidade Federal do Agreste de Pernambuco. Os autores agradecem, também, à CAPES e ao CNPq, pela concessão de bolsas de estudo.

LITERATURA CITADA

- Acosta-Motos, J. R.; Ortuño, M. F.; Bernal-Vicente, A.; Diaz-Vivancos, P.; Sanchez-Blanco, M. J.; Hernandez, J. A. Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. *Agronomy*, v.7, p.1-38, 2017.
- Ahmed, H. A. A.; Şahin, N. K.; Akdoğan, G.; Yaman, C.; Köm, D.; Uranbey, S. (2020). Variability in salinity stress tolerance of potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties using in vitro screening. *Ciência e Agrotecnologia*, v.44, e004220, 2020.

- Agha, M. S.; Abbas, M. A.; Sofy, M. R.; Haroun, S. A.; Mowafy, A. M. Dual inoculation of *Bradyrhizobium* and *Enterobacter* alleviates the adverse effect of salinity on *Glycine max* seedling. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, v.49, 12461, 2021.
- Ali, Q.; Daud, M. K.; Haider, M. Z.; Ali, S.; Rizwan, M.; Aslam, N.; Zhu, S. J. Seed priming by sodium nitroprusside improves salt tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) by enhancing physiological and biochemical parameters. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.119, p.50-58, 2017.
- Alves, F. A. L.; Ponte, L. F. A.; Ferreira-Silva, S. L.; Maia, J. M.; Silveira, J. A. G da. Germinação e estabelecimento de plântulas de cajueiro-anão precoce (*Anacardium occidentale* L.) em função da salinidade. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.8, p.197-204, 2013.
- Alves, R. C.; Nicolau, M. C. M.; Checchio, M. V.; Sousa Júnior, G. da S.; Oliveira, F. de A.; Prado, R. M.; Gratão, P. L. Salt stress alleviation by seed priming with silicon in lettuce seedlings: an approach based on enhancing antioxidant responses. *Bragantia*, v.79, p.19-29, 2020.
- Ambreen, S.; Athar, H. U. R.; Khan, A.; Zafar, Z. U.; Ayyaz, A.; Kalaji, H. M. Seed priming with proline improved photosystem II efficiency and growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). *BMC Plant Biology*, v.21, p.1-12, 2021. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03273-2>
- Amjad, M.; Ziaf, K.; Iqbal, Q.; Ahmad, I.; Riaz, M. A.; Saqib, Z. A. Effect of seed priming on seed vigour and salt tolerance in hot pepper. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, v.44, p.408-416, 2007.
- An, J.; Hu, P.; Li, F.; Wu, H.; Shen, Y.; White, J. C.; Giraldo, J. P. Emerging investigator series: molecular mechanisms of plant salinity stress tolerance improvement by seed priming with cerium oxide nanoparticles. *Environmental Science: Nano*, v.7, p.2214-2228, 2020.
- Andréo-Souza, Y.; Pereira, A. L.; Silva, F. F. S. da; Riebeiro-Reis, R. C.; Evangelista, M. R. V.; Castro, R. D. de; Dantas, B. F. Efeito da salinidade na germinação de sementes e no crescimento inicial de mudas de pinhão-manso. *Revista Brasileira de Sementes*, v.32, p.83-92, 2010.
- Antunes, C. G. C.; Pelacani, C. R.; Ribeiro, R. C.; Souza, J. V.; Souza, C. L. M.; Castro, R. D. Germinação de sementes de *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (Catingueira) submetidas a deficiência hídrica. *Revista Árvore*, v.35, p.1007-1015, 2011.
- Arzani, A. Improving salinity tolerance in crop plants: a biotechnological view. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, v.44, p.373-383, 2008.

- Ashraf, M.; Rauf, H. Inducing salt tolerance in maize (*Zea mays* L.) through seed priming with chloride salts: Growth and ion transport at early growth stages. *Acta Physiologiae Plantarum*, v.23, p.407-414, 2001. <https://doi.org/10.1007/s11738-001-0050-9>
- Aslam, M.; Ahmad, K.; Akhtar, M. A.; Maqbool, M. A. Salinity stress in crop plants: effects of stress, tolerance mechanisms and breeding strategies for improvement. *Journal of Agriculture and Basic Sciences*, v.2, p.70-85, 2017.
- Aswathi, K. P.; Kalaji, H. M.; Puthur, J. T. Seed priming of plants aiding in drought stress tolerance and faster recovery: a review. *Plant Growth Regulation*, v.97, n.235-253, 2021.
- Ayers, R. S.; Westcot, D. N. A qualidade da água na agricultura. 2.ed. Campina Grande: UFPB, FAO. (Estudos de irrigação e drenagem, 29 revisado). 1999. 153p.
- Begum, N.; Hasanuzzaman, M.; Li, Y.; Akhtar, K.; Zhang, C.; Zhao, T. Seed germination behavior, growth, physiology and antioxidant metabolism of four contrasting cultivars under combined drought and salinity in soybean. *Antioxidants*, v.11, p.1-23, 2022.
- Betoni, R.; Scalon, S. D. P. Q.; Mussury, R. M. Salinity and temperature in the germination and vigor of *Guazuma ulmifolia* Lam. (Sterculiaceae) seeds. *Revista Árvore*, v.35, p.605-616, 2011.
- Bewley, J. D.; Black, M. Seeds: physiological of developmente and germination. 1th ed. Plenum press, New York. 1994. 445p.
- Bezerra, L. T.; Santos, A. R. C. da S.; Farias, A. dos S.; Souto, P. C.; Ferreira, V. M.; Araújo Neto, J. C de. Emergência e crescimento inicial de plântulas de *Libidibia ferrea* (Mart. exTul.) em diferentes níveis de salinidade na água de irrigação. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v.3, p.1126-1140, 2020.
- Campos, I. S.; Assunção, M. V. Efeito do cloreto de sódio na germinação e vigor de plântulas de arroz. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.25, p.837-843, 1990.
- Carrillo-Reche, J.; Newton, A.; Quilliam, R. Using seed respiration as a tool for calculating optimal soaking times for 'on-farm' seed priming of barley (*Hordeum vulgare*). *Seed Science Research*, v.31, p.116-124, 2021. <https://doi.org/10.1017/S0960258521000039>
- Carvalho, N. M.; Nakagawa, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 4. ed. Funep: Jaboticabal, 2012. 590 p.
- Cavalcante, L. F.; Andrade, R.; Mendonça, R. M. N.; Silva, S. M.; Oliveira, M. R. T.; Araújo, F. A. R.; Cavalcante, I. H. L. Caracterização qualitativa de frutos de maracujá-amarelo (*Passiflora*

- edulis* f. *flavicarpa* Deg.) em função da salinidade da água de irrigação. *Agropecuária Técnica*, v.24, p.39-45, 2003.
- Chen, G.; Zheng, D.; Feng, N.; Zhou, H.; Mu, D.; Zhao, L.; Shen, X.; Rao, G.; Meng, F.; Huang, A. Physiological mechanisms of ABA-induced salinity tolerance in leaves and roots of rice. *Scientific Reports*, v.12, p.8228, 2022. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11408-0>
- Chen, L.; Liu, L.; Lu, B.; Ma, T.; Jiang, D.; Li, J.; Zhang, K.; Sun, H.; Zhang, Y.; Bai, Z.; Li, C. Exogenous melatonin promotes seed germination and osmotic regulation under salt stress in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Plos One*, v.15, e0228241, 2020.
- Chen, L.; Lu, B.; Liu, L.; Duan, W.; Jiang, D.; Li, J.; Zhang, K.; Sun, H.; Zhang, Y.; Li, C.; Bai, Z. Melatonin promotes seed germination under salt stress by regulating ABA and GA₃ in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, v.162, p.506-516, 2021.
- Chen, X.; Zhang, R.; Xing, Y.; Jiang, B.; Li, B.; Xu, X. The efficacy of different seed priming agents for promoting sorghum germination under salt stress. *Plos One*, v.16, e0245505, 2021.
- Cheng, B.; Li, Z.; Liang, L.; Cao, Y.; Zeng, W.; Zhang, X.; Peng, Y. The γ -aminobutyric acid (GABA) alleviates salt stress damage during seeds germination of white clover associated with Na⁺/K⁺ transportation, dehydrins accumulation, and stress-related genes expression in white clover. *International Journal of Molecular Sciences*, v.19, p.2520, 2018.
- Chourasia, K. N.; Lal, M. K.; Tiwari, R. K.; Dev, D.; Kardile, H. B.; Patil, V. U.; Kumar, A.; Vanishree, G.; Kumar, D.; Bhardwaj, V.; Meena, J. K.; Vikas, M.; Shelake, R. M.; Kim, J. Y.; Pramanik, D. Salinity stress in potato: understanding physiological, biochemical and molecular responses. *Life*, v.11, p.545, 2021. <https://doi.org/10.3390/life11060545>
- Conab. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileiro – grãos. Quinto Levantamento, fevereiro de 2022, safra 2021/22. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>
- Cruz, V. D. S. da; Yamashita, O. M.; Karsburg, I. V.; Carvalho, M. A. C. de; Dallacort, R.; Rossi, A. A. B.; Silva, I. V. da. Efeito da salinidade na germinação e desenvolvimento de plântulas de *Ochroma pyramidale*. *Nativa*, v.8, p.239-245.
- Dehnavi, A. R.; Zahedi, M.; Ludwiczak, A.; Cardenas Perez, S.; Piernik, A. Effect of salinity on seed germination and seedling development of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes. *Agronomy*, v.10, p.859, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060859>

- Dias, N. S.; Blanco, F. F.; Souza, E. R.; Ferreira, J. F. S.; Sousa Neto, O. N.; Queiroz, I. S. R. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza-CE: INCTSal, 2016. Cap. 11, p.151-162.
- Diniz, R. P.; Von Pinho, I. V.; Paniago, B. da C.; Von Pinho, E. V. de R.; Santos, H. O. dos; Von Pinho, R. G.; Caldeira, C. M. Qualidade fisiológica e expressão de alfa-amilase em sementes de milho produzidas em condições de estresse salino e hídrico. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.17, p.37-48, 2018.
- Dogan M. Effect of salt stress on *in vitro* organogenesis from nodal explant of *Limnophila aromatica* (Lamk.) Merr. and *Bacopa monnieri* (L.) Wettst. and their physio-morphological and biochemical responses. Physiology and Molecular Biology of Plants, v.26, p.803-816, 2020.
- Duan, C. G.; Zhu, J. K.; Cao, X. Retrospective and perspective of plant epigenetics in China. Journal of Genetics and Genomics v.45, p.621-638, 2018.
- Dutra, A. F.; Araujo, M. M.; Rorato, D. G.; Mieth, P. Germinação de sementes e emergência de plântulas de *Luehea divaricata* Mart. et. Zucc. em diferentes substratos. Ciência Florestal, v.26, p.411-418, 2016. <https://doi.org/10.5902/1980509822744>
- Dutra, T. R.; Massad, M. D.; Moreira, P. R.; Ribeiro, E. S. M. Efeito da salinidade na germinação e crescimento inicial de plântulas de três espécies arbóreas florestais. Pesquisa Florestal Brasileira, v.37, p.323-330, 2017. <https://doi.org/10.4336/2017.pfb.37.91.1447>
- El-Fattah, A. B. E. S.; Haridy, A. G.; Abbas, H. S. Response to planting date, stress tolerance and genetic diversity analysis among okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench.) varieties. Genet Resources and Crop Evolution, v.67, p.831-851, 2020.
- El-Moukhtari, A.; Cabassa-Hourton, C.; Farissi, M.; Savouré, A. How does proline treatment promote salt stress tolerance during crop plant development?. Frontiers in Plant Science, v.11, p.1127, 2020.
- Fang, Y.; Li, J.; Jiang, J.; Geng, Y.; Wang, J.; Wang, Y. Physiological and epigenetic analyses of *Brassica napus* seed germination in response to salt stress. Acta Physiologiae Plantarum, v.39, p.1-12, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11738-017-2427-4>
- FAO – Food and Agriculture Organization. The world map of salt-affected soils. 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/global-soil-partnership/gasmap/en>. Acesso em: 10 de julho 2024.

- Farooq, M.; Gogoi, N.; Hussain, M.; Barthakur, S.; Paul, S.; Bharadwaj, N.; Migdadi, H. M.; Alghamdi, S. S.; Siddique, K. H. M. Effects, tolerance mechanisms and management of salt stress in grain legumes. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.118, p.199-217, 2017.
- Feghhenabi, F.; Hadi, H.; Khodaverdiloo, H.; Van Genuchten, M. T. Seed priming alleviated salinity stress during germination and emergence of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agricultural Water Management*, v. 231, p.106022, 2020.
- Ferreira, W. N.; Lacerda, C. F. de; Costa, R. C. da; Filho, S. M. Effect of water stress on seedling growth in two species with different abundances: the importance of stress resistance syndrome in seasonally dry tropical forest. *Acta Botanica Brasilica*, v.29, p.375-382, 2015.
- Fischer, S.; Wilckens, R.; Jara, J.; Aranda, M.; Valdivia, W.; Bustamante, L.; Graf, F.; Obal, I. Protein and antioxidant composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) sprout from seeds submitted to water stress, salinity and light conditions. *Industrial Crops and Products*, v.107, p.558-564, 2017.
- Freitas, R. M. O. de; Nogueira, N. W.; Oliveira, F. N. de; Costa, E. M. da; Ribeiro, M. C. C. Efeito da irrigação com água salina na emergência e crescimento inicial de plântulas de Jucá. *Revista Caatinga*, v.23, p.54-58, 2010.
- Ghosh, A.; Pareek, A.; Singla-Pareek, S. L. Leaf disc stress tolerance assay for tobacco. *Bio-protocol*, v.5, e1440, 2015. <https://doi.org/10.21769/BioProtoc.1440>
- Gill, S. S.; Tuteja, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.48, p.909-930.
- Goldshleger, N.; Chudnovsky, A.; Ben-Binyamin, R. Predicting salinity in tomato using soil reflectance spectra. *International Journal of Remote Sensing*, v.34, p.6079-6093, 2013.
- Grigore, M. N.; Villanueva, M.; Boscaiu, M, Vicente, O. Do halophytes really require salts for their growth and development? An experimental approach. *Notulae Scientia Biologicae*, v.4, p.23-29, 2012. <https://doi.org/10.15835/nsb427606>
- Hakim, M. A.; Juraimi, A. S.; Begum, M.; Hanafi, M. M.; Ismail, M. R.; Selamat, A. Effect of salt stress on germination and early seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.). *African Journal of Biotechnology*, v.9, p.1911-1918, 2010. <https://doi.org/10.5897/AJB09.1526>
- Harir, Y.; Mittler, R. The ROS Signaling Network of Cells. In: Del Rio, L. A.; Puppo, A. *Reactive oxygen species in plants signaling*. Berlin: Springer-Verlag, 2009. Cap. 10, p.165-174.

- Harter, L. S. H.; Harter, F. S.; Deuner, C.; Meneghello, G. E.; Villela, F. A. Salinidade e desempenho fisiológico de sementes e plântulas de mogango. *Horticultura Brasileira*, v.32, p.80-85, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362014000100013>
- Hasanuzzaman, M.; Borhannuddin-Bhuyan, M. H. M.; Zulfiqar, F.; Raza, A.; Mohsin, S. M.; Mahmud, J. A.; Fujita, M.; Fotopoulos, V. Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: revisiting the crucial role of a universal defense regulator. *Antioxidants*, v.9, p.681, 2020. <https://doi.org/10.3390/antiox9080681>
- Hussain, S.; Ali, B.; Saqib, M. Seed priming to enhance salt and drought stress tolerance in plants: advances and prospects. *Climate Change and Crop Stress*, p.441-464, 2022.
- Hussain, S.; Khaliq, A.; Tanveer, M.; Matloob, A.; Hussain, H. A. Aspirin priming circumvents the salinity-induced effects on wheat emergence and seedling growth by regulating starch metabolism and antioxidant enzyme activities. *Acta Physiologiae Plantarum*, v.40, p.68, 2018.
- Ibrahim, E. A. Seed priming to alleviate salinity stress in germinating seeds. *Journal of Plant Physiology*, v.192, p.38-46, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.12.011>
- Inocente, M. C.; Barbedo, C. J. Germination of *Eugenia brasiliensis*, *E. involucrata*, *E. pyriformis*, and *E. uniflora* (Myrtaceae) under water-deficit conditions. *Journal of Seed Science*, v.41, p.76-85, 2019.
- Iqbal, M.; Ashraf, M. Wheat seed priming in relation to salt tolerance: growth, yield and levels of free salicylic acid and polyamines. *Annales Botanici Fennici*, v.43, p.250-259, 2006.
- Isayenkov, S. V.; Maathuis, F. J. M. Plant Salinity stress: many unanswered questions remain. *Frontiers in Plant Science*, v.10, p.1-11, 2019. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00080>
- Ismail, A. M.; Horie, T. Genomics, physiology, and molecular breeding approaches for improving salt tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, v.68, p.405-434, 2017.
- Jabeen, Z.; Fayyaz, H. A.; Irshad, F.; Hussain, N.; Hassan, M. N.; Li, J.; Rehman, S.; Haider, W.; Yasmin, H.; Mumtaz, S.; Bukhari, S. A. H.; Khalofah, A.; Al-Qthanin, R. N.; Alsubeie, M. S. Sodium nitroprusside application improves morphological and physiological attributes of soybean (*Glycine max* L.) under salinity stress. *Plos One*, v.16, p.1-15, 2021.
- Jakovljević, D. Z.; Topuzović, M. D.; Stanković, M. S.; Bojović, B. M. Changes in antioxidant enzyme activity in response to salinity-induced oxidative stress during early growth of sweet basil. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, v.58, p.240-246, 2017.

- Jaleel, C. A.; Manivannan, P.; Wahid, A.; Farooq, M.; Al-Juburi, H. J.; Somasundaram, R.; Pannierselvam, R. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture & Biology*, v.11, p.100-105, 2009.
- Jamil, A.; Riaz, S.; Ashraf, M.; Foolad, M. R. Gene expression profiling of plants under salt stress. *Critical Reviews in Plant Sciences*, v.30, p.435-458, 2011.
- Jin, X.; Chen, X.; Xiao, L.; Shi, C.; Chen, L.; Yu, B.; Yamada, T. Application of visible and near-infrared spectroscopy to classification of *Miscanthus* species. *Plos One*, v.12, e0171360, 2017a.
- Jin, X.; Shi, C.; Yu, C. Y.; Yamada, T.; Sacks, E. J. Determination of leaf water content by visible and near-infrared spectrometry and multivariate calibration in *Miscanthus*. *Frontiers in Plant Science*, v.8, p.721, 2017b. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00721>
- Jisha, K. C.; Vijayakumari, K.; Puthur, J. T. Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. *Acta Physiologiae Plantarum*, v.35, p.1381-139, 2013.
- Johnson, R.; Puthur, J. T. Seed priming as a cost effective technique for developing plants with cross tolerance to salinity stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.162, p.247-257, 2021.
- Kakar, N.; Jumaa, S. H.; Redoña, E. D.; Warburton, M. L.; Reddy, K. R. Evaluating rice for salinity using pot-culture provides a systematic tolerance assessment at the seedling stage. *Rice*, v.12, p.1-14, 2019. <https://doi.org/10.1186/s12284-019-0317-7>
- Kan, G.; Zhang, W.; Yang, W.; Ma, D.; Zhang, D.; Hao, D.; Yu, D. Association mapping of soybean seed germination under salt stress. *Molecular Genetics and Genomics*, v.290, p.2147-2162, 2015.
- Karan, R.; Deleon, T.; Biradar, H.; Subudhi, P. K. Salt stress induced variation in DNA methylation pattern and its influence on gene expression in contrasting rice genotypes. *Plos One*, v.7, e40203, 2012. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040203>
- Kubala, S.; Wojtyła, Ł.; Quinet, M.; Lechowska, K.; Lutts, S.; Garnczarska, M. Enhanced expression of the proline synthesis gene P₅CSA in relation to seed osmopriming improvement of *Brassica napus* germination under salinity stress. *Journal of Plant Physiology*, v.183, p.1-12, 2015.
- Lai, Y.; Zhang, D.; Wang, J.; Wang, J.; Ren, P.; Yao, L.; Wang, H. Integrative transcriptomic and proteomic analyses of molecular mechanism responding to salt stress during seed germination in hullless barley. *International Journal of Molecular Sciences*, v.21, p.359, 2020.

- Leal, C. C. P.; Torres, S. B.; Nogueira, N. W.; Freitas, R. M. O. de; Farias, R. M. de. Emergence and early development of seedlings of *Mimosa ophthalmocentra* Mart. ex Benth. irrigated with brackish water. *Bioscience Journal*, v.31, p.759-766, 2015.
- Lemes, E. S.; Meneghello, G. E.; Oliveira, S. de; Mendonça, A. O. de; Neves, E. H. das; Aumonde, T. Z. Salinidade na cultura do arroz irrigado: características agronômicas e qualidade de sementes. *Revista de Ciências Agrárias*, v.41, p.1001-1010, 2018.
- Li, X.; Guo, D.; Xue, M.; Li, G.; Yan, Q.; Jiang, H.; Liu, H.; Chen, J.; Gao, Y.; Duane, L.; Xie, L. Genome-Wide Association Study of Salt Tolerance at the Seed Germination Stage in Flax (*Linum usitatissimum* L.). *Genes*, v.13, p.486, 2022. <https://doi.org/10.3390/genes13030486>
- Li, Y.; Liang, L.; Li, W.; Ashraf, U.; Ma, L.; Tang, X.; Pan, S.; Tian, H.; Mo, Z. ZnO nanoparticle-based seed priming modulates early growth and enhances physio-biochemical and metabolic profiles of fragrant rice against cadmium toxicity. *Journal of Nanobiotechnology*, v.19, p.1-19, 2021.
- Liang, X.; Zhang, L.; Natarajan, S. K.; Becker, D. F. Proline mechanisms of stress survival. *Antioxid Redox Signal*, v.19, p.998-1011, 2013. <https://doi.org/10.1089/ars.2012.5074>
- Lima, L. K. da S.; Jesus, O. N. de; Soares, T. L.; Santos, I. S. dos; Oliveira, E. J. de; Coelho-Filho, M. A. Growth, physiological, anatomical and nutritional responses of two phenotypically distinct passion fruit species (*Passiflora* L.) and their hybrid under saline conditions. *Scientia Horticulturae*, v.263, p. 109037, 2020.
- Liu, X.; Quan, W.; Bartels, D. Stress memory responses and seed priming correlate with drought tolerance in plants: an overview. *Planta*, v.255, p.45, 2022.
- Lopes, M. de F. de Q.; Silva, T. I. da; Nóbrega, J. S.; Silva, R. T. da.; Figueiredo, F. R. A.; Bruno, R. de L. A. Crescimento de *Erythrina velutina* Willd., submetida a estresse salino e aplicação de ácido salicílico. *Colloquium Agrariae*, v.15, p.31-38, 2019.
- Lugassi, R.; Goldshleger, N.; Chudnovsky, A. Studying vegetation salinity: from the field view to a satellite-based perspective. *Remote Sensing*, v.9, p.1-16, 2017.
- Lugassi, R.; Zaady E.; Goldshleger, N.; Shoshany, M.; Chudnovsky, A. Spatial and temporal monitoring of pasture ecological quality: sentinel-2-based estimation of crude protein and neutral detergent fiber contents. *Remote Sensing*, v.11, p.1-28, 2019.
- Lutts, S.; Benincasa, P.; Wojtyła, L.; Kubala, S.; Pace, R.; Lechowska, K.; Garnczarska, M. Seed priming: new comprehensive approaches for an old empirical technique. *New Challenges*

- in Seed Biology-Basic and Translational Research Driving Seed Technology. In: Araújo, S.; Balestrazzi, A. New Challenges in Seed Biology: Basic and Translational Research Driving Seed Technology. BoD–Books on Demand, 2016. Cap.1, p. 1-46.
- M'sehli, W.; Kallala, N.; Jaleli, K.; Bouallegue, A.; Mhadhbi, H. Monopotassium phosphate (KH_2PO_4) and salicylic acid (SA) as seed priming in *Vicia faba* L. and *Vicia sativa* L. Bioscience Journal, v.36, n.6, p.2078-2091, 2020.
- Mansour, M. M. F.; Ali, E. F.; Salama, K. H. A. Does seed priming play a role in regulating reactive oxygen species under saline conditions?. In: Hasanuzzaman, M.; Fotopoulos, V.; Nahar, K.; Fujita, M. Reactive oxygen, nitrogen and sulfur species in plants: production, metabolism, signaling and defense mechanisms. John Wiley & Sons, 2019. Cap.18, p. 437-488.
- Marconi, G.; Pace, R.; Traini, A.; Raggi, L.; Lutts, S.; Chiusano, M.; Guiducci, M.; Falcinelli, M.; Benincasa, P.; Albertini, E. Use of MSAP markers to analyse the effects of salt stress on DNA methylation in rapeseed (*Brassica napus* var. *oleifera*). Plos One, v.8, e75597, 2013.
- Marin, K.; Suzuki, I.; Yamaguchi, K.; Ribbeck, K.; Yamamoto, H.; Kanesaki, Y.; Murata, N. Identification of histidine kinases that act as sensors in the perception of salt stress in *Synechocystis* sp. PCC 6803. Proceedings of the National Academy of Sciences, v.100, p.9061-9066, 2003.
- Masetto, T. E.; Scalon, S. de P. Q.; Rezende, R. K. S.; Oba, G. C.; Gambatti, M.; Patrício, V. S. Germinação de sementes de *Dimorphandra mollis* Benth.: efeito de salinidade e condicionamento osmótico. Revista Brasileira de Biociências, v.12, p.127-131, 2014.
- Matias, J. R.; Torres, S. B.; Freire, J. N. T.; Alencar, S. S.; Dantas, B. F. Germinação de sementes de *Cenostigma pyramidale* sob diferentes temperaturas e salinidades. Informativo Abrates, v.18, p.115-118, 2018.
- Matos, D. C. P.; Farias, S. G. G.; Sousa, M. B.; Santos, G. N. L.; Silva, R. F.; Silva, D. Y. B. O.; Bezerra e Silva, R. Germinação e vigor de sementes de *Pityrocarpa moniliformis* (Benth.) Luckow & R. W. Jobson sob condições de estresse salino e hídrico. In: Oliveira, R. J. Águas e florestas: desafios para conservação e utilização. Guarujá-SP, Editora Científica, 2021. Cap. 19, p.277-291.
- Meiado, M. V.; Albuquerque, L. S. C. de; Rocha, E. A.; Rojas-Aréchiga, M.; Leal, I. R. Seed germination reponses of *Cereus jamacaru* DC. ssp. *jamacaru* (Cactaceae) to environmental factors. Plant Species Biology. v.25 p.120-128, 2010.

- Mirouze, M.; Paszkowski, J. Epigenetic contribution to stress adaptation in plants. *Current Opinion in Plant Biology*, v.14, p.267-274, 2011.
- Mokhtari, M. H.; Sodaeezadeh, H. R.; Hakimzadeh, M. A.; Tarighat, F. Application of visible and near-infrared spectrophotometry for detecting salinity effects on wheat leaves (*Triticum aestivum* L.). *Agricultural Engineering International: The CIGR e-Journal*, v.16, p.35-42, 2014.
- Moura, R. D. S.; Soares, T. L.; Lima, L. K. da S.; Gheyi, H. R.; Jesus, O. N. de; Coelho-Filho, M. A. Salinity-induced changes in biometric, physiological and anatomical parameters of *Passiflora edulis* Sims plants propagated by different methods. *Archives of Agronomy and Soil Science*, v.66, p.1692-1706, 2020.
- Moustafá, E. S.; Ali, M. M.; Kamara, M. M.; Awad, M. F.; Hassanin, A. A.; Mansour, E. Field screening of wheat advanced lines for salinity tolerance. *Agronomy*, v.11, p.281, 2021.
- Mwando, E.; Han, Y.; Angessa, T. T.; Zhou, G.; Hill, C. B.; Zhang, X. Q.; Li, C. Genome-wide association study of salinity tolerance during germination in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Frontiers in Plant Science*, v.11, p.1-15, 2020.
- Nawar, S.; Buddenbaum, H.; Hill, J. Estimation of soil salinity using three quantitative methods based on visible and near-infrared reflectance spectroscopy: a case study from Egypt. *Arabian Journal of Geosciences*, v.8, p.5127-5140, 2015.
- Negrão, S.; Schmöckel, M.; Tester, M. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Annals of Botany*, v.119, p.1-11, 2017.
- Nóbrega, J. S.; Lopes, K. P.; Gomes, C. D. L.; Sá, J. M. de; Oliveira, O. H. de; Paiva, F. J. da S. Seed quality and vigor of germination of *Moringa oleífera* Lam. in saline stress. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 64, e21210106, 2021.
- Nóbrega, J. S.; Lopes, K. P.; Paiva, F. J. da S.; Silva, J. G. da; Dantas, M. V. Potencial fisiológico de sementes de melão pepino submetidas a salinidade. *Research, Society and Development*, v.9, e31973735, 2020.
- Nogueira, N. W.; Freitas, R. M. O.; Leal, C. C. P.; Torres, S. B. Estresse salino na emergência e desenvolvimento inicial de plântulas de jurema-branca. *Advances in Forestry Science*, v.7, p.1081-1087, 2020.
- Nunes, L. R. D. L.; Pinheiro, P. R.; Cabral, F. A. S.; Silva, J. B. da; Dutra, A. S. Ascorbic acid of cowpea seeds under saline stress. *Journal of Seed Science*, v.41, p.441-451, 2019.

- Oliveira, G. M. de; Silva, F. F. S. da; Araujo, M. do N.; Costa, D. C. C. da; Gomes, S. E. V.; Matias, J. R.; Angelotti, F.; Cruz, C. R. P.; Seal, C. E.; Dantas, B. F. Environmental stress, future climate, and germination of *Myracrodruon urundeuva* seeds. *Journal of Seed Science*, v.41, p.032- 043, 2019.
- Padilha, M. S.; Coelho, C. M. M.; Ehrhardth-Brocardo, N. M. Vigor and alpha-amylase activity in common bean seeds under salt stress conditions. *Semina: Ciências Agrárias*, v.42, p.3633-3650, 2021.
- Pinheiro, D. T.; Silva, A. L.; Silva, L. J.; Sekita, M. C.; Dias, D. C. F. S. Germination and antioxidant action in melon seeds exposed to salt stress. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.46, p.336-342, 2016.
- Ramalho, L. B.; Benedito, C. P.; Pereira, K. T. O.; Silva, L. C. N.; Medeiros, H. L. de S. Hidrocondicionamento de sementes de *Piptadenia moniliformis* Benth. e seus efeitos sobre a tolerância ao estresse salino. *Ciência Florestal*, v.30, p.221-230, 2020.
- Rasel, M.; Tahjib-Ul-Arif, M.; Hossain, M. A.; Hassan, L.; Farzana, S.; Brestic, M. Screening of salt-tolerant rice landraces by seedling stage phenotyping and dissecting biochemical determinants of tolerance mechanism. *Journal of Plant Growth Regulation*, v.40, p.1853-1868, 2021.
- Raza, A. Eco-physiological and biochemical responses of rapeseed (*Brassica napus* L.) to abiotic stresses: consequences and mitigation strategies. *Journal Plant Growth Regulation*, v.40, p.1368-1388, 2021.
- Rego, S. S.; Ferreira, M. M.; Nogueira, A. C.; Grossi, F.; Sousa, R. K. de; Brondani, G. E.; Araujo, M. A.; Silva, A. L. L. da; Estresse hídrico e salino na germinação de sementes de *Anadenanthera colubrina* (Veloso) Brenan. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, v.2, p.37-42, 2011.
- Rehman, H. U.; Alharby, H. F.; Bamagoos, A. A.; Abdelhamid, M. T.; Rady, M. M. Sequenced application of glutathione as an antioxidant with an organic biostimulant improves physiological and metabolic adaptation to salinity in wheat. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.158, p.43-52, 2021.
- Rejeb, K. B.; Abdelly, C.; Savouré, A. How reactive oxygen species and proline face stress together. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.80, p.278-284, 2014.
- Romero-Romero, J. L.; Inostroza-Blancheteau, C.; Reyes-Díaz, M.; Matte, J. P.; Aquea, F.; Espinoza, C.; Arce-Johnson, P. Increased drought and salinity tolerance in *Citrus aurantifolia*

- (Mexican lemon) plants overexpressing arabidopsis CBF3 gene. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v.20, p.244-252, 2020.
- Roy, S.; Chakraborty, U. Screening of salt-tolerance potential of some native forage grasses from the eastern part of Terai-Duar grasslands in India. *Tropical Grasslands-Forrajés Tropicales*, v.5, p.129-142, 2017.
- Sadak, M. S.; Abd El-Hameid, A. R. Zaki, F. S. A.; Dawood, M. G.; El-Awadi, M. E. Physiological and biochemical responses of soybean (*Glycine max* L.) to cysteine application under sea salt stress. *Bulletin of the National Research Centre*, v.44, p.1-10, 2020.
- Saddhe, A. A.; Mishra, A. K.; Kumar, K. Molecular insights into the role of plant transporters in salt stress response. *Physiologia Plantarum*, v.173, p.1-14, 2021.
- Sagervanshi, A.; Naeem, A.; Geilfus, C. M.; Kaiser, H.; Mühling, K. H. One-time abscisic acid priming induces long-term salinity resistance in *Vicia faba*: Changes in key transcripts, metabolites, and ionic relations. *Physiologia Plantarum*, v.172, p.146-161, 2021.
- Samota, M. K.; Sasi, M.; Singh, A. Impact of seed priming on proline content and antioxidant enzymes to mitigate drought stress in rice genotype. *International Journal of Current Microbiology Applied Sciences*, v.6, p.2459-2466, 2017.
- Santos, C. A. dos; Silva, N. V. da; Walter, L. S.; Silva, E. C. A. da; Nogueira, R. J. M. C. Germinação de duas espécies da Caatinga sob déficit hídrico e salinidade. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v.36, p.219-224, 2016.
- Santos, T. B. dos; Ribas, A. F.; Souza, S. G. H. de; Budzinski, I. G. F.; Domingues, D. S. Physiological responses to drought, salinity, and heat stress in plants: a review. *Stresses*, v.2, p.113-135, 2022.
- Santos, R. S. M. dos; Soares, T. L.; Lima, L. K. da S.; Gheyi, H. R.; Dias, E. de A.; Jesus, O. N. de; Coelho-Filho, M. A. Effects of salinity on growth, physiological and anatomical traits of *Passiflora* species propagated from seeds and cuttings. *Brazilian Journal of Botany*, v.44, p.17-32, 2020.
- Savouré, A.; Hua, X. J.; Bertauche, N.; Montagu, M. V.; Verbruggen, N. Abscisic acid-independent and abscisic acid-dependent regulation of proline biosynthesis following cold and osmotic stresses in *Arabidopsis thaliana*. *Molecular and General Genetics MGG*, v.254, p.104-109, 1997.

- Sayar, R.; Bchini, H.; Moshabi, M.; Ezzine, M. Effect of salt and drought stress on germination, emergence and seedling growth of durum wheat (*Triticum durum* Desf.). African Journal of Agricultural Research, v.5, p.2008-2016, 2010.
- Sen, A.; Puthur, J. T. Seed priming-induced physiochemical and molecular events in plants coupled to abiotic stress tolerance: an overview. In: Hossain, M. A.; Liu, F.; Burritt, D.; Fujita, M.; Huang, B. Priming-mediated stress and cross-stress tolerance in crop plants, London: Elsevier, UK, 2020. p.303-316.
- Sheteiwy, M. S.; Shao, H.; Qi, W.; Daly, P.; Sharma, A.; Shaghaleh, H.; Hamound, Y. A.; El-Esawi, M. A.; Pan, R.; Wan, Q.; Lu, H. Seed priming and foliar application with jasmonic acid enhance salinity stress tolerance of soybean (*Glycine max* L.) seedlings. Journal of the Science of Food and Agriculture, v.101, n.5, p.2027-2041, 2020.
- Silva, D. C. da; Alves, E. U.; Santos-Moura, S. da S.; Ursulino, M. M.; Araújo, L. R de. Estresse salino e diferentes temperaturas alteram a fisiologia em sementes de *Clitoria fairchildiana* Howard. Ciência Florestal, v.29, p.1129-1141, 2019.
- Singroha, G.; Kumar, S.; Gupta, O. P.; Singh, G. P.; Sharma, P. Uncovering the epigenetic marks involved in mediating salt stress tolerance in plants. Frontiers in Genetics, v.13, p.811732-811732, 2022.
- Sivakumar, J.; Prashanth, J. E. P.; Rajesh, N.; Reddy, S. M.; Pinjari, O. B. Principal component analysis approach for comprehensive screening of salt stress-tolerant tomato germplasm at the seedling stage. Journal of Biosciences, v.45, p.1-112020.
- Soares, L. A. dos A.; Fernandes, P. D.; Lima, G. S. de; Gheyi, H. R.; Nobre, R. G.; Sá, F. V. da S.; Moreira, R. C. L. Saline water irrigation strategies in two production cycles of naturally colored cotton. Irrigation Science, v.38, p.401-413, 2020.
- Soares Filho, W. D. S. S.; Gheyi, H. R.; Brito, M. E.; Nobre, R. G.; Fernandes, P. D.; Miranda, R. D. S. Melhoramento genético e seleção de cultivares tolerantes à salinidade. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados, Fortaleza: INCT Sal, 2016. Cap.17, p.1-16.
- Soliman, M.; Elkelish, A.; Souad, T. Brassinosteroid seed priming with nitrogen supplementation improves salt tolerance in soybean. Physiology and Molecular Biology of Plants, v.26, p.501-511, 2020.

- Sousa, G. G. de; Rodrigues, V. dos S.; Sales, J. R. Da S.; Cavalcante, F.; Silva, G. L. da; Leite, K. N. Estresse salino e cobertura vegetal morta na cultura do milho. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.12, p.3078-3089, 2018.
- Steiner, F.; Zuffo, A. M.; Oliveira, C. E. S. da; Honda, G. B.; Machado, J. S. Potassium nitrate priming mitigates salt stress on wheat seedlings. *Revista de Ciências Agrárias*, v.41, p.989-1000, 2018.
- Subramanyam, K.; Du Laing, G.; Van Damme, E. J. M. Sodium selenate treatment using a combination of seed priming and foliar spray alleviates salinity stress in rice. *Frontiers in Plant Science*, v.10, p.116, 2019.
- Taha, R. S.; Seleiman, M. F.; Alotaibi, M.; Alhammad, B. A.; Rady, M. M.; Mahdi, A. H. A. Exogenous potassium treatments elevate salt tolerance and performances of *Glycine max* L. by boosting antioxidant defense system under actual saline field conditions. *Agronomy*, v.10, p.1741, 2020.
- Talbert, P. B.; Henikoff, S. Histone variants at a glance. *Journal of Cell Science*, v.134, jcs244749, 2021.
- Toderich, K. N.; Mamadrahimov, A. A.; Khaitov, B. B.; Karimov, A. A.; Soliev, A. A.; Nanduri, K. R.; Shuyskaya, E. V. Differential impact of salinity stress on seeds minerals, storage proteins, fatty acids, and squalene composition of new quinoa genotype, grown in hyper-arid desert environments. *Frontiers in Plant Science*, v.11, p.607102, 2020.
- Tran, L. S. P.; Urao, T.; Qin, F.; Maruyama, K.; Kakimoto, T.; Shinozaki, K.; Yamaguchi-Shinozaki, K. Functional analysis of AHK1/ATHK1 and cytokinin receptor histidine kinases in response to abscisic acid, drought, and salt stress in *Arabidopsis*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v.104, p.20623-20628, 2007.
- Tuan, P. A.; Sun, M.; Nguyen, T. N.; Park, S.; Ayele, B. T. Molecular mechanisms of seed germination. In: Feng, H.; Nemzer, B.; DeVries, J. W. *Sprouted Grains: nutritional value, production, and applications*. AACC International Press. 2019. Cap.1, p.1-24.
- Uzair, M.; Ali, M.; Fiaz, S.; Attia, K.; Khan, N.; Al-Doss, A. A.; Khan, M. R.; Ali, Z. The characterization of wheat genotypes for salinity tolerance using morpho-physiological indices under hydroponic conditions. *Saudi Journal of Biological Sciences*, v.29, p.103299, 2022.
- Wang, J.; Ding, J.; Abulimiti, A.; Cai, L. Quantitative estimation of soil salinity by means of different modeling methods and visible-near infrared (VIS-NIR) spectroscopy, Ebinur Lake Wetland, Northwest China. *PeerJ*, v.6, e4703, 2018.

- Wang, W. S.; Pan, Y. J.; Zhao, X. Q.; Dwivedi, D.; Zhu, L. H.; Ali, J., ... & Li, Z. K. (2011). Drought-induced site-specific DNA methylation and its association with drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Experimental Botany*, v. 62, n. 6), 1951-1960, 2011a.
- Wang, W.; Zhang, F.; Sun, L.; Yang, L.; Yang, Y.; Wang, Y.; Siddique, K.; Pang, J. Alkaline salt inhibits seed germination and seedling growth of canola more than neutral salt. *Frontiers in Plant Science*, v.13, p.814755, 2022. <https://10.3389/fpls.2022.814755>
- Wang, Z.; Wang, J.; Bao, Y.; Wu, Y.; Zhang, H. Quantitative trait loci controlling rice seed germination under salt stress. *Euphytica*, v.178, p.297-307, 2011b.
- Wei, L. X.; Lv, B. S.; Li, X. W.; Wang, M. M.; Ma, H. Y.; Yang, H. Y.; Liang, Z. W. Priming of rice (*Oryza sativa* L.) seedlings with abscisic acid enhances seedling survival, plant growth, and grain yield in saline-alkaline paddy fields. *Field Crops Research*, v.203, p.86-93, 2017.
- Wei, P.; Yang, Y.; Wang, F.; Chen, H. Effects of drought stress on the antioxidant systems in three species of *Diospyros* L. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, v.56, p.597-605, 2015.
- Wu, H. Plant salt tolerance and Na⁺ sensing and transport. *The Crop Journal*, v.6, p.215-225, 2018.
- Wu, G.; Peterson, A. J.; Morris, C. F.; Murphy, K. M. Quinoa seed quality response to sodium chloride and sodium sulfate salinity. *Frontiers in Plant Science*, v.7, 790, 2016.
- Xue-Lin, L. I.; Zhong-Xu, L. I. N.; Yi-Chun, N. I. E.; Xiao-Ping, G. U. O.; Zhang, X. L. Methylation-sensitive amplification polymorphism of epigenetic changes in cotton under salt stress. *Acta Agronomica Sinica*, v.35, p.588-596, 2009.
- Yasmin, H.; Naeem, S.; Bakhtawar, M.; Jabeen, Z.; Nosheen, A.; Naz, R.; Hassan, M. N. Halotolerant rhizobacteria *Pseudomonas pseudoalcaligenes* and *Bacillus subtilis* mediate systemic tolerance in hydroponically grown soybean (*Glycine max* L.) against salinity stress. *PLoS One*, v.15, p.e0231348, 2020.
- Yi, Y.; Peng, Y.; Song, T.; Lu, S.; Teng, Z.; Zheng, Q.; Zhao, F.; Meng, S.; Liu, B.; Peng, Y.; Chen, G.; Zhang, J.; Ye, N. NLP2-NR module associated NO is involved in regulating seed germination in rice under salt stress. *Plants*, v.11, p.1-17, 2022.
- Yu, J.; Zhao, W.; Tong, W.; He, Q.; Yoon, M. Y.; Li, F. P.; Choi, B.; Heo, E. B.; Kim, K. W.; Park, Y. J. A genome-wide association study reveals candidate genes related to salt tolerance in

- rice (*Oryza sativa*) at the germination stage. *International Journal of Molecular Sciences*, v.19, p.3145, 2018.
- Zhang, D.; He, S. C.; Fu, Y.; Yu, R. L.; Gao, X.; Wang, Z. H.; Liu, Z. J.; Guo, Y.; Chen, M. X. Transcriptome analysis reveals key genes in response to salinity stress during seed germination in *Setaria italica*. *Environmental and Experimental Botany*, v.191, p.104604, 2021.
- Zhang, J. L.; Shi, H. Physiological and molecular mechanisms of plant salt tolerance. *Photosynthesis Research*, v.115, p.1-22, 2013.
- Zhang, J.; Wang, F.; Zhang, C.; Zhang, J.; Chen, Y.; Liu, G.; Zhao, Y.; Hao, F.; Zhang, J. A novel VIGS method by agroinoculation of cotton seeds and application for elucidating functions of GhBI-1 in salt-stress response. *Plant Cell Reports*, v.37, p.1091-1100, 2018.
- Zhang, Y.; Zhou, X.; Dong, Y.; Zhang, F.; He, Q.; Chen, J.; Zhu, S.; Zhao, T. Seed priming with melatonin improves salt tolerance in cotton through regulating photosynthesis, scavenging reactive oxygen species and coordinating with phytohormone signal pathways. *Industrial Crops and Products*, v.169, p.113671, 2021.
- Zhong, L.; Xu, Y. H.; Wang, J. B. DNA-methylation changes induced by salt stress in wheat *Triticum aestivum*. *African Journal of Biotechnology*, v.8, p.6201-6207, 2009.
- Zhu, J. K. Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Current Opinion in Plant Biology*, v.6, p.441-445, 2003.

SALINITY AND FOOD QUALITY

Matheus Augusto de Bittencourt Pasquali^{1,*}, Iara Bezerra de Oliveira¹,
Shênia Santos Monteiro¹

ABSTRACT: Freshwater available for agriculture is an increasingly scarce resource. Much of this water available on land is affected by salts. In addition to the scarcity of water available for agriculture, soil salinity is one of the most harmful environmental hazards that affect crop growth and productivity, especially in arid and semi-arid climates. In the future, with high population growth projected, food production will require innovations that include revitalizing salt-affected soils or adapting salt-tolerant crops. Understanding the physiological responses of plants to salt stress offers a perspective to produce high nutritional quality foods because plants are more sensitive to salts in the early stages of growth and more tolerant in later stages. Therefore, the study of the improvement of salt stress resistance in crops of great economic importance may allow cultivation with the use of saline waters in regions with great social and economic vulnerability. Despite the challenges of agriculture in environments with different levels of salinity, related to productivity loss, plants respond to salinity by modulating morphophysiological, anatomical, biochemical and molecular processes. So improvements in quality attributes are observed, improving characteristics of flavor, fatty acids, phenolics, alkaloids and phytosterols with beneficial health properties.

Key words: plant physiology, bioactive compounds, food production.

¹ Federal University of Campina Grande - UFCG, Campina Grande - PB, Brazil

* Corresponding author: matheus.augusto@professor.ufcg.edu.br

SALINIDADE E QUALIDADE DE ALIMENTOS

RESUMO: Água doce disponível para a agricultura é um recurso cada vez mais escasso. Grande parte dessa **água**, disponível em terra, é afetada por sais. Além da escassez de **água** disponível para a agricultura, a salinidade do solo é um dos riscos ambientais mais nocivos que afetam o crescimento e a produtividade das culturas, especialmente em climas **áridos** e semiáridos. No futuro, com projeção de alto crescimento populacional, a produção de alimentos exigirá inovações que incluem a revitalização de solos afetados por sais ou a adaptação de culturas tolerantes à salinidade. A compreensão das respostas fisiológicas das plantas ao estresse salino oferece uma perspectiva para a produção de alimentos de alta qualidade nutricional, pois as plantas são mais sensíveis aos sais nos estágios iniciais de crescimento e mais tolerantes nos estágios posteriores. Portanto, o estudo da melhoria da resistência ao estresse salino, em culturas de grande importância econômica, pode permitir o cultivo com o uso de **águas** salinas em regiões com grande vulnerabilidade social e econômica. Apesar dos desafios da agricultura, em ambientes com diferentes níveis de salinidade, relacionados à perda de produtividade, as plantas respondem ao estresse salino, modulando processos morfofisiológicos, anatômicos, bioquímicos e moleculares. Assim, observam-se melhorias nos atributos de qualidade, melhorando características de sabor, **ácidos** graxos, fenólicos, alcaloides e fitoesteróis com propriedades benéficas à saúde.

Palavras-chave: fisiologia vegetal, compostos bioativos, produção de alimentos.

1 INTRODUCTION

A large part of the Earth's freshwater and terrestrial resources are affected by salts and, therefore, are of limited use or may become unsuitable for most human activities in the agro-industrial sector, which depend on the quality of the soil and water resources (Ondrasek & Rengel, 2021). Furthermore, human activities generate unprecedented impacts on all components of the ecosystem. With the intensification of agriculture to meet the drastic increase in food demand, land degradation is already accelerating, reducing long-term food production capacity. This puts tremendous pressure on the use of land and water resources (Pereira et al., 2020).

Population growth and food demand call for intensive agricultural practices that consume a large amount of water. This and the frequency of drought periods will increase water scarcity, social conflicts and land degradation (Pereira et al., 2020). In this situation, cleaner production has become an important strategy for sustainable development (Lu et al., 2021).

The use of water in intensive agriculture are one of the causes of soil salinization and sodification (Pereira et al., 2020). In addition, the alarming impact of climate change on soil salt accumulation has recently been observed (Mukhopadhyay et al., 2021). Soil and water salinization is a constantly growing problem that is amplified by the irrational use of fertilizers and agrochemicals, over-pumping of groundwater for irrigation, consequent seawater infiltration into fresh aquifers, and crop intensification in general (Daliakopoulos et al., 2016; Libutti & Monteleone, 2017; Roupael et al., 2018).

The quantity and quality of available water expose agriculture to vulnerability and undermines food security, as agroecosystems are especially vulnerable to high soil/water salinization, since most crops (and livestock) are relatively sensitive to water with high salinity (Ondrasek & Rengel, 2021). However, seeking cleaner production, saline soils distributed in arid and semiarid areas globally have been used for the cultivation of salt-tolerant plants (Chiconato et al., 2019). This practice is viable for cultivating salt-tolerant vegetables and crops in salt-affected soils, using reclaimed water that contains sufficient nutrients for plant growth, to achieve the goals of saving water resources and using saline land (Lu et al., 2021).

However, there are certain cases in which the degradation of agricultural lands is severe. In these situations, variable approaches must be considered to transform the salinity problem into an opportunity to obtain high quality plant products. This is possible, since it was observed the increase in the content of bioactive compound due to the variable responses of the plant to stressful conditions. These responses include physiological, biochemical, metabolic and morphological changes that occasionally lead to changes in the chemical composition and visual appearance of the products (Roupael et al., 2018). Therefore, soil and water salinity can be used in favor of agribusiness, meeting the food demand with high quality and functional products. In this scenario, this chapter focuses on the effects of biosalinity on productivity and quality of food.

2 SALINITY AND FOOD PRODUCTION

Plants throughout their life cycle are exposed to a variety of harmful stressors, such as environmental fluctuations that reduce plant growth, development, and production (Kumari et al., 2021). Soil salinity is the main abiotic restriction that significantly reduces crop productivity, especially in arid and semiarid regions (Zörb et al., 2019). Salinity stress is a combination of secondary stresses, including osmotic stress, ionic imbalance, and nutritional deficiency, that retard plant growth and ultimately lead to crop loss (Assaha et al., 2017). In addition, the alternative use of saline water can be toxic to the plant, due to the presence of salts such as chloride, sodium and boron, which have a high impact on plant productivity (Al-Tabbal & Al-Zboon, 2021).

The presence of excess water-soluble salts can negatively impact plant physiological processes, including seed germination, photosynthesis, membrane transport, antioxidants, and ethylene production (Chang et al., 2014). Only salt-tolerant or halophilic plants can survive under high salt concentrations (Mishra et al., 2021). To survive high salinity conditions, plants reinforce several physiological, molecular, and metabolic changes through the interaction of several genes and their regulatory networks associated with salinity tolerance (Kumari et al., 2021).

Understanding the physiological responses of plants to salt stress allows for devising adequate management strategies for the use of saline water in irrigated agriculture, which can bring a promising perspective to produce high nutritional quality foods. All major staple crops responsible for the majority of human caloric uptake (e.g., rice, wheat, and corn) are glycophytic, hence being unable to complete their life cycle when soil NaCl concentrations exceed 200 mmol L^{-1} (Zhao et al., 2020). These crops play a considerable role in satisfying the global demand for food. Low to moderate levels of salinity ($2\text{-}4 \text{ dS m}^{-1}$) can reduce rice production by more than half compared to cultivation without salinity stress (Thitisaksakul et al., 2015). Similar responses are seen in corn and wheat (Majeed et al., 2019).

Plants are more sensitive to salts in the early stages of growth and more tolerant in later stages (Sharma & Minhas, 2005). In recent years, attention has been paid to improving the resistance to salt stress of several economically important crops, such as tomato (Hu et al., 2021), rice (Yan et al., 2021a), wheat (Shah et al., 2021), and corn (Khalil et al., 2022).

In addition, according to the FAO Land and Plant Nutrition Management Services, it is estimated that more than 6% of the total land is affected by salinity. Therefore, it is necessary to act to control the stress caused by excess salt. One way to seek solutions to this problem can be the use of sustainable agricultural practices, enabling better conditions to meet the global demand for food (Khalil et al., 2022; Zörb et al., 2019).

2.1 Salt tolerance of crops

To address salinity question, great emphasis has been placed on the development of salt-tolerant crops through genetic methods (Mickelbart et al., 2015). Techniques such

as the implementation of pre-planting of seeds, and plant growth-promoting bacteria to induce stress tolerance in crops have been applied (Majeed et al., 2019). The promotion and development of plant growth with the help of plant growth-promoting microbes plays a crucial role in maintaining microbial diversity, soil properties, and crop yield under stress conditions. And microbes secrete and reduce ethylene levels by deaminase activities of ACC (1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid) to modulate plant growth under salinity conditions (Erice et al., 2017; Kumar et al., 2021).

In addition, a scientific community movement has recently sought to study various plant growth regulators, including salicylic acid (Farhadi & Ghassemi-Golezani, 2020), proline (Youssef et al., 2020), nitric oxide (Babaei et al., 2021), and melatonin (Zahedi et al., 2020), to mitigate the adverse effects of salt stress on plants and increase yield (Sezer et al., 2021).

Another mitigating alternative is plant improvement via biotechnology. Halophytes are a group of salt-tolerant plants that arouse interest because they offer ways to generate salt-tolerant crops (Barros et al., 2021). Such possible ways to develop salt-tolerant crops include interspecific hybridization to increase the tolerance of current crops, in addition to using variations within existing crops, through recurrent selection, mutagenesis, or tissue culture (Flowers, 2004; Flowers & Yeo, 1995). In addition, marker-assisted selection and genetic engineering, as well as interaction with soil-beneficial microorganisms, have also been highlighted as topics to be considered for the implementation of strategies to improve crop salt tolerance and increase production (Hanin et al., 2016).

Cultivation strategies and ideal conditions for growing a salt-tolerant plant in saline soils are of great interest to the community, along with the discussion of the effects of irrigation with reclaimed or saline water, showing evidence for the establishment of cleaner and higher-quality food production.

3 BIOSALINITY AND SALUBRITY

Salinity has a harmful impact on the morphophysiological and biochemical functions of plants. It inhibits seed germination, plant growth, and production (Zhang & Dai, 2019). Thus, it hinders the functioning of the photosynthetic activity, the transpiration process, and gas exchange, due to the reduction in the contents of chlorophyll and carotenoids, changing the structure of the chloroplast and the PSII system, therefore reducing stomatal conductance (Pan et al., 2021).

Soil salinity also decreases soil water potential and leaf water potential, causing disturbances in the plant's water relations, reducing its turgor, and thereby causing osmotic stress (Navada et al., 2020). Furthermore, salinity increases the content of reactive oxygen species (ROS) and generates cellular oxidative stress. The toxic impacts of ROS are lipid peroxidation, which consists of membrane deterioration, as well as damage to DNA and proteins (El Ghazali, 2020).

As a protective factor, in response to salinity, plants undergo morphophysiological, cellular and anatomical changes to attenuate salt stress (Khan et al., 2019). They respond to saline conditions through various strategies, such as ionic homeostasis and compartmentation of ions, transport, ion absorption, osmotic adjustments, induction of antioxidant enzyme mechanisms, polyamine biosynthesis, hormone modulation, and morphological and anatomical adaptations (Gupta & Huang, 2014; Zhang & Dai, 2019).

Salinity can create an ionic imbalance in the soil, which affects elements absorption and creates nutrient deficiencies, as well as impairing growth, root structure, and physiology (Sirohi et al., 2016). High salt concentration hinders the absorption of nutrients and unbalances the essential elements content in the plant. It can modulate the osmotic potential of the soil, so plant roots face difficulty in absorbing nutrients (Sheldon et al., 2017). Elevated salt levels create nutritional deficiencies and affect soil-plant microbiome interactions (Win et al., 2018).

Osmotic adaptation is critical to sustaining cellular turgor, which supports growth, productivity, and yield. In this way, plant synthesizes several osmolytes, such as proline, glycine, betaine and soluble sugars. Proline (Pro) is an amino acid and osmoprotectant and an important signaling molecule that accumulates in the plant cytosol and acts in the stabilization and protection of the membrane and different proteins. It regulates plant metabolism during stress, positively regulating membrane protein and ROS scavengers and maintaining cell solute homeostasis. Many researchers have reported that, under salinity, Pro increases water absorption and the antioxidant machinery. In addition, it reduces the accumulation of toxic ions (Tang et al., 2015; Ismail & Horie, 2017; Zhang & Dai, 2019).

During salt stress, there is induction of ROS, which causes oxidative stress; therefore, plants activate both enzymatic and non-enzymatic antioxidant activity. In particular, the antioxidant enzymes that increase in this process are superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POX) and ascorbate peroxidase (APX), while the non-enzymatic antioxidants that increase are glutathione (GSH), ascorbate (ASC) and their derivatives and photosynthetic accessory pigments such as carotenoids (Mbarki et al., 2018). Antioxidants are strong inhibitors and scavengers of ROS. Thus, they act as potent salinity mitigators.

Another plant mechanism of response to salinity is the adaptation of morphological, anatomical, and supporting structures. Roots play a vital role in acclimation under salinity. Root length, diameter and number modulate root performance and enhance the plant to increase water and nutrient uptake during stress. During salinity, roots proliferate and increase in size. Therefore, they penetrate deep into the soil to mitigate salinity. In the root zone, to overcome the toxic effect of salinity, there is an increase in root density and electrical conductivity, which further leads to ion retention and restricts the accumulation of toxic ions (Acosta-Motos et al., 2017; Kheloufi & Mansouri, 2019; El Ghazali, 2020).

Biochemically, salinity causes rapid and continuous changes in gene regulation with the hormone response. Hormones play a vital role in shaping plant responses to salinity. Different hormone genes and signaling pathways as a plant response to salt stress are

already observed. Phytohormones play a diverse role in plant growth and development and in mitigating salt stress (Ali et al., 2020).

Despite the robust capacity of plants to respond to salt stress, it is possible to observe that salinity is one of the abiotic stresses that affect agriculture, causing a decrease in productivity across the planet. Thus, controlling salinity is very important to achieve sustainable agricultural practices and meet present and future food demand globally (Zörb et al., 2019).

4 BIOSALINITY - FOOD QUALITY AND CONSERVATION

With consumer awareness and growing concerns about food safety, the general approach to food quality has directed interests toward the design and production of products with health-beneficial properties, nutritional value, and high content of bioactive compounds (Mahajan et al., 2017). Therefore, the effects of salinity on plant quality, including physical characteristics, flavor, nutritional value, and especially bioactive compounds, in addition to antinutrient content, offer valuable and cost-effective tools for handling phytochemical content and overall quality that will help to cover growing trends in the market for high value-added products (Rouphael et al., 2018).

Irrigation water is one of the most critical resources for agricultural production. Due to the scarcity of freshwater, saline water has been used to irrigate a wide range of agricultural species (Hussain et al., 2020; Yan et al., 2021b). Irrigation with saline water can not only provide a direct source of water for plants, but also improve fruit quality by decreasing the water content and increasing the nutritional components of the fruit (Ben Ahmed et al., 2009; Li et al., 2019; Yan et al., 2021b).

This occurs because, to withstand salinity conditions, plants such as halophytes develop several physiological and biochemical adaptations, which include enzymatic and antioxidant defense mechanisms, such as glutathione reductase, ascorbate peroxidase (APX), peroxidase (POX), and catalase (Boestfleisch et al., 2014). And the synthesis and accumulation of different primary and secondary metabolites, e.g., fatty acids, phenolics, alkaloids and phytosterols (Ksouri et al., 2012; Rodrigues et al., 2019).

Investigations on the effects of salinity, especially on bioactive compounds, are due to the great demand for functional foods. Research has shown an improvement in the quality of vegetable foods with mild to moderate salt stress, such as improved quality of strawberries (Galli et al., 2016) and antioxidant activity, through the increase of the total content of phenolic compounds, catechins, and anthocyanins; increase of antioxidant compounds in *Brassica napus* var. *Oleifera* when seeds were germinated under moderate salt stress (Falcinelli et al., 2017); and increase in the contents of ascorbic acid and α -tocopherol and antioxidant activity in *Spinosum ciccoria* leaves under moderate levels of salinity (up to 6.0 dS m⁻¹) (Petropoulos et al., 2017).

In addition to bioactive compounds, physical and flavor characteristics are also of great importance for the quality of foods produced under saline conditions. With the increase in

salinity, the firmness of the fruit, which constitutes fundamental sensory characteristics of vegetable crops, tends to increase significantly, as observed in melon fruits (Colla et al., 2006). Other important physical properties that constitute primary criteria that influence consumer decision-making are the shape index of the fruit, as well as the color of the skin (Rouphael et al., 2010). The shape of the vegetables does not differ significantly due to salt stress, as it is a morphometric attribute normally dominated by genetic material and little affected by agricultural practices, as well as by environmental conditions (Kyriacou et al., 2017).

The flavor is related to several quality attributes such as astringency, bitterness, acidity, sweetness, and volatile compounds that define the flavor and aroma (Mahajan et al., 2017). Increased salinity has been associated with improved aroma and flavor in many vegetables and fruits, for which increases in total soluble solids, organic acids, and sugar contents have been reported in numerous studies evaluating crops such as pepper (Hand et al., 2017) and strawberry (Galli et al., 2016).

Although salinity is associated with a decrease in total yield and fruit size for most vegetable crops, moderate levels can improve the flavor attributes and nutritional value of the final product and increase its added value in the market, with higher prices offsetting income losses (Rouphael et al., 2018).

5 CONCLUSIONS AND FUTURE TRENDS FOR BIOSALINITY IN QUALITY FOOD PRODUCTION

Salinity is a significant stress that has a detrimental effect on the sustainable agricultural system and causes a global food crisis. However, exposure to moderate salinity can positively influence the nutritional quality of foods, which can increase the added value of products while mitigating the negative effects on yield and size.

The disturbance caused by salinity decreases germination, growth, and development of plants, ultimately reducing productivity. The plant responds to salinity by modulating morphophysiological, anatomical, biochemical, and molecular processes. Thus, all of these strategies and responses in the plant help to promote tolerance and improve photosynthesis, gas exchange, transpiration, turgor pressure of water in leaves, and nutrient absorption. This increases the germination, growth, development, and productivity of crops. All these responses in plants against the global salinity crisis for food can be mitigated.

Furthermore, there are numerous issues and queries that need to be further explored. These issues include other transporters, sensors, and receptors involved in long-distance salt signaling pathways and intracellular and intercellular interactions that participate in the salt stress response.

REFERENCES

- Acosta-Motos, J. R.; Ortuño, M. F.; Bernal-Vicente, A.; Diaz-Vivancos, P.; Sanchez-Blanco, M. J.; Hernandez, J. A. Plant responses to salt stress: Adaptive mechanisms. *Agronomy*, v.7, n.1, p.1–38, 2017. <https://doi.org/10.3390/agronomy7010018>
- Al-Tabbal, J.; Al-Zboon, K. K. Impact of boric acid and saline water irrigation on germination and seedling establishment of wheat. *Irrigation and Drainage*, v.70, n.5, p.1183–1192, 2021. <https://doi.org/10.1002/ird.2603>
- Ali, Q., Shahid, S., Nazar, N., Hussain, A. I., Ali, S., Chatha, S. A. S., Perveen, R., Naseem, J., Haider, M. Z., Hussain, B., & Hussain S. M.(2020). Use of phytohormones in conferring tolerance to environmental stress. In: Hasanuzzaman, M. (Ed.), *Plant Ecophysiology and Adaptation under Climate Change: Mechanisms and Perspectives II: Mechanisms of Adaptation and Stress Amelioration*. Springer, Singapore, pp. 245–355.
- Assaha, D. V. M., Ueda, A., Saneoka, H., Al-Yahyai, R.; Yaish, M. W. The Role of Na⁺ and K⁺ Transporters in Salt Stress Adaptation in Glycophytes. *Frontiers in Physiology*, v.8, 195623, 2017. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00509>
- Babaei, S., Niknam, V.; Behmanesh, M. Comparative effects of nitric oxide and salicylic acid on salinity tolerance in saffron (*Crocus sativus*). *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology*, v.155, n.1, p.73–82, 2021. <https://doi.org/10.1080/11263504.2020.1727975>
- Barros, N. L. F., Marques, D. N., Tadaiesky, L. B. A., & de Souza, C. R. B. (2021). Halophytes and other molecular strategies for the generation of salt-tolerant crops. *Plant Physiology and Biochemistry*, 162, 581–591. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.028>
- Ben Ahmed, C., ben Rouina, B., Sensoy, S.; Boukhriss, M. Saline water irrigation effects on fruit development, quality, and phenolic composition of virgin olive oils, cv. Chemlali. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.57, n.7, p.2803–2811, 2009. <https://doi.org/10.1021/jf8034379>
- Boestfleisch, C., Wagenseil, N. B., Buhmann, A. K., Seal, C. E., Wade, E. M., Muscolo, A.; Papenbrock, J. Manipulating the antioxidant capacity of halophytes to increase their cultural and economic value through saline cultivation. *AoB PLANTS*, v.6, plu046–plu046. 2014. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plu046>
- Chang, P., Gerhardt, K. E., Huang, X.-D., Yu, X.-M., Glick, B. R., Gerwing, P. D.; Greenberg, B. M. Plant growth-promoting bacteria facilitate the growth of barley and oats in

- salt-impacted soil: implications for phytoremediation of saline soils. *International Journal of Phytoremediation*, v.16, n.11, p.1133–1147, 2014. <https://doi.org/10.1080/15226514.2013.821447>
- Chiconato, D. A., Sousa Junior, G. da S., dos Santos, D. M. M.; Munns, R. Adaptation of sugarcane plants to saline soil. *Environmental and Experimental Botany*, v.162, p.201–211, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.02.021>
- Colla, G., Roupshael, Y., Cardarelli, M., Massa, D., Salerno, A.; Rea, E. Yield, fruit quality and mineral composition of grafted melon plants grown under saline conditions. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, v.81, n.1, p.146–152, 2006. <https://doi.org/10.1080/14620316.2006.11512041>
- Daliakopoulos, I. N., Tsanis, I. K., Koutroulis, A., Kourgialas, N. N., Varouchakis, A. E., Karatzas, G. P.; Ritsema, C. J. The threat of soil salinity: A European scale review. *Science of The Total Environment*, v.573, p.727–739, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.177>
- El Ghazali, G. E. B.. *Suaeda vermiculata* Forssk. ex J.F. Gmel.: Structural characteristics and adaptations to salinity and drought: A Review. *International Journal of Sciences*, v.9, n.02, p.28–33, 2020. <https://doi.org/10.18483/ijsci.2268>
- Erice, G., Ruíz-Lozano, J. M., Zamarreño, Á. M., García-Mina, J. M.; Aroca, R. Transcriptomic analysis reveals the importance of JA-Ile turnover in the response of *Arabidopsis* plants to plant growth-promoting rhizobacteria and salinity. *Environmental and Experimental Botany*, v.143, p.10–19, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.08.006>
- Falcinelli, B., Sileoni, V., Marconi, O., Perretti, G., Quinet, M., Lutts, S.; Benincasa, P. Germination under Moderate Salinity Increases Phenolic Content and Antioxidant Activity in Rapeseed (*Brassica napus* var *oleifera* Del.) Sprouts. *Molecules*, v.22, n.8, p.1377, 2017. <https://doi.org/10.3390/molecules22081377>
- Farhadi, N.; Ghassemi-Golezani, K. Physiological changes of *Mentha pulegium* in response to exogenous salicylic acid under salinity. *Scientia Horticulturae*, v.267, p.109325, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109325>
- Flowers, T. J. Improving crop salt tolerance. *Journal of Experimental Botany*, v.55, n.396, p.307–319, 2004. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh003>
- Flowers, T., & Yeo, A. Breeding for salinity resistance in crop plants: Where next? *Functional Plant Biology*, v.22, n.6, p.875, 1995. <https://doi.org/10.1071/PP9950875>

- Galli, V., Messias, R. da S., Perin, E. C., Borowski, J. M., Bamberg, A. L.; Rombaldi, C. V. Mild salt stress improves strawberry fruit quality. *LWT*, v.73, p.693–699, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.001>
- Gupta, B., & Huang, B. Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. *International journal of genomics*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/701596>
- Hand, M. J., Taffouo, V. D., Nouck, A. E., Nyemene, K. P. J., Tonfack, B., Mefuekam, T. L.; Youmbi, E. Effects of salt stress on plant growth, nutrient partitioning, chlorophyll content, leaf relative water content, accumulation of osmolytes and antioxidant compounds in pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, p.45, n.2, p.481–490, 2017. <https://doi.org/10.15835/nbha45210928>
- Hanin, M., Ebel, C., Ngom, M., Laplaze, L.; Masmoudi, K. New insights on plant salt tolerance mechanisms and their potential use for breeding. *Frontiers in Plant Science*, v.7, 2016. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01787>
- Hu, E., Liu, M., Zhou, R., Jiang, F., Sun, M., Wen, J., Zhu, Z., & Wu, Z. Relationship between melatonin and abscisic acid in response to salt stress of tomato. *Scientia Horticulturae*, v.285, p.110176, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110176>
- Hussain, M. I., Farooq, M., Muscolo, A.; Rehman, A. Crop diversification and saline water irrigation as potential strategies to save freshwater resources and reclamation of marginal soils – a review. *Environmental Science and Pollution Research*, v.27, n.23, p.28695-28729, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09111-6>
- Ismail, A. M.; Horie, T. Genomics, physiology, and molecular breeding approaches for improving salt tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, v.68, p.405–434, 2017. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042916-040936>
- Khalil, R., Yusuf, M., Bassuony, F., Haroun, S.; Gamal, A. Alpha-tocopherol reinforce selenium efficiency to ameliorates salt stress in maize plants through carbon metabolism, enhanced photosynthetic pigments and ion uptake. *South African Journal of Botany*, v.144, p.1-9, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.08.033>
- Khan, T. A., Yusuf, M., Ahmad, A., Bashir, Z., Saeed, T., Fariduddin, Q., Hayat, S., Mock, H-P.; Wu, T. Proteomic and physiological assessment of stress sensitive and tolerant variety of tomato treated with brassinosteroids and hydrogen peroxide under low-temperature stress. *Food Chemistry*, v.289, p.500-511, 2019.

- Kheloufi, A.; Mansouri, L. M. Anatomical changes induced by salinity stress in root and stem of two acacia species (*A. karroo* and *A. saligna*). *Agriculture and Forestry*, v.65, p.137–150, 2019. <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.65.4.12>
- Ksouri, R., Ksouri, W. M., Jallali, I., Debez, A., Magné, C., Hiroko, I.; Abdelly, C. Medicinal halophytes: potent source of health-promoting biomolecules with medical, nutraceutical and food applications. *Critical Reviews in Biotechnology*, v.32, p.289–326, 2012. <https://doi.org/10.3109/07388551.2011.630647>
- Kumar, A., Singh, S., Mukherjee, A., Rastogi, R. P.; Verma, J. P. Salt-tolerant plant growth-promoting *Bacillus pumilus* strain JPVS11 to enhance plant growth attributes of rice and improve soil health under salinity stress. *Microbiological Research*, v.242, 126616, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126616>
- Kumari, S., Chhillar, H., Chopra, P., Khanna, R. R.; Khan, M. I. R. Potassium: A track to develop salinity tolerant plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.167, p.1011–1023, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.09.031>
- Kyriacou, M. C., Roupael, Y., Colla, G., Zrenner, R.; Schwarz, D. Vegetable grafting: the implications of a growing agronomic imperative for vegetable fruit quality and nutritive value. *Frontiers in Plant Science*, v.8, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00741>
- Li, J., Gao, Y., Zhang, X., Tian, P., Li, J.; Tian, Y. Comprehensive comparison of different saline water irrigation strategies for tomato production: Soil properties, plant growth, fruit yield and fruit quality. *Agricultural Water Management*, v.213, p.521–533, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.11.003>
- Libutti, A.; Monteleone, M. Soil vs. groundwater: The quality dilemma. Managing nitrogen leaching and salinity control under irrigated agriculture in Mediterranean conditions. *Agricultural Water Management*, v.186, p.40–50, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.02.019>
- Lu, J.; Wu, J.; Zhang, C. Cleaner production of salt-tolerance vegetable in coastal saline soils using reclaimed water irrigation: Observations from alleviated accumulation of endocrine disrupting chemicals and environmental burden. *Journal of Cleaner Production*, v.297, 126746, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126746>
- Mahajan, P. V., Caleb, O. J., Gil, M. I., Izumi, H., Colelli, G., Watkins, C. B.; Zude, M. Quality and safety of fresh horticultural commodities: Recent advances and future perspectives. *Food Packaging and Shelf Life*, v.14, p.2–11, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.08.001>

- Majeed, A., Muhammad, Z., Islam, S.; Ahmad, H. Salinity imposed stress on principal cereal crops and employing seed priming as a sustainable management approach. *Acta Ecologica Sinica*, v.39, n.4, p.280–283, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2018.09.004>
- Mbarki, S., Sytar, O., Cerda, A., Zivcak, M., Rastogi, A., He, X., Zoghalmi, A., Abdelly, C.; Brestic, M. Strategies to mitigate the salt stress effects on photosynthetic apparatus and productivity of crop plants. *Salinity Responses and Tolerance in Plants, Volume 1: Targeting Sensory, Transport and Signaling Mechanisms*, 85-136. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75671-4_4
- Mickelbart, M. V.; Hasegawa, P. M.; Bailey-Serres, J. Genetic mechanisms of abiotic stress tolerance that translate to crop yield stability. *Nature Reviews Genetics*, v.16, (4), 237–251, 2015. <https://doi.org/10.1038/nrg3901>
- Mishra, P. J.; Arora, N. K. Plant growth promoting bacteria for combating salinity stress in plants Mishra – Recent developments and prospects: A review. *Microbiological Research*, v.252, 126861, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126861>
- Mukhopadhyay, R., Sarkar, B., Jat, H. S., Sharma, P. C.; Bolan, N. S. Soil salinity under climate change: Challenges for sustainable agriculture and food security. *Journal of Environmental Management*, v.280, p.111736, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111736>
- Navada, S., Vadstein, O., Gaumet, F., Tveten, A. K., Spanu, C., Mikkelsen, Ø.; Kolarevic, J. Biofilms remember: Osmotic stress priming as a microbial management strategy for improving salinity acclimation in nitrifying biofilms. *Water Research*, v.176, p.1–9, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115732>
- Ondrasek, G.; Rengel, Z. Environmental salinization processes: Detection, implications & solutions. *Science of The Total Environment*, v.754, p.142432, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142432>
- Pan, T., Liu, M., Kreslavski, V. D., Zharmukhamedov, S. K., Nie, C., Yu, M., Kuznetsov, V. V., Allakhverdiev, S. I.; Shabala, S. Non-stomatal limitation of photosynthesis by soil salinity. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v.51, n.8, p.791–825, 2021. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1735231>
- Pereira, P.; Barceló, D.; Panagos, P. Soil and water threats in a changing environment. *Environmental Research*, v.186, p.109501, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109501>
- Petropoulos, S. A., Levizou, E., Ntatsi, G., Fernandes, Â., Petrotos, K., Akoumianakis, K., Barros, L.; Ferreira, I. C. F. R. Salinity effect on nutritional value, chemical composition and

- bioactive compounds content of *Cichorium spinosum* L. Food Chemistry, v.214, p.129–136, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.080>
- Rodrigues, M. J., Monteiro, I., Placines, C., Castañeda-Loaiza, V., Ślusarczyk, S., Matkowski, A., Pereira, C., Pousão-Ferreira, P.; Custódio, L. The irrigation salinity and harvesting affect the growth, chemical profile and biological activities of *Polygonum maritimum* L. Industrial Crops and Products, v.139, p.111510, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111510>
- Rouphael, Y., Petropoulos, S. A., Cardarelli, M.; Colla, G. Salinity as eustressor for enhancing quality of vegetables. Scientia Horticulturae, v.234, p.361–369, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.048>
- Rouphael, Y., Schwarz, D., Krumbein, A.; Colla, G. Impact of grafting on product quality of fruit vegetables. Scientia Horticulturae, v.127, n.2, p.172–179, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.001>
- Sezer, İ., Kiremit, M. S., Öztürk, E., Subrata, B. A. G., Osman, H. M., Akay, H.; Arslan, H. Role of melatonin in improving leaf mineral content and growth of sweet corn seedlings under different soil salinity levels. Scientia Horticulturae, v.288, p.110376, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110376>
- Shah, F. A., Ni, J., Tang, C., Chen, X., Kan, W.; Wu, L. Karikinolide alleviates salt stress in wheat by regulating the redox and K⁺/Na⁺ homeostasis. Plant Physiology and Biochemistry, v.167, p.921–933, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.09.023>
- Sharma, B. R.; Minhas, P. S. Strategies for managing saline/alkali waters for sustainable agricultural production in South Asia. Agricultural Water Management, v.78, n.1–2, p.136–151, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.04.019>
- Sheldon, A. R., Dalal, R. C., Kirchhof, G., Kopittke, P. M.; Menzies, N. W. The effect of salinity on plant-available water. Plant and Soil, v.418, n.1–2, p.477–491, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3309-7>
- Sirohi, G., Pandey, B. K., Deveshwar, P.; Giri, J. Emerging Trends in Epigenetic Regulation of Nutrient Deficiency Response in Plants. Molecular Biotechnology, v.58, n.3, p.159–171, 2016. <https://doi.org/10.1007/s12033-016-9919-0>
- Tang, X., Mu, X., Shao, H., Wang, H.; Brestic, M. Global plant-responding mechanisms to salt stress: Physiological and molecular levels and implications in biotechnology. Critical Reviews in Biotechnology, v.35, n.4, p.425–437, 2015. <https://doi.org/10.3109/07388551.2014.889080>

- Thitisaksakul, M., Tananuwong, K., Shoemaker, C. F., Chun, A., Tanadul, O., Labavitch, J. M., & Beckles, D. M. Effects of Timing and Severity of Salinity Stress on Rice (*Oryza sativa* L.) Yield, Grain Composition, and Starch Functionality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.63, n.8, p.2296–2304, 2015. <https://doi.org/10.1021/jf503948p>
- Win, K. T., Fukuyo, T., Keiki, O.,; Ohwaki, Y. The ACC deaminase expressing endophyte *Pseudomonas* spp. Enhances NaCl stress tolerance by reducing stress-related ethylene production, resulting in improved growth, photosynthetic performance, and ionic balance in tomato plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.127, p.599–607, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.04.038>
- Yan, F., Zhang, J., Li, W., Ding, Y., Zhong, Q., Xu, X., Wei, H.; Li, G. Exogenous melatonin alleviates salt stress by improving leaf photosynthesis in rice seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.163, p.367–375, 2021a. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.058>
- Yan, S., Gao, Y., Tian, M., Tian, Y.; Li, J. Comprehensive evaluation of effects of various carbon-rich amendments on tomato production under continuous saline water irrigation: Overall soil quality, plant nutrient uptake, crop yields and fruit quality. *Agricultural Water Management*, v.255, p.106995, 2021b. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106995>
- Youssef, N. M., Hashish, K. I.; Taha, L. S. Salinity tolerance improvement of in vitro propagated *Paulownia tomentosa* using proline. *Bulletin of the National Research Centre*, v.44, n.1, p.90, 2020. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00345-5>
- Zahedi, S. M., Hosseini, M. S., Abadía, J.; Marjani, M. Melatonin foliar sprays elicit salinity stress tolerance and enhance fruit yield and quality in strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.). *Plant Physiology and Biochemistry*, v.149, p.313–323, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.02.021>
- Zhang, Q.; Dai, W. Plant response to salinity stress. In: *Stress physiology of woody plants* (pp. 155-173). CRC Press, 2019.
- Zhao, C., Zhang, H., Song, C., Zhu, J.-K.; Shabala, S. Mechanisms of plant responses and adaptation to soil salinity. *The Innovation*, v.1, n.1, p.100017, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2020.100017>
- Zörb, C., Geilfus, C. -M.; Dietz, K. -J. Salinity and crop yield. *Plant Biology*, v.21, S1, p.31–38, 2019. <https://doi.org/10.1111/plb.12884>

SALINIDADE E O EFEITO SOBRE DOENÇAS E PRAGAS

Élida Barbosa Corrêa¹, Jéssica Karina da Silva Pachú¹, Halanna Campos Porto¹, Ramon Quaresma Zeferino¹

RESUMO: Desde a germinação das sementes até a fase reprodutiva as plantas são submetidas a diferentes tipos de estresses de origem biótica e/ou abiótica. Doenças e pragas podem constituir fatores de estresse biótico, passíveis de ocorrer de forma simultânea com estresses abióticos, durante o desenvolvimento das plantas, o que pode resultar em efeitos diferenciados, quando comparados à ocorrência de um fator isolado de estresse. Dentre os estresses abióticos, o salino é um dos principais, e sua ocorrência se deve, principalmente, à ação antrópica. O estresse salino pode predispor as plantas a doenças, interferindo no sistema de defesa vegetal. A salinidade pode influenciar o crescimento do patógeno no ambiente. Quanto à incidência de pragas, a salinidade pode proporcionar efeitos negativos, efeitos positivos e, ainda, pode ocorrer uma neutralidade nesses efeitos. Estudos devem ser estimulados quanto ao entendimento do processo de ocorrência de múltiplos estresses, visto que doenças e pragas podem ocorrer de forma conjunta nas plantas. Medidas de mitigação dos danos causados pelos estresses devem ser planejadas compreendendo o manejo ecológico e sistêmico do agroecossistema. **Palavras-chave:** estresse biótico, estresse salino, micro-organismos, insetos.

¹ Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, Lagoa Seca - PB, Brasil

* Autora correspondente: elida@servidor.uepb.edu.br

SALINITY AND THE EFFECT ON OCCURRENCE OF DISEASES AND PESTS

ABSTRACT: From seed germination to the reproductive phase, plants are subjected to different types of stress of biotic and/or abiotic origin. Diseases and pests can constitute biotic stress factors, likely to occur simultaneously with abiotic stresses, during plant development, which can result in different effects, when compared to the occurrence of an isolated stress factor. Among the abiotic stresses, saline is one of the main ones with occurrence mainly due to anthropic action. Salt stress can predispose plants to diseases, interfering with the plant defense system. Salinity can influence pathogen growth in the environment. As for the incidence of pests, salinity can provide negative effects, positive effects, and even neutrality in these effects. Studies should be encouraged regarding the understanding of the process of occurrence of multiple stresses, since diseases and pests can occur simultaneously in plants grown in saline environments. Measures to mitigate the damage caused by stresses must be planned, including the ecological and systemic management of the agroecosystem.

Key-words: biotic stress, salt stress, microorganisms, insects.

1 INTRODUÇÃO

A salinização dos solos ocorre em todo o mundo, um dos fatores de estresse abiótico que mais afetam os cultivos agrícolas (Rengasamy, 2006). Solos salinos ocorrem em diversas condições climáticas, sendo de causas naturais e antrópicas. Em regiões áridas e semiáridas os problemas com salinidade de solos vêm ocorrendo com maior frequência, devido à baixa pluviosidade nessas regiões, onde a água da chuva não é capaz de lixiviar os sais que se acumulam na zona radicular (Hopmansa et al., 2021), o que pode impactar a qualidade do solo e da água e inibir o crescimento da planta. Mudanças na pressão osmótica da solução do solo, causadas pela salinidade, reduzem a habilidade das plantas em absorverem água. O acúmulo de íons como sódio (Na^+) e cloro (Cl^-) no solo causa toxicidade nas plantas quando absorvidos em elevadas quantidades. O sódio e o cloro podem competir com nutrientes essenciais, como o potássio, o que causa desordens na nutrição vegetal e influência na sobrevivência e reprodução das plantas (Mirtalebi & Banihashemi, 2019; Hopmansa et al., 2021).

O estresse é definido por qualquer condição (abiótica ou biótica), em excesso ou deficiência, que prejudica o crescimento e reprodução máxima da planta (Taiz et al., 2017). Além dos estresses abióticos, para atingirem maturidade e produção, as plantas são afetadas por estresses bióticos, como doenças e pragas, a causarem elevados prejuízos econômicos. No entanto, há uma estimativa que somente 10% dos insetos que existem no planeta são capazes de causar danos (Gallo et al., 2002). Além disso, a resistência das plantas a doenças de natureza biótica é regra, pois dentre o elevado número de patógenos que infectam plantas, apenas uma pequena fração é capaz de causar doença em uma determinada espécie (Camargo, 2018).

No campo, estresses abióticos e bióticos ocorrem de forma conjunta, durante o desenvolvimento das plantas. Todavia, a ocorrência simultânea de estresses abióticos e bióticos tem se mostrado mais destrutiva para a produção agrícola do que estresses que ocorrem, isoladamente, em diferentes estágios de crescimento da cultura (Mittler, 2006; Prasad et al., 2011; Pandey et al., 2017). Por exemplo, a salinidade pode influenciar a fisiologia da planta (Orcutt & Nilsen, 2000; Taiz et al., 2017; Pye et al., 2018; Hopmansa et al., 2021), por conseguinte, pode modificar o comportamento e a aptidão dos insetos-praga (Han et al. 2016) e diminuir a sua resistência natural ao ataque de patógenos (Swiecki & MacDonald, 1988; Agrios, 2004; Camargo, 2018; Pye et al., 2018).

No caso de doenças, são complexos os efeitos de combinações envolvendo fatores de estresse biótico e abiótico, sobre as culturas, por envolverem interações entre planta e patógeno (Kissoudis et al., 2014). Diversas doenças podem ser agravadas com o cultivo de plantas em ambientes salinos (MacDonald, 1982; Blaker & MacDonald, 1986; Swiecki & Macdonald, 1991; Snapp & Shennan, 1994; Triky-Dotan et al., 2005; Roubtsova & Bostock, 2009; Dileo et al., 2010; You et al. 2011; Vieccelli et al., 2018; Pye et a., 2018; Mirtalebi & Banihashemi, 2019; Varela et al., 2019; Maharshi et al., 2021) (Tabela 01). O aumento das doenças em plantas submetidas a estresse salino pode ser atribuído ao atraso das respostas fisiológicas de

defesa da planta à infecção do patógeno, ao reduzir a produção de compostos de defesa ativa e favorecer a colonização do patógeno (Pye et al., 2018). Os sais também podem influenciar, diretamente, o crescimento de patógenos, com efeito tóxico, neutro ou estimulante sobre o patógeno (Sanogo, 2004; Triky-Dotan et al., 2005; You et al., 2011; Maharshi et al., 2021). Casos de perda de resistência às doenças de plantas, em cultivares resistentes, após exposição ao estresse salino também são relatados (Blaker & MacDonald, 1986; Mirtalebi & Banihashemi, 2019; Varela et al., 2019). No entanto, em determinadas interações entre planta e patógeno, o estresse salino pode diminuir a intensidade das doenças (Brac et al., 1995; Elmer, 2002) (Tabela 01).

Tabela 01. Salinidade e o efeito sobre doenças de plantas.

Espécie vegetal	Doença	Patógeno	Efeito	Referência
Feijão comum (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	Tombamen-to de mudas, podridão da raiz e do caule	<i>Macrophomina phaseolina</i>	Aumento da severidade da podridão do hipocótilo das mudas	You et al. (2011)
Manga (<i>Mangifera indica</i>)	Seca da mangueira/ Mal do Recife	<i>Ceratocystis fimbriata</i>	Aumento da suscetibilidade de plantas da cv. Tommy Atkins	Vieccelli et al. (2018)
Algodão (<i>Gossypium hirsutum</i>)	Podridão radicular	<i>Fusarium</i> sp., <i>Macrophomina phaseolina</i> e <i>Rhizoctonia solani</i>	Aumento da incidência da podridão radicular	Rauf et al. (2014)
Videira (<i>Vitis vinifera</i>)	Doença de Petri	<i>Phaeomoniella chlamydospora</i>	Aumento da severidade da doença	Oliveira et al. (2013)
Tomateiro (<i>Solanum lycopersicum</i>)	Necrose do colo e das raízes causada	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>radicis-lycopersici</i>	Aumento da severidade da doença	Triky-Dotan et al. (2005)
Grão-de-bico (<i>Cicer arietinum</i>)	Murcha	<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>ciceris</i>	Aumento da intensidade da doença	Maharshi et al. (2021)
Tamareira (<i>Phoenix dactylifera</i>)	Murcha	<i>Fusarium oxysporum</i>	Diminuição da doença	Brac et al. (1995)
Ciclamen (<i>Cyclamen persicum</i>)	Murcha	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cyclaminis</i>	Diminuição na curva de progresso da doença, mas não na severidade final.	Elmer (2002)
Crisântemo (<i>Chrysanthemum morifolium</i>)	Podridão radicular	<i>Phytophthora cryptogaeae</i>	Aumento da doença	MacDonald (1982)
Laranja doce (<i>Citrus sinensis</i>) cv. Pineapple e citrange (<i>Citrus sinensis</i> x <i>Citrus trifoliata</i>) cv. Troyer	Podridão radicular	<i>Phytophthora parasitica</i>	Aumento da doença	Blaker & MacDonald (1986)
Tomateiro (<i>Solanum lycopersicum</i>)	Podridão radicular	<i>Phytophthora parasitica</i>	Aumento da doença	Swiecki & Macdonald (1991; Snapp & Shennan (1994); Dileo et al. (2010)

Espécie vegetal	Doença	Patógeno	Efeito	Referência
Crisântemo (<i>Chrysanthemum morifolium</i>) cv. Paragon	Podridão radicular	<i>Phytophthora cryptogea</i>	Aumento da doença	Dileo et al. (2010)
Tomateiro (<i>Solanum lycopersicum</i>)	Podridão do colo e da raiz	<i>Phytophthora capsici</i>	Aumento da doença	Dileo et al. (2010);
Rododendro (<i>Rhododendron</i> sp.) e folhado (<i>Viburnum tinus</i>)	Podridão radicular, lesões no caule e murcha	<i>Phytophthora ramorum</i>	Aumento da doença	Roubtsova & Bostock (2009)
Melão (<i>Cucumis melo</i>)	Podridão radicular	<i>Phytophthora melonis</i>	Aumento da doença	Mirtalebi & Banihashemi (2019)
Pimenta malagueta (<i>Capsicum annuum</i>)	Requeima	<i>Phytophthora capsici</i>	Aumento da severidade da doença nas cultivares suscetíveis	Sanogo (2004)
Feijão Vigna (<i>Vigna unguiculata</i>)	Galhas	<i>Meloidogyne enterolobii</i>	Redução do desenvolvimento dos nematoides nas raízes	Magalhães et al. (2021).
Tomateiro (<i>Solanum lycopersicum</i>)	Galhas	<i>Meloidogyne incognita</i>	Redução do desenvolvimento dos nematoides nas raízes	Asif et al. (2021)
Feijão Vigna (<i>Vigna unguiculata</i>)	Mosaico severo do caupi	<i>Cowpea severe mosaic virus</i> (CPSMV)	Predisposição a doença	Varela et al. (2019)

Com relação ao estresse salino da planta hospedeira sobre os insetos-praga, os efeitos são dependentes de fatores diversos. Existem evidências de que o impacto da herbivoria pode ser mais intenso de acordo com o aumento da salinidade, porque embora as plantas adotem várias estratégias defensivas, o estresse salino reduz a habilidade compensatória da planta hospedeira, por exemplo, redução de metabólitos secundários, espinhos e tricomas que conferem resistência e/ou tolerância às plantas (Long & Porturas, 2014) e, posteriormente, pode aumentar o nível populacional dos insetos. Todavia, existem estudos que evidenciam que plantas cultivadas em condições de alta salinidade podem favorecer uma restrição substancial ao crescimento da população de insetos-praga (Debouba et al., 2006). As explicações podem estar relacionadas à menor disponibilidade de água, favorecida pelo aumento da concentração de sal na seiva da planta (Romero-Aranda et al., 2001), e pelo fato do cloreto de sódio (NaCl) ser um dos principais sais encontrados em plantas sob estresse salino, e esse sal ser responsável pela perda de água intracelular nesses insetos (Mahajan & Tuteja, 2005). Além disso, o inseto não consegue absorver nutrientes suficientes para se desenvolver, provavelmente devido às interações osmóticas ou específicas de NaCl, em várias etapas de assimilação de nitrogênio (Han et al., 2016), ou ainda, pode ser explicado pelo aumento das concentrações de metabólitos secundários em plantas estressadas pela salinidade. Portanto, é importante destacar que a salinidade pode proporcionar efeitos negativos (Araya et al., 1991), e efeitos positivos (Aucejo-Romero et al., 2004) na ocorrência de pragas (Tabela 02).

Tabela 02. Salinidade e o efeito sobre pragas de plantas.

Espécie vegetal	Praga	Efeito	Referência
Arroz (<i>Oryza sativa</i>)	Cigarrinha marrom (<i>Nilaparvata lugens</i> , Hemiptera: Delphacidae)	Níveis de salinidade mais baixos favorecem o desenvolvimento ninfal. Níveis mais altos de salinidade impedem o desenvolvimento das ninfas, reduzem a taxa de fecundidade e a longevidade das fêmeas	Quais et al. (2020)
Trigo (<i>Triticum aestivum</i>)	Pulgão (<i>Schizaphis graminum</i> , Hemiptera: Aphididae)	Diminuição da fecundidade dos pulgões	Araya et al. (1991)
Espinheiro-branco (<i>Crataegus</i> spp.)	Pulgão (<i>Aphis pomi</i> , Hemiptera: Aphididae)	Estímulo à população de pulgões	Braun & Flückiger (1984)
Soja (<i>Glycine max</i>)	Pulgão (<i>Aphis glycines</i> , Hemiptera: Aphididae)	Aumento da proliferação dos pulgões	Eichele-Nelson et al. (2018)
Algodão (<i>Gossypium hirsutum</i>)	Pulgão (<i>Acyrtosiphon gossypii</i> , Hemiptera: Aphididae)	Redução da população de pulgões	Wang et al. (2015)
Feijão Vigna (<i>Vigna unguiculata</i>)	Pulgão (<i>Aphis craccivora</i> , Hemiptera: Aphididae)	Não foi observado efeito do estresse salino na população de pulgões	Silva et al. (2020)
Tomateiro (<i>Solanum lycopersicum</i>)	Traça (<i>Tuta absoluta</i> (Lepidoptera: Gelechiidae)	Aumento da infestação das plantas pela traça	Han et al. (2016)
Arroz (<i>Oryza sativa</i>)	Cigarrinha marrom (<i>Nilaparvata lugens</i> , Hemiptera: Delphacidae)	Redução da população da cigarrinha marrom	Ali et al. (2021)
Milho (<i>Zea mays</i>)	Lagarta do cartucho (<i>Spodoptera frugiperda</i> , Lepidoptera: Noctuidae)	Aumento do tempo de desenvolvimento larval e redução na produção de ovos	Wang et al. (2021)
Morangueiro (<i>Fragaria ananassa</i>)	Ácaro vermelho (<i>Tetranychus cinabarinus</i> , Acari: Tetranychidae)	Aumento da taxa de fecundidade do ácaro	Cakmak & Demiral (2007)
Citros (<i>Citrus</i> spp.)	Ácaro rajado (<i>Tetranychus urticae</i> , Acari: Tetranychidae)	Aumento do ciclo de vida e redução da capacidade reprodutiva	Aucejo-Romero et al. (2004)

2 SALINIDADE E O EFEITO SOBRE DOENÇAS

O surgimento de doenças em plantas é propiciado pela interação entre hospedeiro suscetível, ambiente propício à infecção do patógeno e pela presença de, pelo menos, um patógeno virulento. Os fatores do ambiente podem determinar o grau de predisposição da planta à doença, por influenciar o estabelecimento da doença e a ocorrência de epidemias (Bedendo et al., 2018).

Predisposição é a alteração da suscetibilidade da planta, resultante da atuação de fatores externos, caracterizada por uma condição de maior ou menor suscetibilidade ao patógeno e que é determinada por fatores não genéticos, que atuam antes ou durante os processos de

infecção e colonização do patógeno (Bedendo et al., 2018). O cultivo de plantas em ambientes salinos, como em solos salinos ou irrigados com água salina, pode influenciar a predisposição das plantas às doenças bióticas (Macdonald, 1982; Blaker & Macdonald, 1986; Swiecki & Macdonald, 1991; Triky-Dotan et al., 2005; Roubtsova & Bostock, 2009; Dileo et al., 2010; You et al., 2011; Vieccelli et al., 2018; Pye et al., 2018; Mirtalebi & Banihashemi, 2019).

Sob condições desfavoráveis do ambiente, surgem mudanças nas plantas, vinculadas a uma complexa rede de sinais, geralmente relacionados a hormônios vegetais; dentre eles, destacam-se os ácidos abscísico, salicílico e jasmônico, mais o etileno, diretamente envolvidos na adaptação das plantas aos estresses abióticos e bióticos (Kissoudis et al., 2014). Como exemplo, em rápida desidratação das células, causada por salinidade ou deficiência hídrica, há indução sistêmica rápida e transitória para a produção de ácido abscísico, o que pode influenciar a incidência das doenças. O ácido abscísico tem sido associado à suscetibilidade de plantas a bactérias, fungos e oomicetos (Dileo et al., 2010).

2.1 Efeito da salinidade em doenças causadas por fungos

A relação entre o estresse salino e a severidade do tombamento de mudas por *Macrophomina phaseolina* em feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) foi estudada por You et al. (2011). *Macrophomina phaseolina* causa o tombamento de mudas, podridão da raiz e do caule. O efeito da salinidade nas plantas foi avaliado irrigando o substrato contido em vasos com solução contendo 40 mM de NaCl e 1 mM de CaSO₄. Para avaliar o efeito da salinidade no crescimento micelial de dois isolados do patógeno foi utilizada a mesma solução (40 mM de NaCl e 1 mM de CaSO₄), sendo a solução adicionada ao meio de cultura (batata-dextrose-ágar), onde foram cultivados os patógenos. A salinidade aumentou a severidade da podridão do hipocótilo das mudas, causada por *M. phaseolina* em feijão comum e, também, estimulou o crescimento dos isolados do patógeno em meio de cultura.

Vieccelli et al. (2018) avaliaram a resposta fotossintética das cultivares de manga (*Mangifera indica* L.) Tommy Atkins e Ubá, submetidas ao estresse salino e infectadas com *Ceratocystis fimbriata*, agente causal da seca da mangueira. O estresse salino foi avaliado após o desenvolvimento das plantas em vasos contendo solução nutritiva com NaCl (90 mM de NaCl) por 50 dias. A cultivar Ubá foi mais resistente ao fungo que a cv. Tommy Atkins, e a fotossíntese de suas plantas foi menos afetada após submissão ao estresse salino e à inoculação com o patógeno. A exposição ao estresse salino aumentou a suscetibilidade de plantas da cv. Tommy Atkins à doença.

O efeito da salinidade no desenvolvimento de diferentes variedades de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) e sobre patógenos radiculares (*Fusarium* sp., *Macrophomina phaseolina* e *Rhizoctonia solani*) foi estudado por Rauf et al. (2014) em solo naturalmente infestado com os patógenos. Cinco variedades de algodão foram cultivadas em vasos, contendo 300 gramas de solo, sendo adicionadas soluções salinas contendo 30, 60, 120 e 150 mM de NaCl, a cada três dias, após 10 dias da emergência das plântulas. Na avaliação, realizada após dois meses, os autores verificaram efeitos da salinidade no crescimento das plantas, com redução do comprimento

e da massa fresca da parte aérea e do sistema radicular. De forma geral, o aumento da salinidade no solo aumentou a incidência de patógenos radiculares (*Fusarium* sp., *M. phaseolina* e *R. solani*) nas cultivares de algodão. No entanto, a colonização diferiu entre variedades e soluções salinas, uma evidência da variabilidade genética entre os genótipos de algodão utilizados na pesquisa. Outro parâmetro avaliado foi o teor de compostos fenólicos nas folhas, sendo constatado incremento, nos tratamentos com maior teor de NaCl. Compostos fenólicos são produtos do metabolismo secundário das plantas e que estão relacionados aos mecanismos de defesa vegetal contra patógenos (Agrios, 2004). Ácido protocatecoico, catecol, ácido clorogênico, floridizina e arbutina são compostos fenólicos com ação tóxica aos patógenos, sendo fatores de resistência bioquímicos pré-existentes, ou seja, produzidos antes do ataque dos patógenos, durante o desenvolvimento das plantas. Após o reconhecimento do ataque dos patógenos pelas plantas são ativados os mecanismos de defesa pós-infecção, produzidos para conter a colonização dos tecidos da planta pelo patógeno. Os mecanismos de defesa são bioquímicos e físicos (Pascholati & Dalio, 2018).

Oliveira et al. (2013) estudaram o efeito do fungo *Phaeoemoniella chlamydospora*, agente etiológico da doença de Petri na videira (*Vitis vinifera* L.) e sua interação em plantas sob estresse salino. Para tanto, plantas com dois meses de idade foram expostas a 20 e 100 mM de NaCl por um mês, em condições controladas, sendo inoculadas na base do caule com suspensão de conídios (10^7 conídios mL⁻¹) de *P. chlamydospora*. A inoculação das plantas com o patógeno, conjuntamente com a exposição ao ambiente salino (100 mM de NaCl) reduziu a fotossíntese e intensificou os sintomas de necrose do sistema radicular e da parte aérea das plantas.

Triky-Dotan et al. (2005) avaliaram o efeito da irrigação com água salina na incidência e severidade da necrose do colo e das raízes causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* em tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.). Os autores fizeram experimentos em condições controladas e no campo. No primeiro experimento no campo, em local naturalmente infestado com o patógeno, a incidência da doença foi de 75% nas plantas irrigadas com água salina ($3,2 \pm 0,1$ dS m⁻¹) e de 38% quando irrigado com água não salina ($0,4 \pm 0,1$ dS m⁻¹). No segundo experimento, em campo, a incidência da doença foi de 12% em plantas irrigadas com água salina ($4,6 \pm 0,1$ dS m⁻¹) e de 4% nas plantas irrigadas com água não salina ($1,2 \pm 0,1$ dS m⁻¹). A irrigação com água salina aumentou a severidade da doença e diminuiu a produção das plantas. O efeito da concentração (0, 100, 200, 300, 400, 500 e 500 mM) de NaCl e KCl no crescimento micelial do patógeno foi avaliado, sendo que as concentrações de até 100 mM dos sais não afetaram o crescimento do micélio. O crescimento foi reduzido a partir da concentração de 200 mM. Quando avaliado o efeito da irrigação com água salina (20 mM de NaCl) na predisposição à doença de mudas de tomateiro, os autores verificaram maior severidade da doença em plantas irrigadas com água salina antes da inoculação com o patógeno, sendo de 77% nas plantas irrigadas com água salina e de 38% nas plantas irrigadas com água não salina.

Maharshi et al. (2021) analisaram o efeito da salinidade e da murcha causada por *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceris*, em plantas de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.), cultivar 'Jawahar

Gram-62', suscetível à doença, em solo salino. Com aumento da concentração de NaCl, (50, 100, 200 e 300 mM) ocorreu diminuição na germinação das sementes. Na concentração de 300 mM de NaCl as sementes não germinaram. Com relação ao patógeno, foram testadas as concentrações de NaCl de 50, 100, 200, 300, 400, 500 e 600 mM. Concentrações até 400 mM promoveram a biomassa do patógeno. O aumento das concentrações de NaCl causou aumento da esporulação do fungo. O crescimento micelial de *F. oxysporum* f. sp. *ciceris* foi estimulado no meio de cultura com adição de NaCl. Quando os dois tipos de estresses (abiótico e biótico) foram avaliados em conjunto, a severidade da podridão de raízes foi maior em plantas desenvolvidas em solo salino (200mM de NaCl), assim como o número de plantas mortas, tendo a salinidade favorecido a intensidade da doença. Os autores também verificaram que a salinidade influenciou no tipo de colonização do patógeno, modificando a colonização hemibiotrófica para a necrotrófica.

Existem casos em que a salinidade do solo pode suprimir o desenvolvimento do patógeno, contribuindo, assim, para o controle da doença. O NaCl tem sido associado a supressão de doenças radiculares em plantas tolerantes a salinidade (Elmer, 2002). O cultivo de tâmara (*Phoenix dactylifera* L.) em áreas de solos salinos foi proposto Brac et al. (1995), com uma das medidas de controle integrado da murcha de fusarium (*Fusarium oxysporum*) em plantações na Argélia. Os autores propõem a utilização de níveis salinidade que induzam a supressividade ao patógeno e que não prejudiquem o desenvolvimento da tâmara, que pode se desenvolver em solos salinos com até 30 mS cm⁻¹ (Brac et al., 1995).

Elmer (2002) avaliou o efeito da densidade de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cyclaminis* sobre a murcha de fusarium em ciclâmen (*Cyclamen persicum* Mill) e o efeito do NaCl sobre as plantas inoculadas ou não com o patógeno. O aumento da densidade de *F. oxysporum* f. sp. *cyclaminis* (0; 0,1 g; 0,25 g, 0,50 g; 1,0 g a 2,0 g de painço colonizado pelo patógeno) aplicado no substrato contido nos vasos de cultivo de ciclâmen causou aumento da descoloração vascular nos cormos das plantas. Para avaliar o efeito do NaCl sobre a murcha de fusarium, as plantas foram cultivadas em vasos contendo substrato infestado com o patógeno. A aplicação 0,25 g e 0,50 g de NaCl por litro de substrato aumentou a massa das plantas e atrasou o início do aparecimento dos sintomas da doença, mas não reduziu a área infectada pelo patógeno quando as plantas foram avaliadas no final do experimento.

2.2 Efeito da salinidade em doenças causadas por chromistas

MacDonald (1982) verificou que o estresse salino com NaCl predispôs as raízes de crisântemo (*Chrysanthemum morifolium* L.) à infecção por *Phytophthora cryptogaeae*. Infecções severas de podridão de raízes ocorreram quando as plantas foram cultivadas em solos salinos e quando foi utilizada água de irrigação salina. Zóosporos de *P. cryptogea* tiveram maior atração para as raízes de crisântemo (cultivar Paragon) submetidas ao estresse salino (200 mequiv.L⁻¹ de NaCl por 24 horas), quando comparadas às raízes das plantas não submetidas ao estresse. Nas raízes de plantas não estressadas houve formação de aposições adjacentes às hifas do patógeno, aumento da densidade da parede e acúmulo de material nos vacúolos

celulares e penetração limitada dos zoósporos. Já nas raízes das plantas submetidas ao estresse salino ocorreu rápida colonização pelas hifas de *P.cryptogea*, causando intensa necrose de 12 a 24 horas após a inoculação.

Blaker & MacDonald (1986) avaliaram o efeito da salinidade em laranja doce (*Citrus sinensis* L. Osbeck) cv. Pineapple e citrange (*Citrus sinensis* L. x *Citrus trifoliata* L. Raf.) cv. Troyer por meio da exposição das raízes a elevados níveis de salinidade por 24 horas (CE de 21 dS.m⁻¹), antes da inoculação com *Phytophthora parasitica* e, também, pela exposição das raízes ao aumento gradual da salinidade (2,5 dS.m⁻¹ até 21 dS.m⁻¹) por um período de oito dias antes da inoculação com *P. parasitica* em condições de casa de vegetação. Verificaram ser a cultivar de laranja doce Pineapple suscetível ao patógeno, e a cultivar Troyer de citrange resistente. Constataram, também, que a podridão de raízes causada por *P. parasitica* é mais severa nas plantas que tiveram suas raízes expostas à salinidade, ao predispor as plantas à doença, o que pode interferir na resistência de porta-enxertos à podridão de raízes, quando cultivados em solos salinos.

Plantas de tomateiro inoculadas com *P. parasitica* e submetidas ao estresse salino tiveram aumento da suscetibilidade ao patógeno, resultando em maior severidade da podridão radicular, quando comparadas às plantas que não foram submetidas ao estresse (Swiecki & MacDonald, 1991). Snapp & Shennan (1994) também verificaram aumento da suscetibilidade de mudas de tomateiro à infecção por *P. parasitica* após o estresse salino.

Após a exposição de raízes de crisântemo cv. Paragon e tomateiro (*Solanum lycopersicon* L.) ao estresse salino com cloreto de sódio (NaCl), as plantas foram severamente atacadas por *Phytophthora* spp. quando comparadas as plantas do tratamento controle. No estudo foi demonstrado que a aplicação de ácido abscísico pode induzir a suscetibilidade das plantas de crisântemo e tomateiro à podridão de raiz, causada por *Phytophthora cryptogea* e *Phytophthora parasitica*, respectivamente, assim como o estresse salino. Ao avaliar o patossistema *Phytophthora capsici* e tomateiro foi verificado que as plantas submetidas ao estresse salino tiveram aumento nos níveis de ácido abscísico nas raízes. Em plantas mutantes de tomateiro sitiens, deficientes quanto a síntese de ácido abscísico, não houve a predisposição a doença após a exposição ao estresse salino, o que resultou na diminuição da colonização radicular pelo patógeno, quando comparada com a cultivar produtora de ácido abscísico, Rheinlands Ruhm. Os autores verificaram que a aplicação exógena de ácido abscísico na planta mutante (sitiens) resultou no aumento da colonização do patógeno nas plantas (Dileo et al., 2010).

A predisposição a podridão do colo e da raiz causada por *Phytophthora capsici* em tomateiro pode estar condicionada aos mecanismos relacionados ao ácido abscísico, com o estresse salino (0,2 M NaCl e 0,02 M CaCl₂ por 18 h) comprometendo a expressão dos genes de defesa da planta, mediados pelo ácido salicílico e ácido jasmônico durante a infecção de *P. capsici*. Os autores observaram aumento na quimiotaxia de zoósporos de *P. capsici* por exsudados radiculares sintetizados por plantas de tomateiro submetidas ao estresse salino, independentemente da capacidade de síntese de ácido abscísico pelas plantas. Entretanto, assim como verificado por Dileo et al. (2010), o ácido abscísico foi relacionado ao processo de predisposição das plantas

ao estresse salino. O efeito do ácido abscísico, relacionado ao aumento da doença, pode estar relacionado ao processo de infecção do patógeno. Em plantas submetidas ao estresse salino ocorreu a supressão de genes para a síntese de compostos de defesa, P4 e PI-2, relacionados à rota de defesa do ácido salicílico e ácido jasmônico (Pye et al., 2018).

Roubtsova & Bostock (2009) investigaram os efeitos do estresse salino, como fator de predisposição à infecção radicular por *Phytophthora ramorum*, nos arbustos ornamentais rododendro (*Rhododendron* sp.) e folhado (*Viburnum tinus* L.). O efeito do estresse foi avaliado expondo as raízes das plantas a 0,2 M de NaCl por 16 a 24 h em condições hidropônicas ou em vasos contendo solo (vasos acondicionados em câmara de crescimento). Após a exposição das plantas ao estresse osmótico, as raízes foram inoculadas com *P. ramorum*. Em condições hidropônicas, os sintomas de podridão de raízes, lesões no caule e murcha das folhas iniciaram-se, primeiramente nas plantas submetidas ao estresse, uma indicação da predisposição à doença. Quando cultivado em solo, a doença no arbusto rododendro teve comportamento similar à da avaliação em condições de hidroponia. Já o arbusto folhado foi mais resistente à infecção do patógeno, nas plantas desenvolvidas em hidroponia. Os autores também avaliaram a aplicação do hormônio ácido abscísico no arbusto rododendro, em condições hidropônicas, e verificaram que assim como o estresse salino, a aplicação do hormônio causou a predisposição das plantas à doença.

Ao pesquisarem o efeito da salinidade na podridão de raiz de três cultivares (Shahde-Shiraz, Dastanbo-Khorasan e Kharbozeh-Mashhad) de melão (*Cucumis melo* L.), causada por *Phytophthora melonis*, Mirtalebi & Banihashemi (2019) verificaram que a exposição das raízes a solução nutritiva salina reduziu a massa do sistema aéreo das plantas e aumentou a colonização das raízes por *P.melonis*. Nas cultivares de melão suscetíveis a doença, Shahde-Shiraz e Kharbozeh-Mashhad, não houve aumento significativo da podridão radicular após a exposição ao estresse salino. Entretanto, na cultivar Dastanbo-Khorasan, resistente à podridão de raiz, a salinidade causou aumento da colonização radicular pelo patógeno, indicando a diminuição da resistência da cultivar causada pelo estresse salino.

Sanogo (2004) investigou o efeito da salinidade sobre *Phytophthora capsici*, agente causal da requeima, em pimenta malagueta (*Capsicum annuum* L.); e, também, a resposta de cultivares de pimenta malagueta suscetíveis (Joe Parker e Tequilla Sunrise) e resistente [Criollo de Morelos #334 (CM334)] à doença quanto à interação entre estresse salino e biótico. O estresse salino foi avaliado por meio de irrigação das plantas, por seis dias, com soluções preparadas a partir de NaCl e cloreto de cálcio (CaCl_2), em cinco concentrações (CE: 2,7; 4,1; 6,7; 8,6 e 10, 2 dS.m^{-1}), antes da inoculação com o patógeno, em condições de casa de vegetação. Em condições de laboratório a salinidade foi avaliada utilizando as condutividades elétricas de 1,8; 4,4; 7,2; 9,5; 11,6 e 14,4 dS.m^{-1} . O crescimento micelial de *P. capsici* foi estimulado com o aumento da condutividade elétrica. Ao contrário do verificado para o crescimento micelial, a produção de esporângio e zoósporos pelo patógeno foi inibida com o aumento da condutividade elétrica. Nas variedades suscetíveis (Joe Parker e Tequilla Sunrise) de pimenta malagueta, o aumento da condutividade elétrica da solução causou

aumento da severidade da doença. Com relação à variedade resistente (CM334), o estresse salino não causou a predisposição à doença, não sendo verificados sintomas nas plantas.

2.3 Efeito da salinidade em doenças causadas por nematoides

O efeito do estresse salino sobre o parasitismo do nematoide *Meloidogyne enterolobii* na cv Pitiúba (resistente a salinidade até o nível de 100 mM de NaCl) de feijão *Vigna unguiculata* L.) foi estudado por Magalhães et al. (2021). Os autores avaliaram a eclosão do nematoide em solução salina (100 mM de NaCl), a motilidade e a infectividade do juvenil (J2) em plantas de tomateiro após exposição a soluções salinas (25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 300 e 400 mM) por 48 h. A eclosão dos ovos, a motilidade e a infectividade de *M. enterolobii* não foi afetada pelos níveis de salinidade testados. Efeito nematostático foi observado nas concentrações salinas de 100, 125, 150, 175, 200, 300 e 400 mM, com recuperação do movimento dos juvenis após transferência para água destilada. Para avaliar o efeito do parasitismo de *M. enterolobii* em feijão *Vigna* irrigado com solução salina (100 mM de NaCl) foi realizada a infestação dos nematoides nas plantas após 12 dias da semeadura do feijão *Vigna* em areia lavada. A irrigação das plantas de feijão *Vigna* com a solução salina (100 mM de NaCl) teve início após 10 dias da semeadura. As raízes foram avaliadas após 15 e 18 dias da inoculação com o nematoide. Em plantas irrigadas com solução salina ocorreu redução no desenvolvimento dos nematoides nas raízes. A diminuição do desenvolvimento dos nematoides nas raízes das plantas desenvolvidas em solução salina pode ser explicada pelo efeito tóxico dos sais ao desenvolvimento dos nematoides, pela elevada permeabilidade da membrana celular dos nematoides aos íons.

Asif et al. (2021) analisaram a resistência mediada pelo ácido dl- β aminobutírico (BABA), aminoácido utilizado como indutor de resistência a patógenos em plantas, em condições de estresse salino em plântulas de tomate cultivar K-21 a *Meloidogyne incognita*. A solução aquosa de ácido β -aminobutírico foi aplicada no sistema radicular das plântulas nas concentrações de 0,63; 1,21; 2,42 e 4,84 mM. O estresse salino foi realizado imergindo as plântulas em solução de NaCl a 100 mM por 10 min. A aplicação de NaCl teve efeito inibitório quanto ao desenvolvimento dos nematoides na raiz das plantas. Efeito sinérgico foi verificado com a aplicação de BABA e NaCl. A aplicação de BABA (1,21 mM) nas plantas submetidas ao estresse salino reduziu as galhas nas raízes em 48%, aumentou os compostos fenólicos nas plantas em 75% e o peso seco em 64%, um indicativo da indução de resistência à infecção por *M.incognita*.

2.4 Efeito da salinidade em doença causada por vírus

Em estudos realizados por Varela et al. (2019), foi constatado que a variedade de feijão *Vigna* BRS-Marataoã, resistente ao vírus do mosaico severo do caupi, tornou-se suscetível após exposição ao estresse salino, 24 horas antes da inoculação com o vírus. Após 12 dias da semeadura, as plântulas foram irrigadas com solução nutritiva contendo 200 mM de

NaCl, até o décimo sétimo dia. A inoculação do vírus foi realizada de forma simultânea à exposição do estresse salino e 24 h após a exposição. Análises fisiológicas, bioquímicas e proteômicas foram realizadas, dois e seis dias após a exposição ao estresse salino. Os autores verificaram que o estresse salino causou quebra da resistência a virose, pois houve a multiplicação viral com a diminuição do tamanho das plantas, fotossíntese, clorofila e carotenoides quando as plantas foram inoculadas com o vírus após 24 horas a exposição ao estresse salino. Em plantas submetidas ao estresse salino e inoculadas com o vírus de forma simultânea, não houve perda de resistência à virose. A predisposição causada pelo estresse salino demonstra a que o feijão *Vigna* reprogramou o seu metabolismo celular após a exposição ao estresse abiótico e biótico.

2.5 Mitigação do estresse salino por micro-organismos benéficos

Além de prejudicar o desenvolvimento de plantas por meio do estresse osmótico e iônico, a salinidade também pode prejudicar o crescimento de micro-organismos habitantes do solo. No entanto, determinados micro-organismos conseguem se desenvolver em ambientes salinos, diminuindo os efeitos tóxicos da salinidade no desenvolvimento das plantas. Bactérias promotoras de crescimento e fungos micorrízicos podem se associar às plantas e aumentar a tolerância ao estresse salino. Em revisão realizada por Kumar & Verma (2018), estão descritos os mecanismos de aumento de tolerância de plantas ao estresse salino e, também, a outros tipos de estresses abióticos e bióticos. Os autores descrevem que os principais mecanismos envolvidos no aumento da tolerância ao estresse salino e hídrico são balanço de hormônios, produção de antioxidantes e regulação osmótica.

A mitigação do estresse salino em mudas dos porta-enxertos de tangerina ‘Cleópatra’ (*Citrus reshni* Hort.) e Alemow [*Citrus macrophylla* Wester (CM)] foi avaliada com inoculação do substrato esterilizado, composto por areia e solo, com esporos de fungos micorrízicos (*Rhizophagus irregularis* e *Funneliformis mosseae*) antes do transplante das mudas. A salinidade foi avaliada pela irrigação das plantas com solução nutritiva contendo 50 mM de NaCl, após inoculação das mudas com os fungos micorrízicos, os quais promoveram o crescimento dos porta-enxertos, em ambiente salino ou não. A aplicação da solução nutritiva contendo 50 mM de NaCl diminuiu a colonização dos fungos micorrízicos. A resposta das plantas à salinidade e inoculação com os fungos micorrízicos teve interação quanto à espécie de citros. Na tangerina ‘Cleópatra’, houve proteção das plantas aos danos causados pela salinidade no desenvolvimento das plantas, já em Alemow, o tratamento com os fungos não mitigou os danos causados pelo cultivo em ambiente salino. Em plantas de tangerina ‘Cleópatra’, inoculadas com os fungos micorrízicos, houve maior absorção de fósforo, potássio, ferro e cobre, quando comparadas as plantas de Alemow; e maior concentração de magnésio nas raízes de tangerina (Navarro et al., 2014).

Damodaran et al. (2013) isolaram bactérias endofíticas e rizobactérias tolerantes à salinidade e realizaram a seleção quanto à capacidade dessas bactérias em promover o vigor dos tomateiros e induzir tolerância das plantas em ambiente sódico. Dentre as 16 rizobactérias

isoladas de raízes de gramíneas, em área com solo sódico, dois isolados de *Bacillus* (*Bacillus pumilus* e *Bacillus subtilis*) foram selecionados como potenciais promotores de crescimento pela capacidade de produção de ácido 3-indol acético (AIA), ácido cianídrico (HCN), amônia, sideróforo e solubilização de fosfato e como tolerantes a salinidade. *Bacillus pumilus* e *B. subtilis* promoveram o desenvolvimento de mudas de tomateiro (variedade Himsona) cultivadas em solo salino sódico (pH 9,35 e condutividade elétrica de 4.2 ds m⁻¹).

Egamberdieva et al. (2015) avaliaram o efeito da inoculação de sementes de algodão (*Gossypium hirsutum*) com *Pseudomonas* spp. quanto a tolerância à salinidade e a resistência à podridão de raízes causada por *Fusarium solani*. As bactérias *Pseudomonas putida* R4 e *Pseudomonas chlororaphis* R5 que sintetizam auxina [ácido 3-indol acético (AIA) - hormônio relacionado ao crescimento vegetal] foram inoculadas nas sementes de algodão, por meio de sua imersão na suspensão bacteriana. A resistência à podridão de raiz em plantas de algodão desenvolvidas em condições salinas foi avaliada de forma gnotobiótica, utilizando-se de areia como substrato, sendo a areia infestada ou não com esporos de *F.solani*; e solução de NaCl a 100 mM, em câmara de crescimento. Em condições salinas gnotobióticas, o tratamento das sementes com *P. putida* R4 reduziu a infecção por *F.solani* em 39%, onde também foi verificada menor colonização radicular pelo patógeno, quando as sementes foram tratadas com as bactérias. O tratamento de sementes com 0,01 M de ácido 3-indol acético reduziu a incidência da doença em 41%. Desenvolvimento das plantas de algodão em vasos contendo solo salino (6,8 dS m⁻¹), naturalmente infestado pelo patógeno, também foi avaliado, inoculando-se as sementes de algodão com as bactérias. O tratamento das sementes com as bactérias estimulou o crescimento das plantas e reduziu a incidência da podridão radicular, tendo *P. chlororaphis* R5 maior eficiência de controle.

3 SALINIDADE E O EFEITO SOBRE A OCORRÊNCIA DE INSETOS E ÁCAROS

O crescimento e a produtividade das plantas são afetados, negativamente, por fatores abióticos e bióticos, que causam perdas consideráveis em colheitas em todo o mundo. Tais fatores abióticos, como, por exemplo, a salinidade, alteram os perfis nutricionais e defensivos da planta, e podem, posteriormente, modificar o desempenho de insetos herbívoros, a impedir que as plantas atinjam todo o seu potencial genético e limitam a produtividade das culturas. Portanto, compreender a relação entre essa problemática e as interações tritróficas são especialmente importantes na agricultura, a fim de se evitar surtos populacionais de pragas e traçar estratégias de manejo adequadas e eficientes.

O estresse ambiental pode perturbar as comunidades diretamente, reduzindo a sobrevivência ou forçando migrações, ou indiretamente, alterando as características responsáveis por determinar a interação planta-inseto. Em curto prazo, a salinidade causa estresse osmótico nas plantas, o que induz uma cascata de respostas bioquímicas que interagem com os

mecanismos de defesa das plantas (Wang et al., 2001) e causa uma diminuição no teor de água de seus tecidos (Deinlein et al., 2014), a resultar em aumento da tolerância à salinidade.

Em longo prazo, pode ocorrer uma diminuição no teor de nitrogênio nos tecidos das plantas sob estresse salino, principalmente na perda de clorofila e da enzima rubisco (Mittal et al., 2012). Dada a preferência dos herbívoros por tecidos ricos em nitrogênio, tal diminuição no teor, resultaria em maior resistência da planta hospedeira (Herms, 2002). No entanto, como os herbívoros necessitam de sódio em sua dieta, e o sódio se acumula nos tecidos das plantas, eles devem se tornar mais atrativos para os herbívoros, resultando em diminuição da resistência da planta em condições de salinidade (Pilon-Smits et al., 2009).

O estresse salino em plantas afeta vários processos fisiológicos, incluindo absorção de nutrientes, equilíbrio iônico, metabólitos vegetais (primários e secundários), mecanismos de tolerância, anatomia foliar, antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos, fotossíntese e equilíbrio de água, todos relacionados ao desenvolvimento dos vegetais (Rahneshan et al., 2018), alterações que podem influenciar, significativamente, as interações planta-inseto. Por exemplo, plantas de tomate respondem a ferimentos mecânicos e ataques de herbívoros, a induzirem a síntese local e sistêmica de uma ampla variedade de proteínas relacionadas à defesa, incluindo inibidores de proteinase (Ryan, 2000) e os níveis de acúmulo desses inibidores refletem a magnitude da resposta dos mecanismos de defesa.

Para prever os efeitos da interação do estresse salino combinado à herbivoria e, conseqüentemente, a ativação dos mecanismos de defesa da planta hospedeira, devemos considerar como a salinidade afeta não apenas a qualidade dos tecidos, mas também os processos fisiológicos, as vias bioquímicas subjacentes ao crescimento, à reprodução e a produção de características de resistência física e química (tricomas, cera, lignina, metabólitos secundários etc.). Além disso, integrando ambas as respostas, o efeito real da salinidade na resistência das plantas contra herbívoros seria determinado pelo equilíbrio entre as mudanças no teor de sódio e nitrogênio e a necessidade relativa de cada elemento na dieta de um herbívoro.

Em trabalhos com tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.), Dombrowski (2003) constatou que a exposição prolongada ao estresse salino, durante um período de 5 dias, resulta em acúmulo de altos níveis de inibidores de proteínas e aumenta a capacidade de as plantas se recuperarem de ferimentos. Segundo o autor, uma possível justificativa para isso, pode ser o crescimento reduzido das plantas sob estresse, o que resulta em diminuição da biomassa total para os insetos herbívoros se alimentarem. A ativação de tal mecanismo de defesa protegeria a planta contra insetos mastigadores e desfolhadores, durante períodos de baixo crescimento, e preservaria a folhagem limitada até que o fator incidente (recursos hídricos, nesse caso) não fosse mais limitante, melhorando assim a capacidade de sobrevivência do vegetal.

Os estresses de fatores ambientais podem ser complexos e difíceis de prever, diminuem a resistência das plantas ao ataque de insetos herbívoros, por alterarem a alocação de recursos da planta e a química foliar e, conseqüentemente, a palatabilidade dos alimentos (Huberty & Denno, 2004; Joern & Mole, 2005). Geralmente, nas plantas acumulam-se metabólitos, como prolina ou ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico, para defesa contra os íons de Na e Cl (Ashraf & Foolad, 2007) e esses compostos também podem afetar a população de

insetos-praga. Além disso, condições desfavoráveis, ocasionadas por estresse, também podem alterar o nível de proteínas solúveis, a concentração de aminoácidos e a quantidade de alguns solutos críticos, necessários para o desenvolvimento dos insetos (Dale, 1988; Holtzer et al., 1988; Huberty & Denno 2004).

3.1 Efeitos da salinidade sobre insetos-praga

Resultados relatados por Quais et al. (2020), ao estudarem a cigarrinha marrom *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae) em plantas de arroz (*Oryza sativa* L.), mostram que a influência dos níveis de salinidade pode gerar efeitos variáveis nos insetos-praga, mesmo quando estão na mesma planta hospedeira. Nesse estudo, os autores constataram que os níveis de salinidade mais baixos favorecem o desenvolvimento ninfal, enquanto a salinidade mais alta impede o desenvolvimento das ninfas e proporciona redução na taxa de fecundidade, além de ser menor a longevidade das fêmeas. Essas informações estão de acordo com as encontradas no estudo de Araya et al. (1991) que relatam diminuição da fecundidade dos pulgões, em plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.), quando ocorre aumento do acúmulo de sal nas folhas.

Albarracin & Stling (2006) demonstraram que altas concentrações de sal podem elevar, significativamente, a concentração de carboidratos e aminoácidos nos exsudatos do floema da planta medicinal espinheiro-branco (*Crataegus* spp.) e isso estimula de forma expressiva o aumento nas populações do pulgão *Aphis pomi* (Hemiptera: Aphididae) que estão em áreas próximas (Braun & Flückiger, 1984). Por outro lado, o aumento da salinidade pode aumentar o acúmulo de glicina-betaína em mudas de trigo (*Triticum aestivum* L.) e, ao mesmo tempo, reduzir a taxa de crescimento populacional do pulgão *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae) (Araya et al., 1991).

Eichele-Nelson et al. (2018) observaram que *Aphis glycines* Matsumura (Hemiptera: Aphididae) foram mais longevos e produziram mais descendentes em soja sob condições de salinidade alta, em comparação com o controle; os pulgões no tratamento de alta salinidade viveram mais de 50% do que os pulgões no tratamento controle. A salinidade influenciou a distribuição de pulgões de tal forma que, foi maior a concentração dos insetos em plantas sob alto teor de sais. Esses resultados sugerem que *A. glycines* pode se tornar um problema maior em áreas de soja com maior salinidade e que esses pulgões podem se utilizar dos efeitos negativos da salinidade para sua proliferação. A fecundidade de *A. glycines* também variou, com aumento da salinidade do solo, ocorrendo uma relação linear entre produção de descendentes e níveis de salinidade. Os valores médios de descendentes no tratamento com 8 dS.m⁻¹ foram, aproximadamente, 3,5 vezes maiores aos encontrados no tratamento controle. O número total de ninfas produzidas por *A. glycines*, ao longo de toda a sua vida, foi quase duas vezes maior para pulgão no tratamento de alta salinidade, em comparação com o tratamento controle.

Em plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), cultivadas em condições de salinidade, elevam-se, significativamente, a produção de tomatidina em suas folhas e a traça *Tuta absoluta*

Povolny (Lepidoptera: Gelechiidae) tem menor tempo de desenvolvimento sem redução na sua massa pupal (Han et al., 2016), o que representa um aumento significativo no nível de infestação em um curto espaço de tempo.

Em plantas de algodão (*Gossypium hirsutum* L.), o estresse salino reduz, significativamente, a infestação do pulgão (*Acyrtosiphon gossypii*, Hemiptera: Aphididae), isso pode ser atribuído ao alto nível de gossipol, flavonóides e tanino proporcionado pela salinidade, há evidências que a diversidade e a mistura de metabólitos secundários em concentrações mais elevadas fornecem uma proteção mais eficaz contra o ataque de pragas (Wang et al., 2015).

Apesar de o estresse salino provocar alterações na produção dos voláteis (Valifard et al., 2014), responsáveis por atrair (Jaba et al., 2010), ou repelir os afídeos (Diabate et al., 2019), Silva et al. (2020) não observaram efeito do estresse por salinidade sobre o sugador *Aphis craccivora* Koch (Hemiptera: Aphididae) em feijão *Vigna* (*Vigna unguiculata* L.).

Wang et al., (2021) observaram aumento no tempo de desenvolvimento larval e redução na produção de ovos da lagarta do cartucho, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivadas sob estresse salino; isso pode significar diminuição da população dessa praga em plantas cultivadas em condições de salinidade.

A salinidade afeta uma variedade diversa de processos vegetais, incluindo absorção de nutrientes, equilíbrio iônico, metabólitos vegetais (primários e secundários), mecanismos de tolerância, anatomia foliar, enzimas antioxidantes e antioxidantes não enzimáticos, fotossíntese e equilíbrio hídrico, todos eles influenciadores do crescimento das plantas. Todavia, os efeitos do aumento da salinidade nos sistemas de plantas-herbívoros-inimigos naturais e as consequências para a dinâmica de infestação de pragas agrícolas são amplamente desconhecidos. As mudanças de salinidade podem, assim, influenciar diferencialmente cada nível trófico no ecossistema, levando a um desacoplamento do sistema.

Ali et al. (2021) quantificaram os efeitos do aumento gradativo da salinidade em plantas de arroz (*Oryza sativa*), em casa de vegetação, sobre a ocorrência da cigarrinha marrom *Nilaparvata lugens* (Stål) (Hemiptera: Delphacidae) e do percevejo predador *Cyrtorhinus lividipennis* Reuter (Hemiptera: Miridae). Verificaram serem afetados o metabolismo, a fisiologia da absorção de nutrientes e a produção de açúcares e aminoácidos, pelo estresse salino. Os autores observaram, ainda, que a salinidade reduz o crescimento das variedades de arroz BRRI dhan47 e BRRI dhan67. Parâmetros relacionados ao rendimento, comprimento da panícula, grãos/panícula e peso de 1.000 grãos foram todos afetados, negativamente, pela salinidade, com variação do efeito significativo entre níveis de condutividade elétrica e variedade de arroz. De forma concomitante, ocorreu redução da população da cigarrinha *N. lugens*, em virtude da baixa qualidade da planta hospedeira induzida pela salinidade elevada, fato passível de ser explicado pela redução nos teores de aminoácidos livres, proteínas e açúcares solúveis que ocorreram com o aumento da salinidade (Hakim et al., 2014).

A maior densidade de *N. lugens* ocorreu na salinidade de 2,0 dS m⁻¹ e diminuiu, posteriormente, com o aumento da salinidade, como resultado da redução da qualidade das plantas, independentemente da cultivar de arroz. Em se tratando de impacto da salinidade

no predador, na ausência de estresse salino, naturalmente, o percevejo predador (*C. lividipennis*) tem um impacto negativo nas populações de *N. lugens* o que impede a secagem das plantas de arroz. Conforme esperado, a maior densidade populacional de *C. lividipennis* ocorreu em condições de controle e diminuiu, significativamente, com o aumento da salinidade. Adicionalmente, nesse estudo foi constatada uma correlação negativa entre as populações da praga e do predador, sob níveis de salinidade moderadamente elevados (2,0 dS m⁻¹). Isso sugere que a salinidade pode levar ao desacoplamento da dinâmica das espécies (Ali et al., 2021).

Os efeitos indiretos da salinidade nas interações predador-presa podem contribuir, potencialmente, para a assincronia fenológica que pode causar o desacoplamento das interações tritróficas. Portanto, níveis elevados de salinidade podem alterar a dinâmica populacional entre insetos-praga e inimigos naturais, com efeitos em surtos populacionais e dificuldades no estabelecimento de programas de controle biológico bem-sucedidos.

3.2 Efeitos da salinidade sobre ácaros

Cakmak & Demiral (2007), ao estudarem o ácaro vermelho *Tetranychus cinnabarinus* (Acari: Tetranychidae) em morangueiro (*Fragaria ananassa* Duchesne), irrigado com água salina, constataram que a salinidade reduziu o tempo de desenvolvimento e proporcionou aumento na taxa de fecundidade diária do ácaro, quando comparado ao controle. Essas informações sugerem que pode haver um aumento no nível populacional desses organismos devido a seu ciclo de vida mais curto e o incremento na fecundidade.

Aucejo-Romero et al. (2004) encontraram diferenças na duração do ciclo de vida do ácaro rajado *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) em plantas de citros (*Citrus* spp.), submetidas a condições de salinidade. Os efeitos foram significativos, apenas para tempo de desenvolvimento total, com indivíduos levando mais tempo para completar o seu ciclo de vida. Também foi detectado efeito dependente da concentração, ao ser constatada redução na capacidade reprodutiva em concentrações mais altas de salinidade, em relação ao controle; segundo os autores, isso pode significar menor incidência de *T. urticae* em pomares irrigados com água salina.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Plantas são organismos sésseis, altamente adaptados à sobrevivência no planeta, devido aos mecanismos de resistência bioquímicos e físicos, contra infecção por patógenos e ataque por insetos e ácaros fitófagos. No entanto, determinadas práticas, utilizadas nos sistemas de produção, como a utilização de fertilizantes inorgânicos e excesso de irrigação com água salina, podem causar estresse nas plantas e dessa forma, afetar vários processos fisiológicos.

As informações aqui apresentadas evidenciam a importância de estudos sobre os efeitos da salinidade, em níveis altos de condutividade elétrica e os fatores que estão associados à ocorrência de doenças, insetos-praga, ácaros e inimigos naturais. Diante do exposto, podemos refletir sobre a necessidade de utilizar boas práticas de cultivo e o manejo racional da irrigação. Além disso, podemos, enquanto manejadores dos agroecossistemas, contribuir para o desenvolvimento de estratégias de manejo ecológico que promovam a resistência natural das plantas aos estresses bióticos.

LITERATURA CITADA

- Agrios, G.N. Plant pathology, 5th Ed. London: Academic Press, 2004. 922p.
- Albarracin, M.T.; Stiling, P. Bottom-up and top-down effects on insect herbivores do not vary among sites of different salinity. *Ecology*, v.87, p.2673–2679, 2006.
- Ali, M.A.; Rahman, M. S.; Nowrin, F.; Haque, S.S.; Qin, X.; Haque, M.A.; Uddin, M.M.; Landis, D.A.; Howlades, T.H. Salinity influences plant–pest–predator tritrophic interactions. *Journal of Economic Entomology*, v.114, p.1470-1479, 2021.
- Araya, F.; Abarca, O.; Zúñiga, G. E.; Corcuera, L. J. Effects of NaCl on glycine-betaine on aphids in cereal seedlings, *Phytochemistry*, v.30, p.1793-1795, 1991.
- Ashraf, M.; Foolad M.R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, v.59, p.206-216, 2007.
- Asif, M.; Khan, F.; Ansari, T.; A, Faheem.; Moh, T.; Khan, A.; Shariq, M.; Siddiqui, M. A. dl-β-Amino butyric acid induced resistance in tomato against root-knot nematode *Meloidogyne incognita* under salt stress condition. *Indian Phytopathology*, v.74, p.839-842, 2021.
- Aucejo-Romero, S.; Gomez-Cadenas, A.; Jacas-Miret, J.A. Effects of NaCl-stressed citrus plants on life history parameters of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Experimental and Applied Acarology*, v.33, p.55–68, 2004.
- Bedendo, I.P.; Amorim, L.; Mattos-Jr, D. Ambiente e Doença. In. Amorim, L.; Rezende, J.A.M.; Bergamin Filho, A. (ed.) *Manual de Fitopatologia, Ouro Fino*, v.1, p.93-102, 2018.
- Blaker, N.S.; J.D. Macdonald. The role of salinity in the development of *Phytophthora* root rot of citrus. *Phytopathology*, v.76, p.970-975, 1986.

- Brac, de la P.; Amir, R.A.; Bounaga, H. Prospects for integrated control of “bayoud” (Fusarium wilt of the date palm) in Algerian plantations. *Crop Protection*, v.14, p.227-235, 1995.
- Braun, S.; Flückiger, W. Increased population of the aphid *Aphis pomi* at a motorway. 2-The effects of drought and deicing salt. *Environmental Pollution*, v.36, p.261-270, 1984.
- Cakmak, I.; Demiral, M.A. Response of *Tetranychus cinnabarinus* feeding on NaCl-stressed strawberry plants. *Phytoparasitica*, v.35, p.37-49, 2007.
- Camargo, L.E.A. Genética da interação patógeno-hospedeiro. In: Amorim, L.; Rezende, J.A.M.; Bergamin Filho, A. Manual de Fitopatologia. Ouro Fino: Sociedade Brasileira de Fitopatologia. 2018, Cap.6, p.85-92.
- Dale, D. Plant-mediated effects of soil mineral stresses on insects. In. *Plant Stress-Insect Interactions*. New York, 1988. p.35-110.
- Damodaran, T.; Sah, V.; Rai, R. B.; Sharma, D. K.; Mishra, V.K.; Jha, S. K.; Kannan, R. Isolation of salt tolerant endophytic and rhizospheric bacteria by natural selection and screening for promising plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and growth vigour in tomato under sodic environment. *African Journal of Microbiology Research*, v.7, p.5082-5089, 2013.
- Debouba, M.; Gouia, H.; Suzuki, A.; Ghorbel, M.H. NaCl stress effects on enzymes involved in nitrogen assimilation pathway in tomato “*Lycopersicon esculentum*” seedlings. *Journal of Plant Physiology*, v.163, p.1247-1258, 2006.
- Deinlein, U.; Stephan, A.B.; Horie; T.; Luo, W.; Xu, G.; Schroeder, J.I. Plant salt-tolerance mechanisms. *Trends Plant Science*. v.19, p.371-379, 2014.
- Diabate, S.; Deletre, E.; Murungi, L.K.; Fiaboe, K.K.M.; Wesonga, J.; Martin, T. Behavioural response of alate *Aphis craccivora* Koch (Homoptera: Aphididae) to volatiles from different cowpea cultivars. *Journal of Applied Entomology*, v.143, p.659-669, 2019.
- Dileo, M. V.; Pye, M. F.; Roubtsova, T. V.; Duniway, J. M.; Macdonald, J. D.; Rizzo, D. M.; Bostock, R. M. Abscisic acid in salt stress predisposition to *Phytophthora* root and crown rot in tomato and chrysanthemum. *Phytopathology*, v.100, p.871-879, 2010.
- Dombrowski, J.E. Salt stress activation of wound-related genes in tomato plants. *Plant Physiology*, v.132, p. 2098-2107, 2003.

- Egamberdieva, D.; Jabborova, D.; Hashem, A. Pseudomonas induces salinity tolerance in cotton (*Gossypium hirsutum*) and resistance to Fusarium root rot through the modulation of indole-3-acetic acid. Saudi Journal of Biological Sciences, v.22, p.773-779, 2015.
- Eichele-Nelson, J.; DeSutter, T.; Wick, A.F.; Harmon, E.; Harmon, J.P. Salinity improves performance and alters distribution of soybean aphids. Environmental entomology, v.47, p.875-880, 2018.
- Elmer, W. H. Influence of inoculum density of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cyclaminis* and sodium chloride on cyclamen and the development of Fusarium wilt. Plant Disease, v.86, p.389-393, 2002.
- Gallo, D.; Nakano, O.; Silveira Neto, S.; Carvalho, R.P.L.; Batista, G.C.; Berti Filho, E.; Parra, J.R.P.; Zucchi, R.A.; Alves, S.B.; Vendramim, J.D.; Marchini, L.C.; Lopes, J.R.S.; Omoto, C. Entomologia Agrícola. Piracicada: FEALQ, 2002, 920p.
- Hakim, M.A.A.S.; Juraimi, M.M.; Hanafi, M.R.; Ismail, A.; Selamat, M.Y.; Rafii, M.A. Biochemical and anatomical changes and yield reduction in rice (*Oryza sativa* L.) under varied salinity regimes. Biomed Research International. v.2014, p 874-885, 2014.
- Han, P.; Wang, Z.J.; Lavoit, A.V.; Michel, T.; Seassau, A.; Zheng, W.Y.; Niu, C.Y.; Desneux, N. Increased water salinity applied to tomato plants accelerates the development of the leaf miner *Tuta absoluta* through bottom-up effects. Scientific Reports, v.6, p.1-10, 2016.
- Herms, D.A. Effects of Fertilization on Insect Resistance of Woody Ornamental Plants: Reassessing an Entrenched Paradigm. Environmental Entomology, v.31, p.923-933, 2002.
- Holtzer, T.O.; Archer, T.L.; Norman, J.M. Host plant suitability in relation to water stress. In: Heinrichs, E. A. Plant stress-insect interactions. New York: John Wiley and Sons, 1988. p. 111-137.
- Hopmansa, J.W.; Qureshib, A.S.; Kisekkaa, I.; Munnsc, R.; Grattana, D.S.R.; Rengasamye, P.; Ben-galf, A.; Assoulineg, S.; Javauxh, M.; Minhasi,P.S.; Raatsj, P.; A.; C.; Skaggsk,T.; H.; Wangl, G.; Jong van Lierm, Q.; Jiaol, H.; Lavadon, R.S.; Lazarovitcho, N.; Lil, B.; Taleisnikp, E. Critical knowledge gaps and research priorities in global soil salinity. Advances in Agronomy, v.169, p.1-191, 2021.
- Huberty, A.F.; Denno, R.F. Plant water stress and its consequences for herbivorous insects: a new synthesis. Ecology, v. 85, p.1383-1398, 2004.

- Jaba, J.; Haseena, B.; Tripathy, S.; Hosamani, A.C.; Amaresh, Y.S. Olfactory response of cowpea aphid, *Aphis craccivora* Koch, to host odours and population of conspecifics. *Journal of Biopesticides*, v.3, p.405–407, 2010.
- Joern, A.; Mole, S. The plant stress hypothesis and variable responses by blue grama grass (*Bouteloua gracilis*) to water, mineral nitrogen, and insect herbivory. *Journal of Chemical Ecology*, v.31, p.2069-2090, 2005.
- Kissoudis, C.; van de Wiel, C.; Visser, R. G. F., van der Linden, G. Enhancing crop resilience to combined abiotic and biotic stress through the dissection of physiological and molecular crosstalk. *Frontiers in Plant Science*, v.5, p.1-20, 2014.
- Kumar, A.; Verma, J.P. Does plant-microbe interaction confer stress tolerance in plants: a review? *Microbiological Research*, v.207, p.41-52, 2018.
- Long, J.D.; Porturas, L.D. Herbivore impacts on marsh production depend upon a compensatory continuum mediated by salinity stress. *PLoS One*, v.13, p.1-8, 2014.
- MacDonald, J.D. Effect of salinity stress on the development of *Phytophthora* root rot of chrysanthemum. *Phytopathology*, v.72, p.214-219, 1982.
- Magalhães, P. R.; Café, F. B. S.; Junior, F. J. C. S.; Mesquita, R. O.; Santos, C. D. G. Effect of salt stress on the parasitism of *Meloidogyne enterolobii* in cowpea. *Research, Society and Development*, v.10, p.1-9, 2021.
- Mahajan, S.; Tuteja, N. Cold, Salinity and drought stresses: an overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics* v.444, p.139–158, 2005.
- Mahajan, S.; Tuteja, N. Cold, Salinity and drought stresses: an overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, v.444, p.139–158, 2005.
- Maharshi, A.; Rashid, M. M.; Teli, B.; Yadav, Sudheer K.; Singh, D. P.; Sarma, B. K. Salt stress alters pathogenic behaviour of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris* and contributes to severity in chickpea wilt incidence. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, v.113, p.101602, 2021.
- Mirtalebi, M.; Banihashemi, Z. Effect of salinity on root rot of *Cucumis melo* L. caused by *Phytophthora melonis*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v.21, p.209-220, 2019.

- Mittal, S.; Kumari, N.; Sharma, V. Differential response of salt stress on *Brassica juncea*: photosynthetic performance, pigment, proline, D1 and antioxidant enzymes. *Plant Physiology. Biochemistry*, v.54, p.17–26, 2012.
- Mittler, R. Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in Plant Science*, v.11, p. 15–19, 2006.
- Navarro, J.M.; Pérez-Tornero, O.; Morte, A. Alleviation of salt stress in citrus seedlings inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi depends on the rootstock salt tolerance. *Journal of Plant Physiology*, v.171, p.76-85, 2014.
- Oliveira, H.; Costa, A.; Santos, C. NaCl and *Phaeomoniella chlamydospora* affect differently starch and sucrose metabolism in grapevines. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.35, p.153-159, 2013.
- Orcutt, D.M.; Nilsen, E.T. *The physiology of plants under stress soil and biotic factors*, New York: JohnWiley and Sons Inc., 2000. 680 p.
- Quais, M.K.; Munawar, A.; Ansari, N.A. Interactions between brown plant hopper (*Nilaparvata lugens*) and salinity stressed rice (*Oryza sativa*) plant are cultivar-specific. *Science Report*, v.10, p.8051, 2020.
- Pandey, P.; Irulappan, V.; Bagavathiannan, M.V.; Senthil-Kumar, M. Impact of combined abiotic and biotic stresses on plant growth and avenues for crop improvement by exploiting physio-morphological traits. *Fronts in Plant Science*, v.8, p.1-15, 2017.
- Pascholati, S.F.; Dalio, R.J.D. Fisiologia do parasitismo: como as plantas se defendem dos patógenos. In: Amorim, L.; Rezende, J.A.M.; Bergamin Filho, A. (ed.) *Manual de Fitopatologia: Sociedade Brasileira de Fitopatologia*. 2018, Cap.35, p.424-450.
- Pilon-Smits, E.A.; Quinn, C.F.; Tapken, W.; Malagoli, M.; Schiavon, M. Physiological functions of beneficial elements. *Current Opinion in Plant Biology*, v.12, p.267–274, 2009.
- Prasad, P. V. V., Pisipati, S. R., Momcilovic, I., and Ristic, Z. Independent and combined effects of high temperature and drought stress during grain filling on plant yield and chloroplast EF-Tu expression in spring wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v.197, p.430–441, 2011.
- Pye, M.F.; Dye, S.R.; Resende, R.S.; Macdonald, J.D.; Bostock, R.M. Abscisic acid as a dominant signal in tomato during salt stress predisposition to *Phytophthora* Root and Crown Rot. *Frontiers in Plant Science*, v.9, p.1-13, 2018.

- Rahneshan, Z.; Nasibi, F.; Ali, A.M. Effects of salinity stress on some growth, physiological, biochemical parameters and nutrients in two pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstocks. *Journal of Plant Interactions*, v.13, p.73-82, 2018.
- Rauf, A.; Zaki, M. J.; Khan, D. Effects of NaCl salinity on growth of some cotton varieties and the root rot pathogens. *International Journal of Biology and Biotechnology*, v.11, p.661-670, 2014.
- Rengasamy, P. World salinization with emphasis on Australia. *Journal of Experimental Botany*, v.57, p.1017-1023, 2006.
- Ryan, C.A. The system in signaling pathway: differential activation of plant defensive genes. *Biochimica et Biophysica Acta*, v.1477, p.112-121, 2000.
- Romero-Aranda, R.; Soria, T.; Cuartero, J. Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions. *Plant Science*, v.160, p.265-272, 2001.
- Roubtsova, T.; Bostock, R.M. Episodic abiotic stress as a potential contributing factor to onset and severity of disease caused by *Phytophthora ramorum* in *Rhododendron* and *Viburnum*. *Plant Disease*, v.93, p.912-918, 2009.
- Sanogo, S. Response of chile pepper to *Phytophthora capsici* in relation to soil salinity. *Plant Disease*, v.88, p.205-209, 2004.
- Silva, L.B.; Rodrigues, R.H.F.; Almeida, L.F.O.; Silva Junior, J.V.da; Silva, M.C.F.; Bezerra, A. A.C.; Brito, R.R. de; Pavan, B.E. Occurrence of *Aphis craccivora* Koch (Hemiptera: Aphididae) in *Vigna unguiculata* under salt stress. *Research, Society and Development*, v.9, p. e741997576, 2020.
- Snapp, S.S.; Shennan, C. Salinity effects on root growth and senescence in tomato and the consequences for severity of *Phytophthora* root rot infection. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v.119, p.458-463, 1994.
- Swiecki, T. J.; MacDonald, J.D. Histology of chrysanthemum roots exposed to salinity stress and *Phytophthora cryptogea*. *Canadian Journal of Botany*, v.66, p.280-288, 1988.
- Swiecki, T. J.; MacDonald, J.D. Soil salinity enhances *Phytophthora* root rot of tomato but hinders asexual reproduction by *Phytophthora parasitic*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v.16, p.471-477, 1991.

- Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I. M.; Murphy, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.
- Triky-Dotan, S.; Yermiyahu, U.; Katan, J.; Gamliel, A. Development of crown and root rot disease of tomato under irrigation with saline water. *Phytopathology*, v.95, p.1438-1444, 2005.
- Valifard, M.; Mohsenzadeh, S.; Kholdebarin, B.; Rowshan, V. Effects of salt stress on volatile compounds, total phenolic content and antioxidant activities of *Salvia mirzayanii*. *South African Journal of Botany*, v.93, p.92-97, 2014.
- Varela, A.L.N.; Oliveira, J.T.A.O.; Komatsu, S., Silva, R.G.G.S.; Martins, T.F.; Souza, P. F.N.S.; Lobo, A.K.M.; Vasconcelos, I.M.; Carvalho, F.E.L.; Silveira, J.A.G. A resistant cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) genotype became susceptible to cowpea severe mosaic virus (CPSMV) after exposure to salt stress. *Journal of Proteomics*, v.94, p.200-217, 2019.
- Vieccelli, J.C.; Aucique-Pérez, C.E.; Dias, C.S.; Siqueira, D.L.; Rodrigues, F.A. Photosynthetic response of two mango cultivars submitted to salt stress and infected with *Ceratocystis fimbriata*. *Revista Scientia Agraria*, vol.19, p.20-27, 2018.
- Wang, Z.L.; Haseeb, M.; Zhang, R.Z. Response of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to salt-stressed maize plants. *Entomological Research*, v.51, p.552-558, 2021.
- Wang, Q.; Eneji, A.E.; Kong, X.; Wang, K.; Dong, H. Salt stress effects on secondary metabolites of cotton in relation to gene expression responsible for aphid development. *Plos One*, v.10, p.1-14. 2015.
- Wang, W.X.; Vinocur, B.; Shoseyov, O.; Altman, A. Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: physiological and molecular considerations. *Acta Horticulturae*, v.560, p.285-292, 2001.
- You, M. P.; Colmer, T. D.; Barbetti, Martin J. Salinity drives host reaction in *Phaseolus vulgaris* (common bean) to *Macrophomina phaseolina*. *Functional Plant Biology*, v.38, p.984-992, 2011.

SISTEMAS DE MICROIRRIGAÇÃO PARA USO DE ÁGUAS SALINAS

Antonio Pires de Camargo^{1*}, José Antônio Frizzone², José Dantas Neto³, Vera Lúcia Antunes de Lima³

RESUMO: Este capítulo apresenta fundamentos sobre sistemas de microirrigação para uso de águas salinas. Inicialmente são discutidos aspectos de qualidade da água para microirrigação, analisando-se riscos de obstrução de emissores por agentes físicos, químicos e biológicos e riscos de salinização de solos, bem como estimativas de necessidade de lixiviação para controle de salinidade no perfil de solo explorado pelo sistema radicular das plantas. Na sequência são apresentadas informações sobre a distribuição de água e de sais no solo ao se utilizar microirrigação e conceitos de projeto do sistema de irrigação. Por fim, são discutidos aspectos de coleta e disposição da água de drenagem de áreas irrigadas com águas salinas.

Palavras-chave: qualidade da água, obstrução dos emissores, salinização do solo, água salobra

1 Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP, Campinas - SP, Brasil

2 Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - USP, Piracicaba - SP, Brasil

3 Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande - PB, Brasil

* Autor correspondente: apcpires@unicamp.br

MICRO-IRRIGATION SYSTEMS FOR THE USE OF SALINE WATERS

ABSTRACT: This chapter presents fundamentals about micro-irrigation systems for the use of saline waters. Initially, aspects of water quality for micro-irrigation are discussed, analyzing risks of clogging of emitters by physical, chemical, and biological agents and risks of soil salinization, as well as estimates of the leaching requirements to control salinity in the soil profile explored by the root system. Information is presented on the distribution of water and salts in the soil when using micro-irrigation and irrigation system design concepts. Finally, aspects of collection and disposal of drainage water from areas irrigated with saline waters are discussed.

Key words: water quality, clogging of emitters, soil salinization, brackish water

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos combinada com a disponibilidade limitada de água com qualidade apropriada para uso na agricultura irrigada requer o emprego de métodos de irrigação cada vez mais eficientes e técnicas que permitam incorporar o uso de águas de qualidade inferior nos sistemas de produção agrícola. O uso de águas salinas é uma opção para a agricultura irrigada, contudo cuidados no uso dessas águas devem ser observados no intuito de limitar impactos negativos ao desempenho das culturas agrícolas e ao meio ambiente.

O manejo da irrigação com águas salinas deve incluir o monitoramento da salinidade do solo e a aplicação de lâminas de irrigação adicionais para a lixiviação do excesso de sais da camada de solo de interesse, a fim de reduzir riscos de salinização do solo. A aplicação de águas salinas via sistemas de microirrigação também requer atenção para que rotinas periódicas de manutenção sejam executadas a fim de que se preserve o desempenho potencial do sistema de irrigação.

Sistemas de microirrigação costumam ser projetados e operados para irrigar apenas uma fração da área de cultivo e para aplicar pequenas lâminas de irrigação em alta frequência, a fim de manter a umidade do solo sempre próximo do ideal e favorecer o desempenho potencial das culturas. Utilizando-se águas salinas, as irrigações frequentes e a manutenção da umidade do solo elevada contribuem para reduzir a concentração dos sais dissolvidos na solução do solo, conduzindo a níveis de potencial osmótico toleráveis pelas plantas. Além disso, para o caso de irrigação por gotejamento, não há o molhamento do dossel durante os eventos de irrigação, eliminando possíveis danos decorrentes da aplicação de água e acúmulo de sais sobre a superfície das folhas.

Sistemas de microirrigação projetados, instalados, operados e com a devida manutenção também se destacam pelo potencial desempenho, o que contribui para o uso racional e economia de água destinada para a irrigação. De modo geral, o desempenho de sistemas de irrigação é quantificado por indicadores de eficiência e uniformidade na aplicação da água. Em sistemas de microirrigação, particularmente nos sistemas de irrigação por gotejamento, a eficiência de aplicação pode ser próxima do ideal já que as perdas de água por deriva e evaporação são desprezíveis, as perdas por escoamento superficial não ocorrem e as perdas por percolação são controladas conforme as necessidades de lixiviação do excesso de sais da zona de solo explorada pelo sistema radicular da cultura. Em termos de uniformidade de irrigação, a variável de interesse nesses sistemas é a vazão dos emissores. Na etapa de projeto, um dos critérios de dimensionamento das subunidades do sistema de irrigação consiste em assegurar que a variação de vazão dos emissores não ultrapasse 10%. Após instalação do sistema, a avaliação periódica da vazão dos emissores permite verificações baseadas em indicadores de uniformidade, dentre os quais se recomenda o Coeficiente de Uniformidade Estatística (CUE). Mesmo em sistemas adequadamente projetados e instalados, há a necessidade de monitoramento da uniformidade já que esta pode ser prejudicada

pela obstrução de emissores, por perfurações e vazamentos em canalizações, ou ainda, por pressão de operação inadequada.

Como limitações para a adoção de sistemas de microirrigação destacam-se os custos de investimento e manutenção do sistema. O elevado custo de investimento deve-se principalmente ao fato de que nesses sistemas instala-se uma rede fixa de tubulações em toda a área irrigada. O nível de automação do sistema também eleva os custos de investimento, mas pode ser benéfico já que propicia redução dos custos variáveis decorrentes de mão-de-obra para controle da irrigação. Não menos importante, a infraestrutura para filtragem e eventual tratamento da água de irrigação é um componente de custo, podendo caracterizar custo impeditivo de investimento e manutenção a depender da qualidade da água de irrigação. O uso de águas salinas evidentemente é um complicador em termos de qualidade de água, podendo aumentar os custos de investimento e manutenção de sistemas de microirrigação. Ainda assim, sistemas de microirrigação apresentam características que conferem aptidão para uso de águas salinas via irrigação, desde que o projeto, instalação, operação e manutenção sejam adequados.

2 QUALIDADE DA ÁGUA PARA MICROIRRIGAÇÃO

Em etapas iniciais do projeto de sistemas de irrigação é comum que sejam necessários levantamentos para determinar se há água em quantidade suficiente para atender as necessidades hídricas da cultura na área a ser irrigada e para o eventual controle da salinidade no perfil de solo de interesse. A fração das necessidades hídricas no período de máxima demanda que não seja suprida por precipitações, deve ser fornecida via irrigação.

No caso de sistemas de microirrigação, além de avaliar a disponibilidade de água em termos de quantidade, é essencial a avaliação dessa disponibilidade em termos de qualidade da água. A natureza e a composição do solo, sobre o qual ou através do qual a água escoar, interferem na qualidade final da água. Sendo assim, a análise de qualidade da água de irrigação em laboratórios especializados é obrigatória nas etapas de planejamento e projeto desses sistemas.

Em sistemas de irrigação por gotejamento, os dispositivos responsáveis pelo controle de vazão e aplicação da água são os gotejadores. Embora exista uma diversidade de modelos de gotejadores para irrigação, a maior parte dos modelos atuais apresenta vazões entre 0,5 e 4,0 L h⁻¹. Muitas vezes, os gotejadores são constituídos por pequenos canais tortuosos (i.e., labirintos), cujas dimensões da seção de escoamento costumam ser inferiores a 1 mm. Considerando o pequeno tamanho da seção de escoamento em labirintos, há preocupações relacionadas à qualidade da água de irrigação e risco de obstrução dos emissores. Em sistemas de irrigação por microaspersão, os problemas de obstrução também existem, mas como o escoamento ocorre através de orifícios ou bocais de dimensões maiores, os problemas não costumam ser tão severos quanto em sistemas de irrigação por gotejamento.

Em cenários de uso de águas salinas, há ainda preocupações adicionais referentes ao risco de salinização e, ou sodificação do solo. O uso de águas de baixa qualidade combinado com o manejo inadequado da irrigação, além de prejudicar o desenvolvimento das culturas, pode ocasionar degradação do solo, contaminação de lençol freático e, em casos extremos, tornar as áreas improdutivas e de difícil recuperação.

Na sequência, os aspectos relacionados à qualidade da água de irrigação são analisados em dois grupos de risco: obstrução de emissores e salinização de solos.

2.1 Obstrução de emissores

Os processos de obstrução de emissores são influenciados por características da água de irrigação e pela geometria dos emissores. No que se refere a qualidade da água, problemas são causados por agentes físicos, químicos e, ou biológicos, que podem atuar de modo isolado ou combinado, conforme as características da água de irrigação e as condições locais. Na maioria das vezes, os problemas provêm de filtragem insuficiente, tratamento químico inadequado da água ou limpeza pouco frequente ou inapropriada das linhas de irrigação. Entretanto, nem sempre esses problemas podem ser evitados mediante manejo e, por isso, emissores menos sensíveis à obstrução são importantes.

A obstrução de emissores compromete a uniformidade e a eficiência de sistemas de microirrigação, reduz a vida útil de componentes do sistema e aumenta os custos de manutenção. Deve-se destacar que sistemas de microirrigação sem a devida manutenção podem apresentar desempenho não satisfatório, anulando potenciais vantagens que usualmente concedem destaque a esses sistemas frente aos demais.

Para a estimativa preliminar do risco de obstrução de emissores em função de características relacionadas à qualidade da água, é comum considerar a classificação apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação básica do risco de obstrução de emissores em função de parâmetros de qualidade da água. Fonte: Nakayama & Bucks (1991)

Parâmetro	Unidade	Grau de restrição ao uso		
		Baixo	Moderado	Severo
Sólidos suspensos totais	mg L ⁻¹	< 50	50-100	>100
pH	mg L ⁻¹	<7,0	7,0-8,0	>8,0
Sólidos dissolvidos totais	mg L ⁻¹	<500	500-2000	>2000
Manganês	mg L ⁻¹	<0,1	0,1-1,5	>1,5
Ferro	mg L ⁻¹	<0,2	0,2-1,5	>1,5
Sulfeto de hidrogênio	mg L ⁻¹	<0,2	0,2-2,0	>2,0
População bacteriana	UFC mL ⁻¹	<10000	10000-50000	>50000

2.1.1 Agentes físicos

Os agentes físicos de obstrução são componentes orgânicos e inorgânicos transportados na água de irrigação ou introduzidos acidentalmente nas tubulações durante a montagem e, ou manutenção do sistema. Os agentes físicos podem ser partículas inorgânicas suspensas (areia, silte, argila, resíduos plásticos, metais), organismos diversos (organismos aquáticos, artrópodes) e outros sedimentos ou materiais orgânicos.

Os sólidos totais (ST) correspondem ao material residual que permanece em um recipiente após a evaporação da amostra e a subsequente secagem em forno a uma determinada temperatura (Di Bernardo et al., 2017). Os ST incluem os sólidos suspensos totais (SST) e os sólidos dissolvidos totais (SDT). O método padrão para determinação de SST emprega papel filtro fabricado em fibra de vidro, que é capaz de reter partículas geralmente maiores do que 0,45 μm (APHA, 2017). A fração de sólidos que passa através desse filtro corresponde aos SDT.

A concentração de SST em águas de irrigação varia desde valores muito baixos (10 mg L^{-1}) até valores superiores a 1000 mg L^{-1} , sendo que em algumas situações determinações de turbidez servem como medidas indiretas da concentração de SST. Conforme apresentado na Tabela 1, a concentração de SST é uma informação obtida a partir da análise de água e costuma ser utilizada como única informação para avaliar o risco de obstrução por agentes físicos. Conforme será discutido, apenas a informação de concentração de SST pode não ser suficiente para avaliar o risco de obstrução e selecionar o método de remoção de sólidos suspensos da água de irrigação.

A filtração caracteriza o método mais comum para reduzir a concentração de SST e evitar que partículas relativamente grandes atinjam os emissores. Qualquer que seja o tipo de filtro, na maioria das vezes a filtração para irrigação é limitada à retenção de partículas maiores do que 74 μm ou 200 mesh (Pizarro, 1996) e, portanto, é esperado o acúmulo gradual de partículas finas na rede de tubulações do sistema de irrigação. Quando não se dispõe de recomendação de filtração fornecida pelo fabricante do emissor, recomenda-se a remoção de partículas suspensas com tamanho superior a 1/10 da menor abertura do emissor (Lamm et al., 2006; USDA, 2013). Para que se tenha noção de valores, as menores dimensões de labirintos de gotejadores comerciais de baixa vazão ($<1,5 \text{ L h}^{-1}$) podem ser inferiores a 0,5 mm, o que intensifica requisitos em termos de capacidade de remoção de sólidos suspensos.

Se a água de irrigação apresentar elevada concentração de SST com granulometria inferior a capacidade de retenção do sistema de filtração, haverá baixa eficiência na remoção de sólidos e acúmulo excessivo de sedimentos de pequena granulometria nas tubulações. Embora esses sedimentos sejam aparentemente pequenos para proporcionar a obstrução imediata dos emissores, sob dadas condições físico-químicas e hidrodinâmicas, é possível que ocorra a aglomeração de partículas após o sistema de filtração e a consequente obstrução de emissores (Niu et al., 2012; Bounoua et al., 2016; Oliveira et al., 2020).

Ao se utilizar gotejadores de baixa vazão ($<1,5 \text{ L h}^{-1}$), a análise de água em termos de agentes físicos de obstrução também deveria conter informações de distribuição de tamanho de partículas suspensas ou, no mínimo, a porcentagem de partículas menores do que

a capacidade de retenção do sistema de filtragem (e.g., 74 μm ou 200 mesh). O tratamento de água em situações com elevada concentração de SST de pequena granulometria poderia demandar outras técnicas de tratamento de água envolvendo tanques de sedimentação e até mesmo processos de coagulação e floculação, seguidos por sedimentação. Evidentemente, questões de viabilidade econômica se tornam críticas ao avaliar tais necessidades de tratamento de água para irrigação.

Em águas com concentração elevada de SST, sistemas de pré-filtragem (e.g., filtro hidrociclone, tanque de sedimentação) podem ser úteis para reduzir a concentração de sólidos suspensos e eliminar partículas de maior granulometria antes da filtragem principal. Isso contribui para evitar limpezas demasiadamente frequentes e favorecer a operação adequada do sistema de filtragem.

De modo geral, recomenda-se o uso de filtros de areia seguidos por filtros de tela ou discos. Os filtros de areia são efetivos para a retenção de materiais sólidos em suspensão, incluindo algas e outros materiais orgânicos e são dimensionados para operar em taxas de filtragem entre 30 e 60 $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ (Testezlaf et al., 2014). A granulometria retida por filtros de areia é função principalmente da granulometria da areia utilizada no filtro, sendo que a capacidade de retenção típica é da ordem de 74 μm ou 200 mesh (Haman & Zazueta, 2017). Já os filtros de disco ou tela, como recomendação geral, devem ser utilizados como filtros secundários ou de segurança. Embora esses filtros sejam eficientes na remoção de sólidos em suspensão, águas contendo algas podem ser problemáticas para a operação de filtros de tela e de discos. Apesar dos filtros de areia apresentarem custo de investimento superior a filtros de disco e tela, entenda-se que um bom sistema de filtragem é obrigatório em sistemas de microirrigação. A redução indevida de custos nesses componentes poderá reduzir drasticamente o desempenho e a vida útil do sistema de microirrigação.

Sabendo que sólidos suspensos com granulometria inferior à capacidade de retenção dos filtros gradualmente se acumularão nas tubulações, destaca-se a necessidade de rotinas periódicas de limpeza das tubulações. Flushing é o termo utilizado para se referir a abertura das extremidades de canalizações, com a finalidade de expelir sedimentos acumulados especialmente nos finais de trecho. Partículas em suspensão tendem a se acumular nos finais de linha, onde a velocidade de escoamento é baixa e insuficiente para manter as partículas em suspensão. Ao abrir os finais de linha e escoar água com velocidade suficientemente alta (no mínimo 0,5 m s^{-1} ; recomendado 1,0 m s^{-1}), os sedimentos são arrastados e há a limpeza das tubulações. A duração da rotina deve ser suficiente para que se observe visualmente o escoamento de água limpa no final dos trechos. O intervalo entre rotinas naturalmente varia conforme aspectos de qualidade de água. Na ausência de critérios e informações, recomenda-se que as rotinas de flushing sejam executadas em intervalos mensais.

2.1.2 Agentes químicos

Na Tabela 1 observa-se que o pH é um dos parâmetros a serem analisados para avaliar o risco de obstrução por agentes químicos e varia na faixa de 0 a 14. Valores de pH abaixo

de 7 correspondem a uma solução ácida e indicam maior concentração de íons H^+ , enquanto valores acima de 7 indicam solução básica ou alcalina e com maior concentração de OH^- . Em pH 7 há equilíbrio entre a concentração de H^+ e OH^- e tem-se uma solução neutra.

De modo geral, águas com pH baixo tendem a ser mais corrosivas ou agressivas a certos metais, paredes de concreto e superfícies de cimento-amianto, enquanto que águas com pH alcalino favorecem a formação de incrustações decorrentes da precipitação de compostos químicos (Richter & Azevedo Netto, 1991). Para fins de tratamento de água, quando os metais presentes na água encontram-se em estado solúvel, a sua remoção é conseguida elevando-se o pH da água a fim de favorecer a formação de precipitados (Di Bernardo et al., 2017), que então podem ser removidos por processos de sedimentação e, ou filtração.

A concentração de sólidos dissolvidos totais (SDT) e a condutividade elétrica (CE) são variáveis correlacionadas que servem como indicadores de salinidade da água. A CE expressa a facilidade com que uma solução aquosa conduz corrente elétrica e depende principalmente da concentração de íons e da temperatura da solução. Quanto maior a concentração de sais dissolvidos, maior o valor de SDT ou da CE. Entretanto, é importante assimilar que a CE isoladamente não é suficiente para determinar quais íons estão presentes na solução e qual é a concentração de cada um desses íons. Dependendo dos íons e respectivas concentrações presentes na solução, pode haver a interação entre íons e a formação de precipitados, sendo que nesses casos uma concentração elevada de SDT pode oferecer risco de obstrução de emissores. Além disso, maior concentração de SDT pode favorecer o desenvolvimento de microrganismos na água. Sabendo que a CE é influenciada também pela temperatura, condições de temperatura elevada da água também são mais problemáticas, pois podem acelerar reações químicas, reduzir a solubilidade de alguns compostos químicos e intensificar a atividade de microrganismos.

A redução da concentração de SDT pode ser obtida por processos empregando osmose reversa, resinas de troca iônica e outros, porém os custos de tais processos de tratamento de água são impeditivos para a maioria das aplicações agrícolas. Quando necessário, uma alternativa para viabilizar o uso de águas salinas consiste na mistura de águas de boa qualidade com águas salinas em uma proporção que conduza a CE tolerável pela cultura.

A alcalinidade indica a capacidade da água neutralizar ácidos, sendo influenciada pela concentração de íons bicarbonato (HCO_3^{2-}), carbonato (CO_3^{2-}) ou hidroxila (OH^{2-}). Na faixa de pH entre 4,4 e 8,3, comum em águas de irrigação, a alcalinidade da água é devido somente a concentração de íons bicarbonato. Quanto maior a alcalinidade da água, maior a dificuldade oferecida para alterações no pH e maior a quantidade de ácido requerida para reduzir o pH da água. Em geral a alcalinidade da água é expressa em $mg\ L^{-1}$ de $CaCO_3$. Deve-se tomar cuidado para não confundir águas de elevada alcalinidade com águas cujo pH é alcalino, já que alcalinidade e pH são características distintas.

A dureza da água é influenciada principalmente pela concentração de íons de cálcio e magnésio, sendo expressa em $mg\ L^{-1}$ de $CaCO_3$. Para fins de tratamento de água para consumo humano, as águas podem ser classificadas em função da dureza conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Classificação da água em função da dureza. Fonte: Richter & Azevedo Netto (1991)

Classificação da água	Dureza (mg L ⁻¹ em CaCO ₃)
Mole	< 50
Dureza moderada	50 a 150
Dura	150 a 300
Muito dura	> 300

É comum o uso de águas subterrâneas provenientes de aquíferos de formação calcária para irrigação. Ao realizar o bombeamento de águas subterrâneas com concentração elevada de CO₂ dissolvido para a superfície, há a liberação de CO₂ para a atmosfera e consequente aumento espontâneo de pH da água, favorecendo a formação de precipitados de cálcio e de magnésio. Tais precipitados formam incrustações e agregados com potencial para a obstrução de emissores, válvulas, tubulações e outros dispositivos que compõem sistemas de irrigação.

Em sistemas de irrigação, a formação desses precipitados também é influenciada pela temperatura (Rizk et al., 2017), já que aumentos na temperatura reduzem a solubilidade do precipitado de carbonato de cálcio e magnésio. Além disso, o aquecimento das tubulações e da água devido a incidência de radiação solar reduz a solubilidade do CO₂, provocando a liberação de gás carbônico para a atmosfera e o aumento do pH da água, e isso favorece a formação de precipitados.

Para se avaliar o risco de formação de precipitados de carbonato de cálcio não basta analisar isoladamente a dureza da água, pois deve-se lembrar que cálcio e magnésio são macronutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas e poderão estar presentes na solução nutritiva aplicada via fertirrigação. A avaliação do risco de formação de precipitados de carbonato de cálcio pode ser realizada com base no índice de saturação de Langelier (ISL). O ISL é função do pH, concentração de cálcio, alcalinidade, temperatura e concentração de SDT. Águas cujo valor de ISL é positivo favorecem a formação de precipitados e incrustações, enquanto águas com ISL negativo são corrosivas (Tabela 3). Para ISL próximo de zero a água é dita estável e não provoca nem incrustação e nem corrosão. Para sistemas de microirrigação a maioria dos componentes são fabricados em material plástico e por este motivo apenas águas que favoreçam a formação de incrustações são parte das preocupações. O cálculo de ISL pode ser realizado utilizando calculadoras online como a disponível em: www.lenntech.com/calculators/langelier.

Tabela 3. Valores de referência para interpretação do Índice de Saturação de Langelier - ISL (Richter, 2009)

Classificação da água	ISL
Média a forte incrustação	+0,5 a +2,0
Levemente incrustante	+0,2 a +0,5
Equilíbrio	0
Levemente corrosiva	-0,2 a -0,5
Média a forte corrosão	-0,5 a -2,0

A deposição de precipitados de CaCO_3 também é influenciada pelo material e pela rugosidade da superfície sobre a qual ocorrerá a deposição do precipitado. Quanto maior a rugosidade, maior a tendência de formação de incrustações e maior a força com que incrustações de CaCO_3 se aderem à superfície (Keysar et al., 1994).

A aplicação de ácidos em sistemas de irrigação serve para manter o pH da água em uma faixa que não favorece a precipitação química, ou ainda, para dissolver depósitos de precipitados já aderidos nas canalizações e componentes do sistema. Para o caso dos precipitados de carbonato de cálcio e magnésio, uma estratégia de prevenção da formação de precipitados é o controle contínuo de pH da água a fim de manter o ISL na faixa de classificação entre equilíbrio e levemente corrosivo. Dependendo da alcalinidade da água, a quantidade de ácido requerida para o controle contínuo de pH é inviável economicamente. A outra estratégia aplicável a irrigação, consiste na aplicação periódica de ácido no sistema com a finalidade de dissolver eventuais incrustações e precipitados já formados. A recomendação prática para dissolver incrustações oriundas de precipitados químicos consiste em baixar o pH da água para valores entre 2 e 3 e adotar tempo de injeção igual ao tempo de avanço característico do sistema de irrigação ou da unidade operacional em questão. Ao final da rotina de aplicação de ácidos, recomenda-se sempre escoar água limpa no sistema. Os ácidos mais comuns para uso em irrigação são o ácido fosfórico, clorídrico, nítrico e sulfúrico. O intervalo entre essas rotinas de manutenção naturalmente varia de acordo com a qualidade da água e condições locais, sendo que manutenção em intervalos mensais serve como um valor prático de referência.

Águas contendo ferro e manganês em concentrações que oferecem risco de obstrução dos emissores são comuns no Brasil. Em geral, concentrações relativamente altas de ferro e manganês são encontradas nos seguintes casos: a) águas superficiais contendo matéria orgânica; b) águas subterrâneas agressivas (pH ácido, ricas em CO_2 , baixa ou nenhuma concentração de O_2); c) águas poluídas por resíduos líquidos e sólidos (Richter & Netto, 1991; Di Bernardo et al., 2017).

Muitas vezes o ferro solúvel encontra-se associado ao bicarbonato, enquanto o manganês solúvel encontra-se com o sulfato, embora outros ânions podem estar ligados a esses metais. Águas contendo ferro dissolvido (Fe^{2+}) podem ser límpidas e, se o ferro fosse mantido na forma dissolvida, ao escoar pelo sistema não haveria risco de obstrução dos emissores. Entretanto, em contato com o oxigênio, o ferro é oxidado e forma precipitados de coloração avermelhada, podendo acumular-se nas canalizações como depósitos e incrustações, nocivos à operação e desempenho do sistema. Considerações similares são aplicáveis aos precipitados de manganês, entretanto esses têm coloração marrom ou mais escura.

A precipitação química do ferro e do manganês é influenciada por diversos fatores, dentre os quais se destaca o pH. Quando a água de irrigação contém pH alcalino e concentrações elevadas de ferro e, ou manganês, é esperado que ocorra a formação de precipitados.

A precipitação do ferro e manganês também pode ser promovida por microrganismos. O ferro dissolvido (Fe^{2+}) é utilizado como fonte de energia por ferro-bactérias, que se aderem às superfícies internas de tubulações convertendo Fe^{2+} em Fe^{3+} . A mucilagem composta

por microrganismos e precipitados favorece a retenção de partículas minerais diversas e a formação de agregados. Problemas severos de obstrução podem ser provocados por ferro-bactérias e precipitados de ferro (Figura 1).

Figura 1. Acúmulo de precipitados de ferro e mucilagem produzida por ferro-bactérias. Fonte: os autores



Bucks et al. (1979) recomendam que, para ser utilizada sem restrição na irrigação, a água deve apresentar concentração de ferro menor que $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ e que a utilização de águas com concentração de ferro maior do que $1,5 \text{ mg L}^{-1}$ em sistema de irrigação por gotejamento possui severas restrições, uma vez que apresenta alto risco de entupimento de gotejadores.

A oxidação em pH apropriado por aeração e, ou a aplicação de oxidantes químicos, seguida de sedimentação e, ou filtração para remoção dos precipitados são os processos de tratamento mais usuais para a remoção de ferro e manganês da água (Di Bernardo et al., 2017).

A oxidação de ferro e manganês por aeração é um processo influenciado pelo pH, temperatura e concentração de oxigênio na água. Quanto maior o pH da água, mais rápido é o processo de oxidação por aeração. Em pH 7, mais de 70% do ferro é oxidado quando exposto ao ar por 30 minutos, mas a oxidação do manganês é mais lenta (Netafim, 2016). Como recomendação geral, após a aeração, a água deve ser mantida em um reservatório por tempo suficientemente longo para que a reação de precipitação seja finalizada e para que o precipitado possa então ser removido por sedimentação e, ou filtragem.

Uma vez que problemas de obstrução por precipitados de ferro e, ou manganês estejam estabelecidos, a desobstrução do sistema e recuperação pela aplicação de ácidos serve como tentativa para dissolver os precipitados, mas pode não ser eficaz. Os precipitados de ferro e manganês não são facilmente dissolvidos como os precipitados de carbonato de cálcio e magnésio. Portanto, em águas contendo ferro e, ou manganês, a adoção de estratégias preventivas é essencial para evitar a substituição de tubo gotejadores e de outros componentes do sistema.

Águas contendo sulfeto de hidrogênio (H_2S) apresentam odor característico de ovo podre. Sulfetos são encontrados em águas com baixa concentração de oxigênio dissolvido, sendo que bactérias oxidam o sulfeto de hidrogênio e contribuem para processos de obstrução de emissores devido a interações químico-biológicas.

Em condições nas quais se utiliza fertigação, é essencial o uso de fertilizantes solúveis, tomando-se a precaução de não misturar fertilizantes incompatíveis e em concentrações que possam promover a formação de precipitados e a obstrução dos emissores. Ao misturar fertilizantes é sempre importante identificar as concentrações limites a partir das quais é esperada a formação de precipitados.

2.1.3 Agentes biológicos

A obstrução de filtros e emissores por agentes biológicos é um problema em sistemas de microirrigação. A presença de agentes biológicos na água de irrigação contribui para o desenvolvimento de biofilme no interior dos componentes do sistema, o que favorece a retenção de sedimentos diversos transportados pela água. Além disso, conforme já foi discutido, processos de precipitação de ferro, manganês e enxofre podem ser favorecidos por microrganismos. De modo geral, pode-se dizer que os agentes biológicos aceleram e acentuam os processos de obstrução, já que interagem com agentes físicos e químicos de obstrução.

Dentre os vários métodos para controle de agentes biológicos, o cloro apresenta baixo custo, ampla disponibilidade no mercado e serve tanto como desinfetante (biocida) quanto oxidante. Comercialmente, as principais fontes de cloro são: gás cloro (Cl_2 puro); hipoclorito de cálcio (60 a 85% de Cl_2), que é sólido; hipoclorito de sódio (7 a 13% de Cl_2), que é líquido. Em estações de tratamento de água, normalmente se utiliza o cloro gasoso, armazenado sob pressão em cilindros de aço, já que essa é a forma mais barata e eficiente para uso em grande escala (Richter, 2009). Entretanto, o cloro gasoso é um gás venenoso e corrosivo que requer cuidados para uso. Esse gás é letal em concentrações da ordem de 0,1% em volume ($1 L m^{-3}$) e, em concentrações não letais, provoca irritações nos olhos e trato respiratório (Richter, 2009). Em pequenos sistemas de tratamento, ou ainda, visando evitar riscos ao operador, o hipoclorito de sódio e o hipoclorito de cálcio são alternativos utilizados e de fácil manuseio.

Ao utilizar cloro, a desinfecção é proporcionada tanto pelo ácido hipocloroso ($HOCl$) quanto pelo íon hipoclorito (OCl^{ii}). Por ser um ácido fraco, o ácido hipocloroso dissocia-se na fase líquida, permitindo a formação do íon hipoclorito (OCl^{ii}). As proporções de e em água são influenciadas principalmente pelo pH, sendo que em $pH < 6,5$, o cloro estará na forma de ácido hipocloroso; $pH > 8,5$, o cloro estará na forma do íon hipoclorito; para valores de pH entre 6,5 e 8,5, haverá ambas as espécies e a proporção de cada forma é função do pH. A soma das concentrações molares do ácido hipocloroso e do íon hipoclorito é denominada cloro livre e este é expresso como , em $mg L^{-1}$.

A ação desinfetante do é 40 a 80 vezes maior do que e por este motivo a eficiência da cloração é maior em pH inferior a 7 (Goyal et al., 2016). A cloração visando desinfecção

não é eficaz em condições de pH acima de 7, sendo necessário ajuste do pH da água para otimizar a ação biocida deste processo de desinfecção.

A injeção de cloro em sistemas de irrigação pode ser realizada de forma contínua ou intermitente. A injeção contínua é o método mais eficiente, porém apresenta elevado consumo, já que o cloro é injetado em todos os eventos de irrigação ao longo do ciclo de cultivo. Recomenda-se que a concentração de cloro no ponto de injeção não ultrapasse 30 mg L^{-1} e que a concentração residual de cloro determinada no ponto mais distante da injeção seja de $0,5$ a $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ (Netafim, 2016). A concentração residual é definida como a diferença entre o cloro injetado e o cloro demandado pelo sistema.

Na injeção intermitente de cloro, o intervalo entre aplicações varia conforme a qualidade da água e as condições locais, podendo ocorrer em intervalos semanais, mensais, etc. Recomenda-se que a concentração de cloro no ponto de injeção não ultrapasse 30 mg L^{-1} e que a concentração residual de cloro determinada no ponto mais distante da injeção seja de 2 a 3 mg L^{-1} (Netafim, 2016).

Para ambas as formas de cloração, a concentração de cloro no ponto de injeção deve ser ajustada a fim de obter a concentração residual indicada. Concentrações de cloro acima de 30 mg L^{-1} podem provocar danos ao sistema radicular de plantas jovens (Pizarro, 1996). Existem rotinas de supercloração que podem ser empregadas na tentativa de recuperação de gotejadores obstruídos por material orgânico e biológico. Deve-se tomar cuidado com a concentração máxima de cloro adotada nessas rotinas, pois o cloro em concentrações excessivas é agressivo e pode danificar diafragmas de emissores autocompensantes, de válvulas hidráulicas e outros componentes do sistema.

O ponto ideal para a injeção do cloro é próximo à motobomba do sistema de irrigação, o que impede assim o crescimento de bactérias na tubulação principal e protege todo o sistema de irrigação (Netafim, 2016). O tempo de contato do cloro com o ponto mais distante do sistema de irrigação deve ser no mínimo 45 minutos para que haja eficácia na rotina de cloração (Pizarro, 1996).

Rotinas de limpeza química, como a aplicação de cloro e ácidos, são essenciais, pois permitem reduzir a população de microrganismos e dissolver precipitados químicos nas tubulações e componentes do sistema de irrigação, incluindo o interior dos labirintos de gotejadores. Após rotinas de limpeza química, recomenda-se a execução da rotina de flushing para que impurezas diversas desprendidas pelo tratamento químico sejam imediatamente expelidas das tubulações.

Ainda sobre os agentes biológicos é importante mencionar as algas, que se desenvolvem principalmente na presença de luz e próximo da superfície de lagos e outros reservatórios. As algas são plantas microscópicas que produzem seu próprio alimento por meio da conversão de energia luminosa e nutrientes. Águas ricas em nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, favorecem o desenvolvimento de algas. A presença de algas na água pode prejudicar o desempenho do sistema de filtragem, sendo que quantidades excessivas de algas podem provocar a rápida obstrução dos filtros, demandando limpezas muito frequentes. Em águas contendo algas, filtros de areia devem ser utilizados como sistema de filtragem primário.

Tubulações e demais componentes do sistema fabricados em material opaco também inibem o desenvolvimento de algas, já que muitas delas necessitam de luz.

Quando possível, a captação de água em profundidade superior a 2 m é recomendada para evitar a sucção de algas pelo sistema, já que o desenvolvimento desses organismos ocorre principalmente próximo da superfície do reservatório (Pizarro, 1996). O controle de algas em reservatórios pode ser realizado pela aplicação de algicidas diversos, dentre os quais o mais comum é o sulfato de cobre, que pode ser aplicado na dose de até 0,6 g m⁻² de superfície do lago (Camberato & Lopez, 2021). O sulfato de cobre não é recomendado quando há tubulações de alumínio ou quando há a criação de peixes no mesmo reservatório. Considerando a ação biocida do cloro, a injeção de cloro no sistema de irrigação também contribui para controlar algas que venham a se desenvolver em componentes do sistema.

2.2 Salinidade da água de irrigação e riscos de salinização do solo

Salinização refere-se ao acúmulo gradual de sais na camada de solo em que se concentra o sistema radicular das plantas, o que é indesejável e prejudicial ao desenvolvimento da maioria das culturas de interesse agrícola. Considerando que a condutividade elétrica (CE) é de fácil determinação e varia quase linearmente com a concentração de sólidos dissolvidos na solução do solo, comumente a CE é utilizada como indicador de salinidade na água e no solo (Medeiros et al., 2016).

A salinização de solos pode ser decorrente de processos naturais relacionados a aspectos de formação de solos e intemperismo, sendo que alguns solos e regiões são mais propensos a esses processos. Em regiões nas quais a incidência de chuvas é regular e em quantidade suficiente, as precipitações proporcionam a lixiviação de sais para camadas profundas e isso caracteriza um processo natural e desejável de controle da salinidade na camada de solo de interesse agrícola. Nessas regiões, problemas de salinização de solos são menos prováveis e, caso ocorram, são decorrentes de más práticas agrícolas. Entretanto em regiões de clima árido e semi-árido, e ainda em cultivos em ambiente protegido, os riscos de salinização são maiores já que esse processo natural de lixiviação de sais pela ação de precipitações é deficiente ou inexistente.

Qualquer que seja a condição climática, em condições de irrigação utilizando águas salinas os riscos são maiores, já que a cada evento de irrigação adiciona-se uma quantidade de sais na área de cultivo e, gradativamente isso pode se tornar um problema caso não sejam adotadas medidas de monitoramento e controle de salinidade na camada de solo de interesse. Em uma classificação proposta por Ayers & Westcot (1989), águas com condutividade elétrica acima de 0,7 dS m⁻¹ apresentam restrição moderada de uso, enquanto em valores acima de 3 dS m⁻¹ há restrição severa de uso, já que tais águas podem levar a níveis de potencial osmótico prejudiciais para as culturas e riscos de salinização gradual do solo. Como exemplo, uma lâmina diária de irrigação de 5 mm (50 m³ ha⁻¹) utilizando uma água com 640 mg L⁻¹ de SDT (condutividade elétrica de aproximadamente 1 dS m⁻¹), conduz a adição de 32 kg ha⁻¹ de sais solúveis a cada evento de irrigação, o que é significativo ao considerar o número de

eventos de irrigação ao longo de múltiplos ciclos de cultivo. Sobretudo, deve-se entender que processos de salinização, embora sejam lentos, podem tornar solos improdutivos, cuja recuperação apresenta elevado custo.

Além disso, alguns locais apresentam lençol freático raso e salino. Nessas condições, o uso combinado de sistemas de irrigação e de drenagem pode ser necessário para assegurar controle de salinidade na camada de solo de interesse e para manter o lençol freático salino suficientemente distante da zona radicular da cultura. Nesses cenários, o manejo inadequado da irrigação e a drenagem insuficiente poderão provocar a elevação do lençol freático salino, o que seria prejudicial para o perfil de solo de interesse e para a cultura.

O acúmulo de sais solúveis no perfil de solo explorado pelo sistema radicular das culturas irrigadas é um problema que afeta seriamente a produtividade das culturas em todo o mundo, principalmente em regiões áridas e semi-áridas. Estima-se que aproximadamente 30% dos solos irrigados no mundo são afetados por problemas de salinidade (Hopmans et al., 2021). Uma vez que os problemas de salinização de solo estejam estabelecidos, há a possibilidade de emprego de técnicas para recuperação do solo, contudo os custos podem ser elevados e até mesmo inviáveis para atividades agrícolas. As técnicas mais básicas para a recuperação de solos degradados consistem na lixiviação do excesso de sais do solo pelo emprego combinado de sistemas de irrigação e sistemas de drenagem subterrânea. Além disso, é esperado que a água coletada pelo sistema de drenagem apresente concentração elevada de sais, sendo que a disposição dessa água deve ser acompanhada do devido tratamento a fim de evitar impactos ao meio ambiente.

A salinização do solo apresenta efeitos negativos tanto para o desenvolvimento das culturas quanto para as propriedades do solo. O acúmulo de sais no solo reduz o potencial osmótico e o potencial total de água no solo, o que dificulta a absorção de água e nutrientes pelas plantas. As aproximações matemáticas entre potencial osmótico, condutividade elétrica e concentração de sólidos dissolvidos totais na solução do solo são apresentadas abaixo:

$$\Psi_o = - 36 CE \quad (1)$$

$$\Psi_o = \frac{- 36}{640} SDT \quad (2)$$

em que: Ψ_o é o potencial osmótico da solução do solo (kPa); C é a condutividade elétrica da solução do solo (dS m⁻¹); S é a concentração de sólidos dissolvidos totais na solução do solo (mg L⁻¹).

Em cenários extremos de salinidade do solo, mesmo que a umidade do solo seja adequada, a planta enfrentará dificuldades para absorção de água e exibirá sintomas de estresse hídrico, que na verdade são decorrentes do estresse salino. Embora todas as plantas apresentem certa capacidade de adaptação ao estresse salino, há limites. A tolerância das plantas a salinidade depende de fatores como espécie vegetal, cultivar, estágio fenológico, composição salina do meio, intensidade e duração do estresse e das condições edafoclimáticas e, ainda, manejo da irrigação (Yeo, 1999; Silva et al., 2003; Gheyi et al., 2005).

É possível estimar a redução de produtividade das culturas em função do aumento da salinidade do solo e, ou da água de irrigação, sendo que isso é particularmente importante

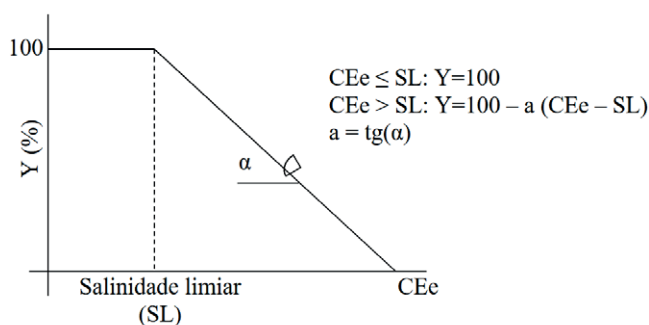
em cenários nos quais há a necessidade de irrigar com águas salinas. Até um dado valor denominado salinidade limiar, que é expresso pela condutividade elétrica do extrato de saturação (CEe), não há redução da produtividade da cultura (Tabela 4). Quando a CEe ultrapassa o limiar, estima-se que a redução de produtividade segue uma função linear (Figura 2). Tanto o limiar de condutividade elétrica quanto o coeficiente angular da equação variam em função da cultura, sendo que mais informações podem ser encontradas em Ayers & Westcot (1989).

Tabela 4. Valores de salinidade limiar e produtividade potencial (Y) para algumas culturas (Adaptado de Ayers & Westcot, 1989)

Cultura	Y		Cultura	Y		Cultura	Y	
	100%	90%		100%	90%		100%	90%
	CEe (dS m ⁻¹)			CEe (dS m ⁻¹)			CEe (dS m ⁻¹)	
Alface	1,3	2,1	Cebola	1,2	1,8	Pêssego	1,7	2,2
Alfafa	2,0	3,4	Cenoura	1,0	1,7	Pimenta	1,5	2,2
Algodão	7,7	9,6	Cevada	8,0	10,0	Rabanete	1,2	2,0
Amendoim	3,2	3,5	Espinafre	2,0	3,3	Repolho	1,8	2,8
Arroz	3,0	3,8	Feijão	1,0	1,5	Soja	5,0	5,5
Batata	1,7	2,5	Laranja	1,7	2,3	Sorgo	6,8	7,4
Batata doce	1,5	2,4	Milho	1,7	2,5	Tomate	2,5	3,5
Beterraba	4,0	5,1	Morango	1,0	1,3	Trigo	6,0	7,4
Brócolis	2,8	3,9	Nabo	0,9	2,0	Uva	1,5	2,5
Cana de açúcar	1,7	3,4	Pepino	2,5	3,3			

Y: Produtividade potencial da cultura para um dado limiar de salinidade; CEe: Condutividade elétrica do extrato de saturação. Fonte: Adaptado de Ayers & Westcot (1989)

Figura 2. Influência da salinidade na produtividade das culturas. Fonte: Adaptado de Maas & Hoffman (1977)



Além dos aspectos de concentrações elevadas de sais no solo e na água, há também preocupações com a proporção de sódio existente na água e no solo. Situações nas quais há excesso de sódio trocável no solo conduzem a dispersão de argilas e degradação da estrutura do solo com diversos impactos negativos relacionados a redução na permeabilidade e aeração do solo, maior suscetibilidade a problemas de compactação, dificuldade de penetração de raízes, riscos de selamento superficial e erosão. Solos afetados por sais podem ser classificados como solos salinos, salino-sódicos ou sódicos (Tabela 5).

Tabela 5. Classificação dos solos afetados por sais

Classificação	Condutividade elétrica no extrato de saturação a 25 °C	pH da pasta de saturação	PST
Solo salino	> 4 dS m ⁻¹	< 8,5	< 15%
Solo salino-sódico	> 4 dS m ⁻¹	> 8,5	> 15%
Solo sódico	< 4 dS m ⁻¹	> 8,5	> 15%

PST - porcentagem de sódio trocável. Fonte: Duarte et al., 2015.

A porcentagem de sódio trocável (PST) é um indicador da concentração de sódio no solo, calculado conforme Eq. 3.

$$PST = 100 \frac{Na^+}{CTC} \quad (3)$$

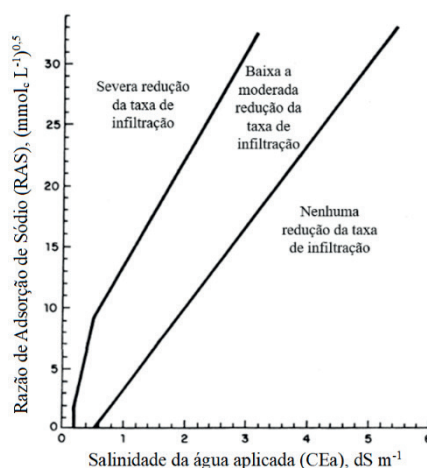
em que: e é a porcentagem de sódio trocável (%); c é a concentração de sódio trocável em (meq 100g⁻¹, ou cmol_c kg⁻¹, de solo); C é a capacidade de troca de cátions (meq 100 g⁻¹ ou cmol_c kg⁻¹, de solo).

De modo similar, a razão de adsorção de sódio (RAS) é um indicador da concentração de sódio em relação ao cálcio e magnésio na água, sendo calculado conforme Eq. 4.

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}} \quad (4)$$

em que: RAS é a razão de adsorção de sódio em (mmol_c L⁻¹)^{0,5}; Na^{+ii} , Ca^{++ii} e Mg^{++ii} são concentrações em meq L⁻¹ ou mmol_c L⁻¹.

O risco de sodificação e de degradação da estrutura do solo é determinado pela combinação de valores de condutividade elétrica da água e de RAS, conforme indicado na Figura 3.

Figura 3. Influência da condutividade elétrica da água de irrigação e da razão de adsorção de sódio (RAS) na infiltração de água no solo. Fonte: Adaptado de Ayers & Westcot (1989)

Ainda como efeitos da salinização do solo, algumas vezes a concentração elevada de determinados íons na solução do solo pode conduzir a desequilíbrios nutricionais ou

problemas de toxidez para as plantas. Dentre os íons possivelmente tóxicos para as plantas destacam-se íons de cloro, sódio e boro, sendo que mais detalhes são apresentados por Ayers & Westcot (1989).

2.3 Necessidade de lixiviação

Em condições de cultivo nas quais há a necessidade de controle de salinidade na camada de solo de interesse, a lâmina de irrigação deve ser suficiente para satisfazer as necessidades hídricas da cultura e para promover a lixiviação do excesso de sais do perfil de solo explorado pelo sistema radicular da cultura.

Sistemas de drenagem subterrânea em regiões úmidas têm como principal objetivo proporcionar o controle do nível do lençol freático, buscando adequada aeração no perfil de solo explorado pelas raízes da cultura. Em locais com lençol freático salino e raso, a manutenção do lençol freático em profundidade adequada evita o aumento da concentração de sais solúveis no perfil de solo de interesse.

A necessidade de lixiviação (NL) representa a quantidade extra de água que deve ser aplicada via irrigação para promover a lixiviação de sais e controle de salinidade na camada de solo de interesse. Quanto mais salina é a água de irrigação ou mais sensível é a cultura à salinidade, mais lixiviação deve existir para manter o rendimento da cultura em nível aceitável. A determinação da necessidade de lixiviação é função da CE da água de irrigação e da tolerância da cultura ao estresse salino, sendo calculada conforme Eq. 5 (Rhoades & Merrill, 1976), na qual valores de CEe são obtidos na Tabela 4. Vale salientar, para uma dada cultura, ao aceitar valores de CEe mais elevados do que a limiar, é esperada certa redução na produtividade da cultura, mas diminui-se a necessidade de lixiviação.

$$NL = \frac{CEa}{5CEe - CEa} \quad (5)$$

em que: NL é a necessidade de lixiviação mínima que se necessita para controlar os sais dentro do limite de tolerância da cultura, decimal; CEa é a salinidade da água de irrigação, $dS\ m^{-1}$; e, CEe é o valor limiar de condutividade elétrica do extrato de saturação, que representa a salinidade tolerada por determinada cultura (Tabela 4).

Determinada a necessidade de lixiviação, a lâmina total de irrigação é calculada pela Eq. 6.

$$I_{total} = \frac{I_{irrigacao}}{1 - NL} \quad (6)$$

em que: I_{total} é a lâmina total de irrigação (mm); $I_{irrigacao}$ é a lâmina de irrigação que satisfaz as necessidades hídricas da cultura (mm).

Medeiros et al. (2016) afirmam que o controle da salinização por meio de técnicas de prevenção é primordial e mais econômico e que as técnicas de recuperação do solo deverão ser utilizadas apenas se realmente necessárias, tendo em vista o grande volume de água envolvido e custos de aplicação. Segundo os autores a quantidade de água necessária para

prevenir a salinização dos solos irrigados (lavagem de manutenção) é diferente da quantidade necessária para recuperação dos solos salinos (lavagem de recuperação).

Uma forma de recuperação de solos afetados por sais é através da aplicação de grandes volumes de água (lâminas de lavagem de recuperação do perfil) desde que apresente viabilidade econômica. Segundo Rhoades & Loveday (1990), embora tenham sido desenvolvidos modelos determinísticos para simular a recuperação de solos salinos, as estimativas da quantidade de água de lixiviação necessária são baseadas em relações empíricas, derivadas de pesquisas e experiências de campo.

3 MICRO-IRRIGAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA E SAIS NO SOLO

As lavouras são irrigadas com água salina desde o início da agricultura irrigada. Em condições bem drenadas, a salinidade do solo se aproximará da salinidade da água de irrigação. A tolerância a salinidade de uma cultura de acordo com Richards (1954) é geralmente avaliada de acordo com três critérios: (a) capacidade da cultura de sobreviver em solo salino; (b) rendimento da cultura em solo salino; e (c) rendimento relativo da cultura em solo salino em comparação com o rendimento em solo não salino, sob condições de cultivo semelhantes.

As plantas são adversamente afetadas pelo potencial total da água da solução do solo, que é principalmente a soma dos potenciais matricial e osmótico (ambos em valores negativos). O advento da microirrigação tornou possível o uso de água com salinidade mais alta, usando irrigação de alta frequência para manter um perfil de umidade do solo estável e mais alto (potencial matricial próximo a zero). O uso de água salina para irrigação permite que águas de melhor qualidade sejam reservadas para uso doméstico.

Em várias regiões do mundo, as águas residuais da agricultura, bem como as águas residuais domésticas e industriais tratadas, estão sendo utilizadas para irrigação de culturas agrícolas, em projetos paisagísticos e outras aplicações. Os sistemas de microirrigação, em especial o gotejamento subsuperficial (Subsurface Drip Irrigation - SDI), mostraram sucesso no uso dessas águas para irrigação (Phene & Ruskin, 1995). Os sistemas SDI podem melhorar o manejo seguro de águas residuais tratadas porque a superfície do solo não é molhada e, portanto, o potencial de contaminação pelo ar é insignificante. Em locais onde o cultivo é possível durante todo o ano, o descarte contínuo dessas águas pode ser realizado sem o uso de grandes reservatórios. No entanto, podem ser necessárias instalações de armazenamento durante os períodos de baixa evapotranspiração ou precipitação excessiva. Em áreas onde a água é escassa e, ou cara, o uso de águas residuais tratadas, em irrigação por gotejamento subsuperficial (SDI) pode fornecer uma alternativa viável para o descarte convencional desses efluentes (USDA, 2013).

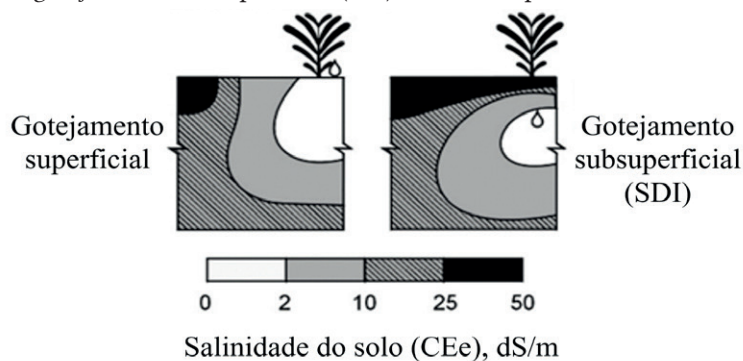
O meio de propagação da água aplicada por um microaspersor ou difusor é o ar, de forma que o volume de solo molhado depois que a água tenha penetrado no solo, pode assemelhar-se a um prisma reto de seção igual à superfície coberta pelo alcance do emissor. Quando a fonte de emissão é um gotejador, o meio de propagação é o solo e a distribuição da água

depende, fundamentalmente, das características do solo, da vazão do emissor e do volume aplicado. As experiências de Bresler (1977) demonstraram que para uma mesma vazão e volume aplicado, o diâmetro do bulbo molhado diminui com o aumento da profundidade e é menor em solos de textura mais grossa. Para uma determinada textura e vazão, o diâmetro molhado e a profundidade aumentam com o tempo de aplicação de água. No início da irrigação, molha-se uma superfície de solo muito pequena; mesmo com vazões tão baixas como de gotejadores, a vazão por unidade de superfície supera a taxa de infiltração do solo e a água se acumula na superfície do solo e vai formando uma poça cada vez maior.

Com o aumento da superfície molhada, a vazão por unidade de área diminui, com o tempo, iguala-se à taxa de infiltração e a poça para de crescer, criando uma área com maior teor de umidade sob ela. Antes de atingir este equilíbrio, a água já se movimentava dentro do solo, avançando horizontal e verticalmente até um determinado tempo após cessar a irrigação. Um volume de solo úmido (bulbo úmido) é então formado, cuja forma e dimensões dependem dos fatores mencionados acima.

Sob irrigação por gotejamento, a salinidade aumenta na direção do ponto de emissão para a periferia do bulbo molhado (Figura 4). Para o caso da irrigação gotejamento subsuperficial (SDI), há a tendência de que salinidade seja maior na superfície do solo devido a ascensão contínua de sais transportados por processos combinados de capilaridade e evaporação. O acúmulo de sais na superfície do solo constitui um perigo potencial porque chuvas leves podem movê-los para a zona das raízes. Nessas condições, recomenda-se manter o cronograma de irrigações após a incidência de precipitações pequenas (<50 mm) a fim de diluir e lixiviar sais que sejam deslocados pelo frente de molhamento decorrente da precipitação. Durante a irrigação por gotejamento, os sais também se concentram abaixo da superfície no perímetro do bulbo molhado formado por cada emissor, como se ilustra na Figura 4. Se este solo secar entre as irrigações, o movimento da água do solo em direção ao ponto emissor pode transportar sal do perímetro molhado para dentro da zona radicular. O movimento da água deve ser sempre do ponto de emissão para a periferia do bulbo molhado a fim de evitar danos por excesso de salinidade.

Figura 4. Ilustração de padrão típico de distribuição da salinidade no perfil de solo sob irrigação por gotejamento superficial e gotejamento subsuperficial (SDI). Fonte: Adaptado de Lamm et al. (2006)



4 PRINCÍPIOS DE PROJETO

4.1 Componentes do sistema

Sistema de microirrigação refere-se ao conjunto dos componentes físicos necessários para aplicar água ao solo em baixo volume e alta frequência. Este conjunto de componentes é instalado no campo seguindo uma distribuição previamente definida em projeto, baseada nas informações de topografia da área, cultura a ser explorada e suas variações, sistema de cultivo agrícola adotado, posição do ponto de captação de água e energia, dentre outros.

Os componentes mais comuns dos sistemas são: fonte de água; estação de bombeamento; estação ou cabeçal de controle; linha principal, linhas secundárias; cavaletes de subunidades ou de unidades de irrigação; linhas de derivação; linhas laterais; tubulações coletoras no final das linhas laterais (opcional); e outros itens. Resumidamente, em ordem sequencial, após a estação de controle a água é conduzida pela linha principal até as linhas secundárias, estas conduzem até as linhas de derivação e destas até as laterais, onde estão contidos os emissores para a aplicação da água.

Além disso, um sistema de microirrigação deve incluir componentes necessários para a prevenção de problemas de obstrução de emissores e para rotinas de manutenção do sistema de irrigação. Recomenda-se que o sistema inclua: (a) sistema de filtragem para reduzir a concentração de sólidos suspensos e evitar que partículas relativamente grandes atinjam os emissores; (b) um método que proporcione a injeção de químicos logo após o sistema de bombeamento, a fim de que rotinas de manutenção do sistema possam ser executadas periodicamente; (c) capacidade de bombeamento suficiente para a execução periódica de rotinas de limpeza de tubulações (flushing); (d) métodos e estruturas adicionais para tratamento de água, conforme a qualidade da água.

A estação de controle é o local onde são reunidos os equipamentos para filtragem da água (filtros de areia e de discos ou tela), injetores de fertilizantes e de outros produtos químicos, controladores eletrônicos e hidráulicos, medidores e reguladores de pressão e vazão, ventosas e outras válvulas. Na maioria dos sistemas, a estação de controle está localizada próximo ou junto à estação de bombeamento. Recomendações diversas sobre componentes e requisitos relacionados a estações de controle são apresentados na norma internacional ISO 11738 (2021).

A partir da estação de controle a água é derivada para a área irrigada e a linha de recalque passa a ser chamada de linha principal. Esta é responsável por conduzir a água de irrigação até as linhas secundárias. Nos cavaletes das subunidades de irrigação (Figura 5) existem as válvulas de controle do sistema, cada uma com sua finalidade. Estas válvulas podem ser manuais ou automáticas. Os cavaletes com válvulas que controlam a irrigação podem estar próximos entre si e distantes das unidades. Este tipo de disposição facilita a operacionalidade do sistema, principalmente quando este é operado manualmente, uma vez que evita perda de tempo na irrigação pela necessidade de deslocamento até as válvulas.

Das linhas secundárias a água segue para as linhas de derivação e para as linhas laterais, de onde é aplicada pelos emissores.

Em algumas situações não existem linhas secundárias e as linhas de derivação partem diretamente da linha principal. Em uma mesma área podem existir as diferentes configurações. As linhas secundárias, de derivação e principal podem ser compostas por diferentes diâmetros, sendo que o número de diâmetros associados em série é uma decisão econômica. As linhas laterais e de derivação são dimensionadas com critérios de uniformidade de irrigação e as demais com critérios econômicos. Sempre que possível as linhas laterais devem estar em nível e as linhas de derivação em declive.

Figura 5. Vista dos cavaletes de unidades de irrigação. (Fonte: Frizzone et al. (2012))



As linhas laterais podem ser instaladas em apenas um lado da linha de derivação ou em ambos os lados. Em algumas condições topográficas desfavoráveis e em subunidades grandes, podem ser necessárias linhas de derivação auxiliares, que são conectadas às linhas de derivação e operam paralelas a elas. As linhas principal, secundárias e de derivação podem estar dispostas sobre a superfície do terreno ou enterradas.

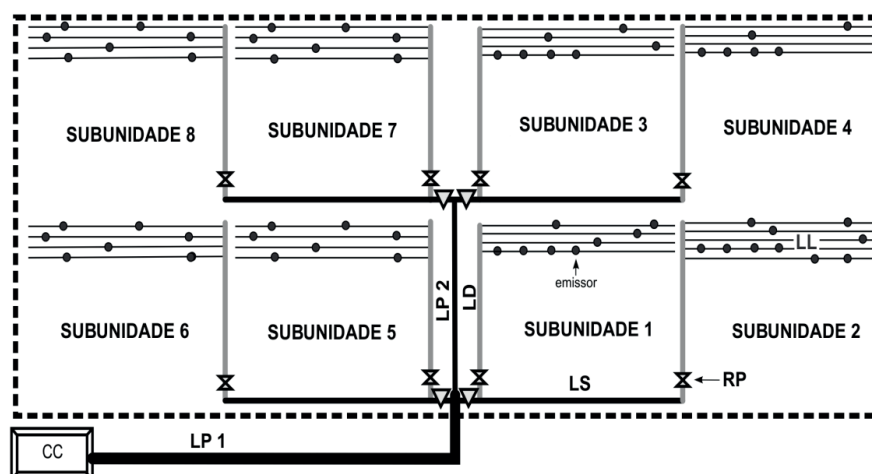
Em terrenos planos e com laterais dos dois lados de uma linha de derivação, a conexão das laterais à derivação é feita de forma a se obter o mesmo número de emissores de cada lado. Sendo a declividade significativa, a energia de posição pode ser balanceada pelo deslocamento do ponto de conexão de forma que na parte em aclave da linha lateral opere com menor número de emissores, ou seja, menor vazão, do que na parte em declive. A mesma estratégia pode ser utilizada para a conexão da linha principal com as secundárias ou de derivação.

A área a ser irrigada por sistemas de microirrigação deve ser dividida em subunidades de irrigação, abastecidas por uma rede hidráulica, a partir de uma estação de controle. A divisão da área irrigada em subunidades de irrigação traz aspectos vantajosos como: (i) permite irrigar partes da área ao longo do tempo, o que confere maior flexibilidade à irrigação, posto que nem sempre se dispõe de água suficiente para suprir todo o projeto simultaneamente; (ii) maior uniformidade de distribuição de água, uma vez que as diferenças de nível são menores dentro de cada subunidade de irrigação; (iii) permite o uso de tubos de menor diâmetro, reduzindo o custo inicial do sistema. Porém, como problemas,

tem-se a conciliação de solos de mesma textura, áreas com o mesmo número de plantas e, principalmente, a dificuldade em selecionar as dimensões ótimas na divisão da área a ser irrigada em subunidades de irrigação.

Para uma abordagem didática, mostra-se na Figura 6 um exemplo de esquema de distribuição das subunidades em campo. A ilustração mostra os seguintes principais componentes a partir da estação ou cabeçal de controle: linha principal; linhas secundárias, cavaletes com válvulas de controle de irrigação e ventosas; linha de derivação; linhas laterais com emissores (gotejadores ou microaspersores).

Figura 6. Exemplo de instalação mostrando oito subunidades de irrigação (CC: estação de controle; LP 1: linha principal 1; LP2: linha principal 2; LD: linha de derivação; LL: linha lateral; RP: válvula reguladora de pressão; ∇ : cavalete contendo válvulas de controle e ventosas).



Em função da organização operacional do sistema esquematizado na Figura 6 podem ser dadas as seguintes definições:

- **Subunidade ou setor de irrigação** – é a superfície irrigada em que a pressão de funcionamento do sistema é controlada por uma válvula reguladora de pressão. Esta superfície é irrigada simultaneamente a partir do ponto onde se regula a pressão de entrada de água, ou seja, por uma válvula instalada no início da linha de derivação ou em um cavalete localizado na entrada da subunidade ou unidade de irrigação. No caso limite em que cada lateral tem um regulador de pressão, a subunidade de irrigação estaria formada por uma única lateral. Constitui a base de dimensionamento das linhas laterais, de derivação e coletoras. Há casos em que não há necessidade de instalação de reguladores de pressão na entrada da linha de derivação. Na Figura 6 são ilustradas oito subunidades de irrigação.
- **Unidade ou bloco de irrigação** – é a superfície irrigada formada pelo conjunto de subunidades de irrigação operando simultaneamente a partir de um mesmo ponto, onde se controla a quantidade de água aplicada, por tempo ou por volume. Em geral

se usa uma válvula hidráulica controlada por comandos elétricos, hidráulicos ou pneumáticos. Constitui a base de dimensionamento da linha secundária.

- **Unidade operacional de irrigação** – é a superfície formada pelas unidades de irrigação que operam simultaneamente desde a mesma estação de controle. Constitui a base de dimensionamento da linha principal e adutora, dos elementos da estação de controle e do conjunto motobomba. A aplicação de água na unidade operacional de irrigação é controlada por controladores de tempo de irrigação situados na estação de controle. Diferentes níveis de automação podem ser usados para controlar os ciclos de abertura e fechamento das válvulas que controlam o tempo de aplicação ou o volume de água aplicado nas unidades operacionais. O sincronismo de abertura e fechamento sequencial das unidades operacionais obedece a critérios técnicos que envolvem o dimensionamento hidráulico e agrônômico, que aborda requisitos necessários para o bom desenvolvimento da cultura como, por exemplo, o turno de rega mais adequado. Essa divisão permite manter a irrigação dentro do turno de rega requerido pela cultura e com menor necessidade de vazão instantânea, já que as unidades operacionais de irrigação operam de forma escalonada.

4.2 Dispositivos de emissão de água

A microirrigação utiliza pequenos dispositivos de emissão, disponíveis nos modelos autocompensantes (regulados) ou não autocompensantes (não regulados). Os dispositivos autocompensantes proporcionam melhor uniformidade de distribuição de água em todos os tipos de terrenos e são particularmente bem adaptados às condições topográficas mais adversas, permitindo laterais longas em terrenos com topografia ondulada e com encostas íngremes. Os sistemas de microirrigação são geralmente definidos pelo dispositivo de emissão de água que utilizam (Figura 7). Assim, o sistema de irrigação por gotejamento utiliza gotejadores e o sistema de microaspersão utiliza microaspersores.

Os dispositivos de emissão (por exemplo, gotejadores, microaspersores, difusores e nebulizadores), variam de acordo com sua vazão, características hidráulicas e padrão de molhamento. O emissor ideal deve ser durável (resistir às condições ambientais), resistente à obstrução (possuir larga passagem interna de fluxo), resistente a químicos (ácidos, cloro, fertilizantes, etc.), insensível à variação de pressão (autocompensante) que ocorre como resultado da diferença de nível e da perda de carga na tubulação, exato (baixo coeficiente de variação de fabricação) e economicamente acessível. Os emissores de gotejamento podem ser instalados sobre a tubulação (*on-line*) durante a instalação do sistema, dentro das tubulações no processo de fabricação (*in-line*) e estampados na parede interna do tubo. Os emissores para microaspersão são instalados sobre a linha lateral (*on-line*). Os emissores *on-line* proporcionam flexibilidade na localização, entretanto aumentam a mão de obra para instalação e estão sujeitos a problemas de vazamento no ponto de inserção. Particularmente no caso de sistemas de irrigação por gotejamento, vazamentos no ponto de inserção podem conduzir a vazões maiores do que a vazão nominal do emissor, o que cancela os potenciais benefícios

característicos de desempenho desses sistemas. Já os emissores integrados (*in-line*) nas linhas laterais não estão sujeitos a esses inconvenientes e são preferidos na maioria das situações.

Figura 7. Cultivos agrícolas utilizando a microirrigação: (A) microaspersão na cultura da manga, (B) gotejamento com linha simples na cultura do tomate. Fonte: os autores.



4.3 Princípios de projeto do sistema

4.3.1 Irrigação para formar áreas molhadas discretas

Muitos sistemas de gotejamento são projetados para formar bulbos molhados. Em geral isto ocorre na irrigação de árvores frutíferas individuais com espaçamentos relativamente grandes, em que não se forma uma faixa molhada, mas sim áreas molhadas ao redor de cada planta. A distância entre emissores ao longo das laterais deverá basear-se nas propriedades hidráulicas do solo, no tempo de irrigação e na vazão dos emissores. O objetivo do projeto deverá ser encontrar a disposição entre emissores, o espaçamento e a vazão para obtenção de um volume de solo molhado com tamanho e forma capazes de atender à demanda de água pelas plantas (evapotranspiração), ao intervalo entre irrigações (turno de rega) e às dimensões da zona radicular.

O conhecimento do diâmetro molhado no solo pelo emissor é fundamental para se determinar o espaçamento entre emissores, o número de emissores por planta e a vazão a ser aplicada por planta. Um método direto para determinar o diâmetro molhado por gotejadores individuais é conduzir um ensaio de campo com emissores operando em algumas condições representativas de solo, vazão e tempo de operação, avaliando-se o diâmetro médio molhado. Os gotejadores são instalados sobre um tubo em grupos de três ou quatro, para se obter valores médios, e operados de forma que cada grupo aplique um volume conhecido de água, variando-se o tempo de operação. Deve-se espaçar adequadamente os emissores para evitar superposição dos bulbos molhados. Tendo-se aplicado os volumes desejados, de preferência depois de vários ciclos de irrigação, aproximadamente 1 hora após a aplicação de água, escava-se o solo anotando-se para cada emissor as dimensões do bulbo molhado

(diâmetro molhado em diferentes profundidades), e desenha-se sua geometria em escala apropriada. Dessa forma é possível obter, com mais segurança, a área molhada por um emissor, o espaçamento necessário entre emissores para se conseguir uma faixa contínua molhada ou o número de emissores por planta para se conseguir uma porcentagem definida de área molhada.

Nos sistemas com vários gotejadores por planta, pode-se ter uma ou duas linhas laterais por fileira de plantas, ou utilizar ramificações da lateral com gotejadores, ou usar gotejadores com múltiplas saídas. O objetivo é suprir a evapotranspiração com uma fração de área molhada adequada. O espaçamento entre gotejadores deverá ser igual ao diâmetro molhado. Neste caso a estimativa da área molhada por cada um dos gotejadores poderá ser feita pela área da circunferência definida pelo diâmetro molhado no solo. A porcentagem de área molhada é definida em relação ao espaçamento das plantas, sendo utilizada para estimar o número necessário de gotejadores por planta.

No caso de solos de alta permeabilidade e necessidade de formação de bulbos molhados com superfície relativamente grande, o uso de microaspersores pode ser mais interessante do que o uso de múltiplos gotejadores por planta.

4.3.2 *Irrigação para formar faixas molhadas*

Quando se deseja formar uma faixa molhada contínua na superfície do solo, o espaçamento dos emissores sobre a lateral deve ser em torno de 80% do diâmetro molhado (Dasberg & Or 1999) e deve proporcionar uma área molhada total entre 30 e 60% da área ocupada pelo cultivo. A faixa molhada pode ser formada por uma linha fonte como tubos porosos, fitas gotejadoras e tubos gotejadores com emissores muito próximos, resultando sobreposição dos diâmetros molhados em condições de saturação.

4.3.3 *Localização dos gotejadores em relação às plantas*

A localização do emissor em relação à planta é um fator importante no desempenho do sistema de irrigação e na saúde da cultura, afetando a germinação, o crescimento inicial, o estabelecimento do sistema radicular, a utilização eficiente da água e dos nutrientes e os efeitos da salinidade sobre a planta (Bisconer, 2011). O espaçamento entre gotejadores sobre a lateral baseia-se no tipo de solo. Uma prática comum para solos de textura fina é emissores espaçados de 0,60 m, para solos de textura grossa até 0,30 m e para solos de textura média até 0,45 m. Ao utilizar microirrigação em culturas perenes que foram previamente irrigadas por sistemas de aspersão ou irrigação por superfície, é importante que os emissores molhem uma área de pelo menos 100% da projeção da copa porque a estrutura de raiz existente teve a oportunidade de se tornar extenso.

Para garantir boa germinação das sementes e durante o crescimento inicial das plântulas, normalmente se requer que os gotejadores sejam colocados em pequenas distâncias das plantas (0,45 m ou menos na maioria dos solos). Em solos arenosos, esta distância deverá

ser reduzida para 0,30 m ou menos. O tipo e a localização dos emissores definirão a zona úmida e, por conseguinte, o local de desenvolvimento mais intensivo das raízes. O sistema radicular pode ser estimulado a estender-se na horizontal ou na vertical, ou pode ser confinado a uma área relativamente pequena. O tamanho e a forma do sistema radicular são importantes para o vigor e a estabilidade das plantas e para aumentar sua capacidade de utilizar a água de ocorrência natural e os nutrientes do solo. A localização dos pontos de emissão próximos do centro do sistema radicular é melhor porque a água e os nutrientes aplicados além dos limites da zona radicular são desperdiçados por não serem alcançados pelas raízes (Hobbs, 2011).

Os sais presentes no solo ou na água de irrigação são concentrados na periferia da zona úmida formada em torno dos emissores. Assim, a localização dos gotejadores irá determinar se os sais nocivos serão deslocados para fora e longe do sistema radicular ou serão concentrados dentro dele. Este fenômeno é particularmente observado com as culturas em linha.

Espaçamentos entre emissores e vazão devem basear-se no tipo de solo e na disponibilidade de tempo para irrigação. O molhamento do solo deve atingir pelo menos 60% da copa das plantas maduras. Em plantas novas, pelo menos um emissor deve ser instalado próximo a cada planta. À medida que as plantas crescem e amadurecem, os emissores precisam estar mais distantes da base das plantas para evitar a podridão do caule ou outras infecções fúngicas e bacterianas.

Em terrenos com declive acentuado, os tubogotejadores devem ser posicionados na parte superior do declive em relação às plantas para garantir que o padrão molhado permaneça dentro da zona radicular. Em terrenos muito declivosos pode ser necessário a utilização de bacias de contenção de água ao redor dos troncos das árvores para evitar o escoamento superficial. Além disso, se as linhas laterais estão em declive acentuado, a água drenará pelos emissores na parte mais baixa da área quando a subunidade é desligada, criando problema de encharcamento do terreno nessa região. Isto requer a divisão da área em subunidades que seguem as linhas de contorno do terreno com as linhas laterais seguindo as linhas de nível e não dispostas em alicive ou declive.

4.3.2 *Necessidade de irrigação*

Visando a máxima produtividade das culturas, todo sistema de irrigação deve focar o mesmo objetivo: suprir de água o sistema solo-planta para satisfazer totalmente o déficit de evapotranspiração da cultura, inclusive no seu período mais crítico. O projetista ou o usuário de um sistema de irrigação comumente estima a necessidade de irrigação (IRN: irrigação real necessária) em períodos curtos ou em base sazonal. No curto prazo, as estimativas são necessárias para o dimensionamento e a operação dos sistemas. As previsões sazonais são necessárias para a alocação da água e para a administração de direitos de água. A IRN é expressa em volume de água por unidade de área e de tempo (por exemplo, $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{d}^{-1}$) ou em altura de água por unidade de tempo (por exemplo, mm d^{-1}). A IRN, ou necessidade líquida de irrigação, é definida como a lâmina de água necessária para suplementar a

evapotranspiração potencial da cultura (ET_{pc}) que ocorre em excesso à precipitação efetiva para uma cultura livre de doenças que cresce em áreas extensas, sem restrições de água e em condições ótimas de fertilidade de solo. Para microirrigação é comum a seguinte simplificação para o cálculo da IRN (Eq. 8):

$$IRN = ET_{pc} - PE \quad (8)$$

em que: IRN – irrigação real necessária, mm; ET_{pc} – evapotranspiração potencial da cultura, mm; PE – precipitação efetiva, mm.

Para fins de projeto, com alta frequência de irrigação, em que utilizam as necessidades de água do cultivo em períodos de máxima demanda, a precipitação efetiva é frequentemente desconsiderada, resultando IRN = ET_{pc}. Para regiões úmidas, para compensar a não inclusão da PE, Bernardo et al. (2006) sugerem que os projetos possam ser dimensionados com base em 80 a 90% da ET_{pc} máxima. Para estimar a precipitação efetiva existem várias aproximações, recomendando-se consultar Dastane (1974). A ET_{pc} é definida como a evapotranspiração que ocorre de uma cultura em qualquer fase de seu desenvolvimento, sem a atuação de fatores que possam comprometer seu desenvolvimento, como a ocorrência de pragas e doenças, deficiências nutricionais e deficiência hídrica. É expressa em termos de lâmina ou volume de água transferida do sistema solo-planta para a atmosfera por dia, em toda a área cultivada. Para o cálculo da ET_{pc} sugerem-se as obras de Allen et al. (1998) e Frizzone et al. (2012).

A estimativa rigorosa das necessidades reais de água em microirrigação tem maior importância que em outros sistemas de irrigação, uma vez que é muito limitado o papel do solo como um reservatório de água. A estimativa se faz por procedimentos convencionais, porém, com alguns coeficientes de correção. Ao se considerar que na microirrigação a água é aplicada em apenas uma fração da área cultivada, o cálculo da máxima irrigação real necessária é feito corrigindo-se a IRN pela fração da área total cultivada que é molhada (Eq. 9):

$$IRN_{m\acute{a}x} = CAD f F_w \quad (9)$$

$$CAD = 1000 (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) z \quad (10)$$

em que: IRN_{máx} - máxima irrigação real necessária (máxima lâmina líquida de irrigação), mm. Corresponde à água facilmente disponível (); CAD - capacidade total de água disponível do solo, mm; f - fator de depleção ou de consumo da água do solo, adimensional; F_w - fração da área total que é molhada, adimensional; θ_{cc} - umidade do solo na capacidade de campo, m³ m⁻³; θ_{pmp} - umidade do solo no ponto de murcha permanente, m³ m⁻³; e z - Profundidade efetiva do sistema radicular, m.

Para expressar IRN_{máx} em L planta⁻¹ utiliza-se a Eq. 11 que considera a área explorada pela cultura:

$$IRN_{m\acute{a}x} = CAD f F_w S_R S_p \quad (11)$$

em que: S_R – espaçamento entre linhas de plantio (m); e S_p – espaçamento entre plantas na linha (m).

O turno de rega máximo (TR_{máx}, em dias) será (Eq. 12):

$$TR_{m\acute{a}x} = \frac{IR N_{m\acute{a}x} (L \text{ planta } a^{-1} \text{ ou } mm)}{ET_c (L \text{ planta } a^{-1} d^{-1} \text{ ou } mm)} \quad (12)$$

em que: ET_c - a evapotranspiração da cultura ($L \text{ planta}^{-1} d^{-1}$ ou $mm d^{-1}$) para microirrigação que considera um fator de localização da irrigação (K_L , adimensional), um coeficiente de estresse hídrico (K_s , adimensional) caso ocorra déficit hídrico no solo e um coeficiente de cultura (K_c , adimensional).

Para irrigação de alta frequência, sem déficit, $K_s = 1$. A ET_c pode ser estimada pela Eq. (13) em $mm d^{-1}$ ou pela Eq. (14) em $L \text{ planta}^{-1} d^{-1}$:

$$ET_c = K_L K_s K_c ET_0 \quad (13)$$

$$ET_c = K_L K_s K_c ET_0 S_R S_P \quad (14)$$

em que: ET_0 ($mm d^{-1}$) é a evapotranspiração de referência, que representa a taxa de evapotranspiração que ocorre de uma superfície de referência (padrão) (Allen et al., 1998); K_c (adimensional) é o coeficiente de cultura que converte a ET_0 em ET_c . Em microirrigação não se irriga toda a área cultivada, de forma que é necessário corrigir o K_c , por um fator de localização (K_L , adimensional) com base na fração de área molhada (F_m) ou da área sombreada ou coberta pela cultura (F_c).

Existem muitas dúvidas quanto à estimativa do fator K_L , necessitando-se de pesquisas específicas para cada sistema de plantio. As aproximações existentes são empíricas (Frizzone et al., 2012) e uma bastante utilizada é a de Keller & Bliesner (1990), (Eq. 15):

$$K_L = 0,1 \sqrt{P} \quad (15)$$

em que: P é o maior valor entre a porcentagem de área molhada e a sombreada.

Para atender a IRN , deve ser aplicada lâmina adicional de irrigação para compensar as perdas de água por percolação, por evaporação e deriva por vento, pela não uniformidade de distribuição de água do sistema e para promover a lixiviação do excesso de sais na zona radicular. Em microirrigação, os componentes da perda total de água na parcela podem ser considerados da seguinte forma: gotejamento – apenas perda por percolação abaixo da zona radicular; microaspersão – percolação, evaporação e deriva pelo vento.

Em regiões úmidas e vento fraco as perdas de água por evaporação e deriva são inferiores a 10% da água aplicada e nas regiões semiáridas e áridas essas perdas são da ordem de 10 a 15%, podendo atingir 20% em condições climáticas severos (Frizzone et al., 2012).

Considerando que a irrigação é uniforme e não há problemas com sais, a irrigação total necessária (ITN), ou quantidade bruta de irrigação, é definida da seguinte forma:

$$ITN = \frac{IRN}{EA} = \frac{IRN}{EAP \times ED} \quad (16)$$

em que: EA – eficiência de aplicação (adimensional); EAP – eficiência de aplicação em potencial (adimensional); e ED – eficiência de distribuição (adimensional).

Em irrigação por gotejamento, pois, considera-se que as perdas de água por evaporação e deriva são insignificantes. Contudo, estas perdas devem ser consideradas na microaspersão.

Valores típicos de para microirrigação estão entre 90 e 95%. As perdas por escoamento superficial podem ser desconsideradas em ambos os casos, porque, se existem, são resultantes de um manejo inadequado da irrigação. Para fins de projeto de sistemas de microaspersão é razoável considerar da ordem de 90 a 95% para climas com baixa demanda da atmosfera e com ventos fracos e 80 a 90% para climas com maiores demandas da atmosfera e ventos moderados. Para mais informações sobre esse assunto, recomenda-se a seguinte literatura Paz (1990), Alves et al. (1998) e Conceição (2002).

Para situações em que houver necessidade de lixiviação (NL), a ITN será então calculada pela Eq. 17.

$$ITN = \frac{IRN}{EA(1-NL)} \quad (17)$$

5 COLETA E DISPOSIÇÃO DA ÁGUA DE DRENAGEM DE ÁREAS IRRIGADAS COM ÁGUAS SALINAS

Para o uso da água salina na agricultura biossalina deve-se utilizar procedimentos para prevenir a salinização dos solos bem como técnicas para recuperação quando já salinizados. A drenagem agrícola é a tecnologia mais adequada tanto para prevenção como para recuperação. Dentre as técnicas de prevenção, por exemplo, menciona-se a fração de lixiviação (Macêdo et al., 2007; Medeiros et al., 2016), que consiste em aplicar uma lâmina adicional de água, além das necessidades hídricas da cultura, a fim de que parte dos sais seja removida do perfil do solo e o seu balanço seja equilibrado. No entanto, a retirada desses sais da área depende de um eficiente sistema de drenagem.

A drenagem pode ser natural ou artificial. Drenagem natural é aquela em que o solo em suas condições naturais tem capacidade de eliminar o excesso de água proveniente do escoamento superficial gerado pela precipitação em áreas de cotas superiores. Drenagem artificial é aquela utilizada para os casos em que a drenagem natural não é suficiente para eliminar o excesso de água e sais do perfil do solo, para controlar níveis freáticos muito elevados e, em áreas irrigadas sob risco de salinização, para favorecer as práticas necessárias ao equilíbrio do balanço de sais (Medeiros et al., 2016).

Nas áreas de cultivo onde o solo não apresenta condições de drenagem natural adequada é necessária a aplicação de técnicas de drenagem artificial não somente para melhorar as características físico-hídricas do solo, mas, principalmente para facilitar a remoção dos sais solúveis e impedir a sua acumulação em níveis fitotóxicos/prejudicial às plantas (Almeida et al., 2001; Pedrotti et al., 2015).

Na drenagem subterrânea tem-se um sistema de canais conectados a uma malha de tubos perfurados ou constituídos de material poroso, enterrados e conectados entre si, visando à remoção do excesso de água do perfil do solo, com a finalidade de propiciar aos cultivos condições favoráveis de umidade e aeração, bem como de prevenir a salinização ao remover o excesso de sais da área.

Na concepção de um projeto de drenagem, visando prevenir a salinização das áreas irrigadas, os seguintes dados devem ser levantados: tipos de solos predominantes, topografia da área, localização das áreas irrigadas, presença de drenos naturais, como rios e riachos, etc. Assim cada projeto tem suas características específicas.

O grande empecilho para a instalação de sistemas de drenagem em pequenas áreas irrigadas do semiárido brasileiro são os custos elevados. Atualmente, os custos para implantação de macrodrenagem (drenos coletores abertos e suas obras especiais) são da ordem de R\$ 46.000,00 km⁻¹, enquanto para a implantação de drenos subterrâneos, os custos são da ordem de R\$ 14.000,00 ha⁻¹ (Suguino et al., 2021).

5.1 Biodrenagem

Vários são os métodos para a recuperação de solos degradados por sais encontrados na literatura científica sendo os mais citados: drenagem adequada, lavagem do solo, uso de corretivos químicos e condicionadores orgânicos; além dos métodos complementares como: biodrenagem, nivelamento, subsolagem, aração profunda, escarificação profunda. Normalmente recomenda-se uma combinação dessas técnicas para aumentar a eficiência na recuperação dos solos afetados por sais.

Um dos maiores entraves à utilização dos sistemas convencionais de recuperação dos solos degradados por sais é o alto custo nas fases de implantação, operação e manutenção, inviabilizando a sua utilização por pequenos e médios agricultores irrigantes. Outro problema é o destino a ser dado às águas drenadas, uma vez que os impactos ambientais gerados na destinação dessas águas necessitam ser mitigados. Considerando tais desafios, algumas formas alternativas de drenagem que sejam eficazes, acessíveis, socialmente aceitas e que minimizem a degradação do meio ambiente têm sido testadas; uma delas é a biodrenagem que se propõe a reduzir os custos de implantação e eliminar os problemas ambientais gerados pelas águas drenadas, utilizando a vegetação para eliminar o excesso de água e de sais do perfil do solo (Medeiros et al., 2016).

A biodrenagem pode ser considerada uma parte importante da gestão sustentável da água para irrigação. Tem potencial para gerenciar as condições de água subsuperficial em áreas áridas e semiáridas, especialmente quando os drenos subterrâneos tradicionais não estão disponíveis. Segundo Akram et al. (2008) a teoria da biodrenagem ainda carece de muitos estudos para solidificá-la, como definir a relação entre as características do solo, os regimes de gestão da água e as condições climáticas da região. A biodrenagem pode ser definida como uma técnica alternativa para remover o excesso de água do solo usando a bioenergia de árvores de rápido crescimento, com raízes profundas e que possuem alta taxas de evapotranspiração.

O dimensionamento dos sistemas convencionais de drenagem envolve basicamente a determinação do espaçamento e profundidade dos drenos. Medeiros et al. (2016) afirmam que no dimensionamento da biodrenagem se calcula o espaçamento entre os biodrenos (faixas de vegetação) e a largura dos biodrenos, haja vista que a profundidade é função

do crescimento das raízes das plantas no tempo, ou seja, é necessário que se disponha de informações sobre a taxa de crescimento das raízes da planta adotada e a sua correlação com a redução do nível do lençol freático.

De modo geral as águas de drenagem de terras afetadas por sais são consideradas improdutivas e com sérias restrições ambientais. A biodrenagem é uma forma alternativa de drenagem que se propõe a reduzir os custos de implantação e eliminar os problemas ambientais gerados pelas águas drenadas, utilizando a vegetação para eliminar o excesso de água do perfil do solo. No Nordeste brasileiro as plantas Erva-sal (*Atriplex numulária*), Algaroba (*Prosopis juliflora*), Leucena (*Leucaena leucocephala*), Nim indiano (*Azadirachta indica*), Tamboril (*Enterolobium contorsiliquum*) e Moringa (*Moringa oleífera*), podem serem utilizadas nos sistemas de biodrenagem.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sistemas de microirrigação apresentam características que conferem aptidão para uso de águas salinas via irrigação, desde que o projeto, instalação, operação e manutenção sejam adequados. Na etapa de projeto do sistema de irrigação deve-se avaliar se há água em quantidade suficiente para atender as necessidades hídricas da cultura na área a ser irrigada e para o eventual controle da salinidade no perfil de solo de interesse. A fração das necessidades hídricas no período de máxima demanda que não seja suprida por precipitações, deve ser fornecida via irrigação. Além disso, a análise de qualidade da água de irrigação em laboratórios especializados é obrigatória na etapa de projeto de sistemas de microirrigação, já que os custos de investimento e manutenção da infraestrutura para filtragem e eventual tratamento da água de irrigação podem ser elevados, a depender da qualidade da água de irrigação. Agentes físicos, químicos e biológicos presentes na água de irrigação interagem e podem provocar a obstrução de filtros e emissores de irrigação.

Em cenários de uso de águas salinas, há ainda preocupações adicionais referentes ao risco de salinização e, ou sodificação do solo. O uso de águas de baixa qualidade combinado com o manejo inadequado da irrigação, além de prejudicar o desenvolvimento das culturas, pode ocasionar degradação do solo, contaminação de lençol freático e, em casos extremos, tornar as áreas improdutivas e de difícil recuperação. O acúmulo de sais solúveis no perfil de solo explorado pelo sistema radicular das culturas irrigadas é um problema que afeta seriamente a produtividade das culturas em todo o mundo, principalmente em regiões áridas e semi-áridas. Os problemas de salinidade estão associados à quantidade total de sólidos dissolvidos na água e seus efeitos no desenvolvimento das culturas. A salinidade afeta a disponibilidade de água do solo para as plantas, devido à redução do potencial osmótico da solução do solo, sendo que o excesso de sais solúveis pode comprometer o uso da água para irrigação.

Dentre as principais medidas para prevenir ou reduzir os problemas de salinidade, destacam-se a adoção de práticas culturais de manejo apropriadas, seleção de culturas adaptadas

aos níveis de salinidade existentes, drenagem adequada, aplicação de uma lâmina adicional de água, além das necessidades hídricas da cultura, a fim de que parte dos sais seja removida do perfil do solo e o seu balanço seja equilibrado. No entanto, a retirada desses sais da área depende de um sistema de drenagem. Águas de drenagem de terras afetadas por sais são, geralmente, consideradas improdutivas e com sérias restrições ambientais. A biodrenagem é uma forma alternativa de drenagem que se propõe a reduzir os custos de implantação e eliminar os problemas ambientais gerados pelas águas drenadas. Estudos recentes sugerem que reciclando e reutilizando as águas salinas provenientes da drenagem pode se assegurar uma contribuição significativa nas regiões semiáridas na forma de alimentos, madeira e rações animal e mesmo produção de água potável.

LITERATURA CITADA

- Akram, S.; Kashkouli, H.A.; Pazira, E. Sensitive variables controlling salinity and water table in a bio-drainage system. *Irrigation and Drainage Systems*, v.22, p.271-285, 2008.
- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300p. FAO - Irrigation and Drainage Paper, 56
- Almeida, D. M.; Costa, R. N. T.; Saunders, L. C. U.; Matias Filho, J. Análise comparativa de envoltórios para drenos tubulares em condições de fluxo não-permanente. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, p.10-15, 2001.
- Alves, E.F.; Leão, M.C.S.; Castro, P.T. de. Qualidade de irrigação de um microaspersor em diferentes alturas de instalação e velocidade média do vento na região do Vale do Curu. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 26, Campina Grande, 1997. Anais... Campina Grande: SBEA, 1997.
- APHA – American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 23. ed. Washington: APHA, 2017. 1545p.
- Ayers, R.S., Westcot, D.W. Water quality for agriculture. Rome: FAO, 1989. 174 p. FAO - Irrigation and Drainage Paper, 29 Revised
- Bernardo, S.; Soares, A.A; Mantovani, E.C. Manual de irrigação. 8.ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 625p.
- Blanco, F. F.; Folegatti, M. V. Recuperação de um solo salinizado após cultivo em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, p.76-80, 2001.

- Bisconer, I. Microirrigation system fundamentals. In: Stetson, L.E.; Mecham, B.Q. (eds.). Irrigation. Falls Church: Irrigation Association, 2011. Cap. 11, p.387 – 452.
- Bounoua, S.; Tomas, S.; Labille, J.; Molle, B.; Granier, J.; Haldenwang, P.; Izzati, S.N. Understanding physical clogging in drip irrigation: In situ, in-lab and numerical approaches. Irrigation Science, v. 34, p. 327-342. 2016.
- Bresler, S. Trickle-drip irrigation: Principles and application to soil-water management. Advances in Agronomy, v. 29, p.343-393, 1977.
- Bucks, D. A., Nakayama, F. S.; Gilbert, R. G. Trickle irrigation, water quality and preventive maintenance. Agriculture Water Management, v.2, p.149–162, 1979.
- Camberato, D. M.; Lopez, R.G. Controlling algae in irrigation ponds – Purdue Extension. Disponível em: <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/ho/ho-247-w.pdf>. Acesso em: outubro de 2021.
- Conceição, M. A. F. Simulação da distribuição de água em microaspersores sob condição de vento. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2002. 318p. Tese Doutorado em Irrigação e Drenagem
- Dasberg, S.; Or, D. Drip irrigation. Berlin: Springer-Verlag, 1999. 162p.
- Dastane, N.G. Effective rainfall in irrigated agriculture. Rome: FAO, 1974. 62p. FAO - Irrigation and Drainage Paper, 25
- Di Bernardo, L.; Dantas, A. D. B.; Voltan, P. E. N. Métodos e técnicas de tratamento de água. 3. ed. São Carlos: LDIBE Editora, 2017. 1296p.
- Duarte, S. N.; Silva, E. F. F.; Miranda, J. H.; Medeiros, J. F.; Costa, R. N. T.; Gheyi, H. R. Fundamentos de drenagem agrícolas. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2015. 338p.
- Frizzone, J. A.; Freitas, P. S. L. de; Rezende, R.; Faria, M. A. de. Microirrigação: Gotejamento e microaspersão. Maringá: Editora EDUEM, 2012, 356p.
- Gheyi, H. R.; Correia, K. G.; Fernandes, P. D. Salinidade do solo e crescimento e desenvolvimento das plantas. In: Nogueira, R. J. C.; Araújo, E. L.; Willadino, L. G.; Cavalcante, U. M. T. (ed.). Estresses ambientais: Danos e benefícios em plantas. Recife: UFRPE, 2005, p.138 -148.

- Goyal, M. R.; Chavan, V. K.; Tripathi, V. K. Principles and management of clogging in micro irrigation. Boca Raton: Apple Academic Press, 2016. 267 p.
- Haman, D. Z.; Zazueta, F. S. Media filters for trickle irrigation in Florida. Gainesville: University of Florida - IFAS Extension, 2017. 5p.
- Hobbs, B. B. Agricultural applications of microirrigation. In: Stetson, L.E.; Mecham, B.Q. (eds.). Irrigation. Falls Church: Irrigation Association, 2011. Cap. 20, p.725 – 766.
- Hopmans, J.W.; Qureshi, A. S.; Kisekka, I.; Munns, R.; Grattan, S.R.; Rengasamy, P.; Ben-Gal, A.; Assouline, S.; Javaux, M.; Minhas, P.S.; Raats, P.A.C.; Skaggs, T.H.; Wang, G.; De Jong van Lier, Q.; Jiao, H.; Lavado, R.S.; Lazarovitch, N.; Li, B.; Taleisnik, E. Critical knowledge gaps and research priorities in global soil salinity. *Advances in Agronomy*, v. 169, p. 1-191. 2021.
- ISO 11738. Agricultural irrigation equipment: Control heads. 2021. 16p.
- Keller, J.; Bliesner, R.D. Sprinkle and trickle irrigation. New York: Chapman & Hall, 1990. 625p.
- Keysar, S.; Semiat, R.; Hasson, D.; Yahalom, J. Effect of surface roughness on the morphology of calcite crystallizing on mild steel. *Journal of Colloid Interface Science*, v. 162, p. 311–319. 1994
- Lamm, F. R.; Ayars, J. E.; Nakayama, F. S. Microirrigation for crop production: Design, operation and management. Amsterdam: Elsevier, 2006. 642p.
- Macêdo, L. de S.; Sousa, M. R. de; Morrill, W. B. B. Drenagem para controle da salinidade. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, v.1., p.69 - 71, 2007.
- Maas, E.V.; Hoffman, G.J. Crop salt tolerance - Current assessment. *Journal of the Irrigation and Drainage Division of ASCE*, v.103, p.115-134, 1977.
- Medeiros, S. de S.; Fernandes, P. D.d; Santos Júnior, Gheyi, H. R. Biodrenagem. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. (eds.). Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2016. p.433-448.
- Nakayama, F. S.; Bucks, D. A. Water quality in drip/trickle irrigation: a review. *Irrigation Science*, v. 12, p. 187-192. 1991
- Netafim. Drip irrigation system: maintenance handbook. 2016. 95p.

- Niu, W.; Liu, L.; Chen, X. Influence of fine particle size and concentration on the clogging of labyrinth emitters. *Irrigation Science*, v. 31, p. 545-555. 2012
- Oliveira, F.C.; Lavanholi, R.; Camargo, A.P.; Ait-Mouheb, N.; Frizzzone, J.A.; Tomas, S.; Molle, B. Clogging of drippers caused by suspensions of kaolinite and montmorillonite clays. *Irrigation Science*, v. 38, p. 65–75. 2020
- Paz, V. P. S. Perdas de água e uniformidade de distribuição na irrigação por aspersão. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1990. 59p. Dissertação Mestrado
- Pedrotti, A.; Chagas, R. M.; Ramos, V. C.; Prata, A. P. do N.; Lucas, A. A. T.; Santos, P. B. dos. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 19, p. 1308-1324, 2015.
- Phene, C. J.; Ruskin, R. Potential of subsurface drip irrigation for management of nitrate in wastewater. In: *International Microirrigation Congress, 5, Orlando, 1995, Proceedings...* Orlando: International Microirrigation Congress. p. 155–167
- Pizarro, F. Riegos localizados de alta frecuencia. 3.ed. Bilbao: Ediciones Mundi-Prensa, 1996. 513p.
- Richter, C. A. Água: métodos e tecnologias de tratamento. São Paulo: Edgard Blucher, 2009. 352 p.
- Richter, C. A.; Azevedo Netto, J. M. de Tratamento de água: Tecnologia atualizada. São Paulo: Blucher, 1991. 332p.
- Rizk, N.; Ait-Mouheb, N.; Bourrié, G.; Molle, B.; Roche, N. Parameters controlling chemical deposits in micro-irrigation with treated wastewater. *Journal of Water Supply Research Technology AQUA*, v. 66, p. 587–597. 2017
- Rhoades, J. D.; Chanduvi, F.; Lesch, S. Soil salinity assessment: Methods and interpretation of electrical conductivity measurements. Rome: FAO, 1999. 150p. FAO Irrigation and Drainage Paper, 57
- Rhoades, J. D.; Merrill, S. D. Assessing the suitability of water for irrigation: Theoretical and empirical approaches. In: *Prognosis of salinity and alkalinity*. Rome: FAO, 1976. p.69-110. FAO Soils Bulletin, 31
- Silva, J. V.; Lacerda, C. F. de; Costa, P. H.; Enéas Filho, J.; Gomes Filho, E.; Prisco, J. T. Physiological responses of NaCl stressed cowpea plants grown in nutrient solution supplemented with CaCl₂. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.15, p.99-105. 2003.

Suguino, H. H.; Barros, J. C.; Albuquerque, J. A. de; Costa, R. N. T. Drenagem nos projetos públicos de irrigação no semiárido brasileiro. In: Cerqueira, P. R. S.; Lacerda, C. F. de; Araújo, G. G. L. de; Gheyi, H. R.; Simões, W. L. (eds.). Agricultura irrigada em ambientes salinos. Brasília: Codevasf, 2021. 363p. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/acesso-a-informacao/institucional/biblioteca-geral-rocha/publicacoes/outras-publicacoes/agricultura-irrigada-em-ambientes-salinos.pdf>.

Testezlaf, R.; Deus, F. P.; Mesquita, M. Filtros de areia na irrigação localizada. Campinas: UNICAMP/FEAGRI, 2014. 56p.

USDA – United States Department of Agriculture. Microirrigation - Part 623 Irrigation. Chapter 7, Washington, DC: National Engineering Handbook. 2013.196p.

Yeo, A. R. Predicting the interaction between the effects of salinity and climate change on crop plants. *Scientia Horticulturae*, v.78, p.159-174, 1999

ASPECTOS ECONÔMICOS E SUSTENTABILIDADE DA AGRICULTURA BLOSSALINA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

José Antônio Frizzone^{1*}, Raimundo Nonato Távora Costa², José Dantas Neto³, Vera Lúcia Antunes de Lima³

RESUMO: A degradação dos solos por sais em áreas irrigadas provoca a redução da produtividade e abandono de terras agrícolas. Com o aumento da população mundial, a quantidade de água per capita tem diminuído fazendo com que a agricultura irrigada busque águas de qualidade inferior para suprir as necessidades hídricas das culturas. A agricultura blossalina se refere ao uso de águas salinas, geralmente em solos salinos ou salinizados, para o cultivo de espécies tolerantes ao estresse salino, quando água e solos de boa qualidade se tornam escassos. Na agricultura blossalina tem predominado o uso de halófitas, espécies naturalmente adaptadas a produzir em condições com alta concentração de sais. A agricultura blossalina embora considerada como uma tecnologia importante para viabilizar as atividades agrícolas na região semiárida do Brasil, requer estudos rigorosos, uma vez que a salinidade das águas apresenta risco de afetar negativamente o ambiente, tornando-se necessária a adoção de boas práticas de produção que garantam a sustentabilidade agrícola. Neste capítulo são discutidos os impactos ambientais da agricultura blossalina, a produtividade da

1 Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - USP, Piracicaba - SP, Brasil

2 Universidade Federal do Ceará - UFC, Fortaleza - CE, Brasil

3 Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB, Brasil

* Autor correspondente: frizzone@usp.br

água em condições de salinidade e indicadores de sustentabilidade econômica de atividades agropecuárias em áreas degradadas por sais.

Palavras-Chave: salinidade, produtividade da água, impactos ambientais, sustentabilidade.

ECONOMIC ASPECTS AND SUSTAINABILITY OF BIOSALINE AGRICULTURE IN THE BRAZILIAN SEMIARID

ABSTRACT: Soil degradation by salts in irrigated areas reduces crop yield and abandonment of agricultural land. With the increase in world population, the amount of available water per capita has decreased, putting irrigated agriculture under pressure to use waters of lower quality to meet the crop water requirements. Biosaline agriculture refers to the use of saline waters, generally in saline or salinized soils, for the cultivation of species tolerant to saline stress, when water and good quality soils become scarce. In biosaline agriculture, the use of halophytes has predominated, species naturally adapted to produce in conditions with a high concentration of salts. Although biosaline agriculture is considered an important technology to allow agricultural activities in the semi-arid region of Brazil, it needs rigorous studies because of environmental hazards related to the use of saline water, requiring proper production practices to ensure agricultural sustainability. This chapter discusses environmental impacts of biosaline agriculture, water productivity under salinity conditions and indicators of economic sustainability of agricultural activities in areas degraded by salts.

Key words: salinity, water productivity, environmental impacts, sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A irrigação é de importância fundamental, porque permite o desenvolvimento de uma agricultura econômica, social, sustentável e, no âmbito do nordeste brasileiro, estratégica. Entretanto, há risco de impacto considerando seus efeitos sobre a alteração e modificação do meio ambiente, compreendendo, entre outros, a salinização do solo. A salinização nas áreas irrigadas tem se consolidado como um fator preponderante para a redução no rendimento dos cultivos e nos investimentos em muitas áreas agrícolas.

Nos projetos públicos de irrigação mais antigos do semiárido brasileiro que entraram em operação na década de 1970, cujo método de irrigação é por superfície, era frequente o surgimento de solos afetados por sais devido o manejo inadequado do solo e da água, a drenagem deficiente em decorrência da baixa transmissão de água no perfil do solo, a falta de conservação e manutenção dos drenos coletores, as condições topográficas desfavoráveis e a constante exploração agrícola das terras (Leite et al., 2007).

Estudos conduzidos pela Missão de Israel em meados da década de 1970 apontavam que 57,2% da superfície agrícola útil do Projeto de Irrigação Morada Nova, no Ceará, já se encontrava salinizada, o que correspondia a uma área de 2502 ha, sendo que desta área degradada, 40% eram inviáveis economicamente a sua recuperação (Bezerra, 2006). Percentuais significativos de áreas degradadas por níveis elevados de salinidade foram registrados nos Projetos de Irrigação Sumé, PB, com 30,1%; Vaza Barris, BA com 29,4% e São Gonçalo, PB com 22,0%, conforme Barreto et al. (2004).

Albuquerque et al. (2018) verificaram que a degradação dos solos no Projeto de Irrigação Curu Pentecoste, CE, foi decorrente do tipo de solo, sobretudo da drenagem deficiente, do excesso da água de irrigação e da inadequada condução da irrigação por sulcos. Cabe destacar que originalmente, esses solos apresentavam uma concentração elevada de sais, dada sua formação (Neossolos Flúvicos). A drenagem inadequada, no entanto, se configurou como a principal causadora do acúmulo de sais na superfície do solo e no lençol freático.

Diversas pesquisas têm demonstrado a viabilidade técnica do processo de recuperação de solos afetados por sais com resultados promissores já nos primeiros anos, dentre elas podem se destacar o uso de gesso e matéria orgânica (Gheyi et al., 1995; Araújo et al., 2011; Sousa, 2012). No entanto, o custo do processo de recuperação e o tempo necessário para a recuperação do capital alocado (cinco a nove anos) têm inibido o investimento por parte dos agricultores irrigantes. Há que se considerar ainda que a hipossuficiência financeira dos agricultores irrigantes não permite que possam assumir a responsabilidade pelo custo da reparação do passivo ambiental gerado pela degradação dos solos por sais.

Diante destes aspectos, há que se considerar a estratégia de aproveitamento dessas áreas para fins produtivos, com ênfase nas condições edafoclimáticas do semiárido brasileiro. A cultura do arroz, por exemplo, é classificada por Ayers & Westcot (1999) como moderadamente tolerante à sodicidade, podendo ser cultivada com faixas de percentagem de sódio trocável entre 15 e 40% a depender da cultivar. Em razão de sua tolerância à sodicidade e a possibilidade de ser cultivado em condições de inundação, o arroz é uma das espécies

mais recomendadas durante o planejamento de uso de solos degradados por sais, visto que os efeitos osmóticos são parcialmente reduzidos pela diluição dos sais após aplicação de elevadas lâminas de irrigação.

Nestas áreas irrigadas e degradadas por sais, vem tomando vulto a ocupação com espécies vegetais utilizadas como suporte forrageiro à bovinocultura de leite, dentre elas sorgo, capim paulistinha, capim elefante, capim buffel e pastagem nativa (DNOCS, 2018). Vale destacar que muitas forrageiras, como é o caso do sorgo, têm tolerância moderada à salinidade (Ayers & Westcot, 1999), com bom potencial para o cultivo em solos afetados por sais.

Neste capítulo são discutidos os impactos ambientais da agricultura bioessalina, a produtividade da água em condições de salinidade e indicadores de sustentabilidade econômica de atividades agropecuárias em áreas degradadas por sais.

2 IMPACTOS AMBIENTAIS DA AGRICULTURA BIOSSALINA

O processo de globalização e o aumento de consumo por parte da população tem feito com que o homem busque cada vez mais espaços rurais e técnicas de produção de alimentos, o que cada vez mais gera impactos na biosfera terrestre. O Conselho Nacional de Meio Ambiente-CONAMA através da Resolução 001/86 (BRASIL, 1986) estabelece : “impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais”.

Fernandes et al. (2016) definem agricultura bioessalina como o uso de águas salinas ou solos salinos ou salinizados, para o cultivo de espécies tolerantes ao estresse salino, quando água e solos de boa qualidade se tornam escassos. Na agricultura bioessalina tem predominado o uso de halófitas, espécies naturalmente adaptadas a crescer e produzir em condições com alta concentração de sais. Conforme Masters et al. (2007) existe uma variedade de plantas que são capazes de crescer em condições de água e solo salino. Ayyam et al. (2019) destacam a agricultura bioessalina como uma solução para usar solos afetados por sais e que a mesma não só ajuda a conter a deterioração das terras salinizadas, mas também tem usos comerciais diretos, como a produção de alimentos, de forragens para os animais, além de cultivos para usos medicinais, madeireiros, biocombustíveis e bioenergia. De fato muitas definições, conceitos e concepções podem ser dado à agricultura bioessalina, que abrangem uma ampla possibilidade de usos, o que a transforma numa alternativa robusta de produção nos mais distintos ambientes que envolvam uma grande faixa de salinidade (Araújo et al. 2021)

Apesar das vantagens apresentadas ao se utilizar a agricultura bioessalina deve-se considerar seus impactos no meio ambiente considerando que sempre haverá o uso de água salina aplicada ao solo. O problema da salinidade dos solos afeta várias regiões do planeta.

No Brasil os primeiros relatos de salinização dos solos na região semiárida datam da década de 1940, mesmo antes do início da irrigação na região. Portanto, existem riscos naturais de salinização dos solos, associados às condições de drenabilidade natural, altura do lençol freático, dentre outros fatores. Por outro lado, a escassez de água de baixa salinidade associada ao fenômeno recorrente das secas, tem levado os agricultores a produzirem com águas salobras, as quais apresentam restrições, especialmente se manejadas inadequadamente (Gheyi et al. 2016).

A agricultura bioassalina, embora considerada como uma tecnologia importante para se viabilizar as atividades agrícolas na região semiárida do Brasil, requer um estudo de manejo constante e rigoroso uma vez que a salinidade das águas apresenta risco de afetar negativamente o ambiente e, diante de um cenário em que a conservação ambiental assume importância frente aos impactos causados pelas atividades produtivas, fazem-se necessárias boas práticas de produção que garantam a sustentabilidade agrícola.

Desse modo, deve-se buscar harmonia entre o desenvolvimento e a proteção ambiental por meio da identificação e quantificação da magnitude dos impactos na implementação de projetos de agricultura bioassalina, para então, priorizar tecnologias que possam mitigar tais impactos.

2.1 Impacto do uso da agricultura bioassalina

(a) No ambiente edáfico

O impacto da agricultura bioassalina no ambiente edáfico está relacionado ao uso da água de salinidade elevada. Independentemente do tipo de água salobra disponível (subterrânea, drenagem, corpos superficiais) para diferentes usos é importante destacar que critérios técnicos rigorosos devem ser adotados para sua utilização, sem jamais esquecer o tipo de solo adequado a determinado uso (Araújo et al., 2021)

Para Nery et al. (2009), a principal causa do aumento da salinização dos solos agrícolas tem sido as irrigações malconduzidas e o manejo inadequado da adubação. Segundo os autores, as opções que se destacam para se mitigar salinização dos solos irrigados ou cultivar solos já salinizados, são: realizar drenagem adequada, lixiviar o excesso de sais, usar culturas mais tolerantes e utilizar métodos de irrigação adequados às condições de salinidade do solo e da água de irrigação; já com relação aos problemas causados pela salinização, podem ser citados: diminuição do potencial osmótico da solução do solo; dispersão das partículas do solo, diminuindo a capacidade de infiltração e causando problemas de toxicidade às plantas.

A irrigação com água salina, na maioria das vezes, resulta em efeito adverso nas relações solo-água-planta, ocasionando restrição severa nas atividades fisiológicas e no potencial produtivo das plantas cultivadas (Dias et al., 2016).

A salinidade da água provoca alterações nos atributos físico-químicas do solo (Rhoades et al., 1992). A salinização dos solos via água salina é um importante problema de degradação ambiental, com seus efeitos prejudiciais sendo mais pronunciados nas áreas de regiões

áridas e semiáridas, e que vem crescendo rapidamente em diversas partes do globo, causando problemas de grandes proporções na produtividade das culturas agrícolas (Bot et al., 2000).

Os solos afetados por sais têm sua classificação baseada na concentração de sais solúveis do extrato da solução do solo, na percentagem de sódio trocável (PST) e no potencial hidrogeniônico (pH) em solos salinos, solos salinos-sódicos e solos sódicos. Para Santos et al. (2016), os solos salinos são aqueles em que o crescimento das plantas é inibido pela elevada concentração de sais solúveis, a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes) é superior a 4 dS m^{-1} e o percentual de sódio trocável inferior a 15%. O pH geralmente é inferior a 8,5 e normalmente são solos bem flocculados. Os solos salino-sódicos apresentam CEes maior que 4 dS m^{-1} e PST superior a 15%, enquanto o pH situa-se em torno de 8,5. A sua limitação à produtividade vegetal deve-se ao efeito conjunto da concentração excessiva de sais solúveis e de sódio trocável. Nestes solos ocorre a lixiviação mais intensa dos sais solúveis que do sódio trocável, convertendo-o em solo sódico. Os solos sódicos têm CEes inferior a 4 dS m^{-1} , PST maior que 15% e frequentemente pH superior a 8,5.

Solos salinos-sódicos apresentam em seus perfis, sais solúveis diversos que elevam a pressão osmótica da solução do solo, e também o acúmulo específico de sais de sódio, que acarretam deteriorações química e física, representadas respectivamente, por desbalanços iônicos e dispersão de argila. A presença de camadas adensadas reduz a macroporosidade do solo restringindo o fluxo de água e de nutrientes e, conseqüentemente, o crescimento das plantas (Santos, 1995).

O excesso de sais de sódio, além de trazer prejuízos aos atributos físicos e químicos do solo, provoca a redução generalizada do crescimento das plantas cultivadas provocando sérios prejuízos à atividade agrícola (Cavalcante et al., 2010). O excesso de sódio trocável provoca alterações nos atributos físicos do solo, especialmente pela dispersão das argilas, que provoca a desestruturação do solo, reduzindo a taxa de infiltração e a condutividade hidráulica, aumento da densidade e da resistência do solo à penetração de raízes, o que repercute diretamente no crescimento vegetal e produtividade das culturas (Vasconcelos et al., 2013). Em relação aos atributos químicos, o efeito do excesso de sais ocorre principalmente pela interação eletroquímica entre os sais e a argila. O sódio no complexo de troca provoca a dispersão da argila e, desta forma, produz uma camada adensada que dificulta o crescimento, respiração, expansão radicular, além da absorção de água e fixação de CO_2 pela planta (Távora et al., 2001).

(b) Na qualidade da água subterrânea

A agricultura bioassalina pode causar impactos negativos na qualidade da água subterrânea, sendo esses impactos mais severos quanto mais elevado for o lençol freático devido a ação capilar que vai favorecer a evaporação da água, ficando os sais na região ocupada pelo sistema radicular das plantas. A salinidade dos solos pode ocorrer naturalmente, contudo os problemas de maior importância econômica para a agricultura surgem, quando solos produtivos se tornam salinizados (salinização secundária), como resultado da irrigação

mal operacionalizada, uma vez que um projeto de irrigação envolve elevados custos para o produtor, seja na aquisição de equipamentos e obras de infraestrutura como na operação dos sistemas (Lima et al., 2016). Para Tanji & Gao (2001) e Rhoades et al. (1992), a ameaça de salinização antropogênica e elevação das superfícies freáticas, aliada às recentes descobertas de elementos tóxicos nas águas de drenagem, constituem-se a principal dificuldade para a sustentabilidade da agricultura irrigada.

A salinização das águas subterrâneas está diretamente relacionada à falta de drenagem ou lixiviação, como resultado os sais da atividade biohalina acabam se acumulando nas camadas superficiais do solo. A fração da água de irrigação, que percola, normalmente, arrasta consigo sais solúveis, fertilizantes, resíduos de defensivos e de herbicidas, nutrientes e outros produtos químicos de modo que, o efluente da drenagem subterrânea constitui uma fonte de contaminação das águas à jusante do perímetro irrigado (Lima, 1998).

Silva et al. (2021) afirmam que nos projetos públicos de irrigação Morada Nova-CE e São Gonçalo-PB, é comum a presença de elevados níveis de sódio trocável, causando a dispersão das argilas. Essas partículas coloidais podem ser facilmente carregadas pela água da chuva e/ou da irrigação, transportando metais pesados, agrotóxicos e outros compostos orgânicos antropogênicos, podendo afetar a qualidade das águas dos reservatórios, açudes e rios, as quais são utilizadas para irrigação (Minhas et al., 2020).

Frota Júnior et al. (2007) investigando a influência antrópica na adição de sais no trecho perenizado da bacia hidrográfica do Rio Curu, Ceará, concluíram que as maiores alterações foram registradas quando as águas cruzavam perímetros irrigados e áreas urbanas, expressando a ação antrópica sobre a qualidade das águas superficiais na bacia do Rio Curu, sendo que o íon que apresentou maior incremento na sua concentração foi o sódio.

Assim, como medidas mitigadoras para esses graves impactos é recomendada a prática de aração superficial de modo a interromper o processo de capilaridade; aplicar regularmente frações de lixiviação; instalar sistemas de drenagem para manter um balanço adequado de água e sais na zona radicular e garantir uma destinação adequada da água de drenagem por meio de reúso com plantas mais tolerantes à salinidade, bacias de evaporação, sistema misto dessas alternativas ou outros.

(c) Nas plantas

O impacto da água salina na redução da qualidade e produtividade das plantas foi evidenciado por várias pesquisas. Marinho et al. (2005) analisaram os efeitos da irrigação com água salina sobre a condutância estomática, eficiência fotossintética e o potencial hídrico do coqueiro anão, em fase inicial de produção. Constatou-se redução na condutância estomática e diminuição no potencial hídrico das folhas, com o incremento da salinidade. Oliveira et al. (2014) avaliaram a interação de níveis de salinidade da água de irrigação associada a doses de nitrogênio sobre a produção de frutos de berinjela. A salinidade da água de irrigação afetou negativamente o número de frutos, comprimento, diâmetro e massa média de frutos e produção total de frutos por planta. A eficiência agrônômica do

nitrogênio é reduzida com o aumento na dose de N e da salinidade. Guillén (2016) estudou o impacto da irrigação com água salina sobre o crescimento e produção de espécies forrageiras, avaliando a sustentabilidade deste sistema em termos de rendimento e qualidade da forragem. Em alfafa, o rendimento foi progressivamente reduzido com o aumento da salinidade na irrigação.

Lacerda et al. (2021) estudaram a qualidade de frutos de aceroleira (*Malpighia emarginata*) irrigada com águas salinas e adubação com nitrogênio-potássio e concluíram que a salinidade da água de irrigação acima de $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ afetou negativamente a caracterização físico-química dos frutos causando redução nos diâmetros polares e equatoriais, na concentração de flavonóides e aumento na acidez titulável total. Lima et al. (2021) avaliaram o percentual de danos na membrana celular, os teores de pigmentos fotossintéticos e o crescimento das mudas de maracujazeiro-azedo cv. BRS RC irrigados com águas salinas e adubação potássica. A salinidade da água a partir de $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ promoveu redução na síntese de clorofila e do crescimento das mudas de maracujazeiro-azedo cv. BRS RC. O potássio não atenua os efeitos deletérios do estresse salino na formação de mudas do maracujazeiro-azedo cv. BRS RC.

Nobre et al. (2010) verificaram que plantas de girassol foram significativamente afetadas quando submetidas à irrigação com água salina (até $4,9 \text{ dS m}^{-1}$). Trabalhando com plantas jovens de pinhão manso Nery et al. (2009) e Silva et al. (2011) estimaram a redução do crescimento de plantas de pinhão manso, quando irrigadas com solução salina. Segundo Nery et al. (2009), o pinhão-manso irrigado com água de CEa de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ teve a altura de plantas, o diâmetro caulinar, o número de folhas e a área foliar reduzidos em 9,07, 17,63, 23,41 e 42,58%, respectivamente, enquanto Silva et al. (2011) estimaram a redução do crescimento de plantas de pinhão manso em até 50%, quando irrigadas com solução salina de $4,7 \text{ dS m}^{-1}$. Esses resultados demonstram que plantas dessas espécies podem ser consideradas glicófitas, e, portanto, não desenvolvem mecanismos eficientes de ajustamento osmótico e bioquímico para resistir a condições de salinidade.

A acumulação de sais, na rizosfera, prejudica o crescimento e desenvolvimento das culturas, provocando um decréscimo de produtividade e, em casos mais severos, pode levar a um colapso da produção agrícola. Isso ocorre em razão da elevação do potencial osmótico da solução do solo, por efeitos tóxicos dos íons específicos e alteração das condições físicas e químicas do solo (Lima, 1998).

Para Macedo et al. (2007), os sais solúveis produzem efeitos adversos às plantas: i) aumentam a pressão osmótica da solução do solo com conseqüente redução da água disponível, ii) causam um desbalanceamento nutricional, iii) o excesso de sódio pode deteriorar a estrutura do solo resultando numa menor penetração das raízes e restringindo o movimento de água e ar, e iv) causam toxidez direta quando certos sais constituintes, tais como, cloretos, sódio e boro estão individualmente em excesso.

As medidas mitigadoras recomendadas para viabilizar o uso das águas salinas inclui o monitoramento da qualidade da água por meio de indicadores da sua salinidade que permitirá a definição de tecnologias consolidadas como a escolha de culturas tolerantes à salinidade; a mistura de águas de fontes de qualidades diferentes; a aplicação de lâminas de

lixiviação bem como, tecnologias mais recentes a exemplo da aplicação exógena de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), que se destaca como uma perspectiva promissora na mitigação dos efeitos causados pelo estresse salino nas culturas (Savvides et al., 2016; Silva et al., 2019).

3 PRODUTIVIDADE DA ÁGUA EM CONDIÇÕES SALINAS

3.1 Produtividade da água

A agricultura irrigada deve ser sustentável para garantir sua viabilidade (Mateos et al., 2018). Porém, a escassez de água, típica das regiões áridas e semiáridas, juntamente com a elevada condutividade elétrica, com o aumento nos custos de produção com sementes, fertilizantes, defensivos e energia, impõem incertezas sobre a viabilidade da agricultura irrigada. A avaliação do desempenho da agricultura irrigada é uma importante ferramenta que auxilia na tomada de decisão sobre a gestão da água, particularmente em regiões semiáridas tropicais. Otimizar a gestão da irrigação requer o desenvolvimento de ferramentas baseadas em processos decisórios, capazes de contribuir com o planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos, visando a melhoria das estratégias de gestão pública, dentro dos interesses socioeconômicos (Frizzone et al., 2021).

Sob pressão crescente, o agricultor irrigante é obrigado a tomar decisões eficazes sobre o método e o sistema de irrigação utilizado, sobre a estratégia de irrigação e o método para programar a irrigação, entre outros fatores relacionados à gestão da água na propriedade (Fernández et al., 2020). Rockström et al. (2017) salientam que o desafio atual do produtor rural é garantir que a gestão da água na agricultura permita lucros razoáveis e produção de alimentos, fibras e biocombustíveis suficientes para atender à demanda da população em crescimento, evitando custos ambientais insustentáveis.

A tomada de decisão em irrigação na fazenda melhora com o uso de indicadores físicos e econômicos de produtividade da água (Heydari, 2014; Fernández et al., 2020). São utilizados vários indicadores para essa finalidade, porém, ainda não há consenso firmado sobre a definição e adequação do conjunto mais importante desses indicadores e como eles devem ser usados para avaliar o desempenho da agricultura irrigada (Fernández et al., 2020; Frizzone et al., 2021). O indicador mais comum e utilizado para avaliar o desempenho da agricultura irrigada e para tomada de decisão é a produtividade da água.

Considerando que a produção de matéria seca e a transpiração estão relacionadas aos processos de difusão de CO_2 e água, Viets (1962) definiu eficiência de uso de água (*WUE*) como a relação entre a taxa de produção de matéria seca ($kg\ ha^{-1}\ dia^{-1}$) e a taxa de transpiração ($mm\ dia^{-1}$). Na prática diária de irrigação, a produtividade física da água (*WFP*) é um termo mais relevante que *WUE* cujo significado depende da aplicação. Integrando-se as taxas de produção de matéria seca e de transpiração ao longo do tempo, isto é, no ciclo da cultura, tem-se o rendimento de biomassa ($kg\ ha^{-1}$) e a transpiração (mm), e *WUE* a passa a ser expressa pela produtividade física da água (*WFP*). Em escala de campo, é geralmente difícil

distinguir transpiração das plantas (T) e evaporação da superfície do solo e das plantas (E). Daí, ao invés de usar T como base para definir WFP , passa-se utilizar a evapotranspiração do cultivo (ET) (Perry et al. 2009).

Nos sistemas de produção agrícola a WFP é usada para definir a relação entre produção comercial das culturas e a quantidade de água consumida nesta produção (ET), e tem servido como um indicador para quantificar o impacto dos calendários de irrigação em relação ao manejo da água. Dessa forma, a produção total de biomassa (matéria seca) é transformada em produção comercial da cultura (Geerts & Raes, 2009; Fernández et al., 2020) e define-se WFP com respeito à ET (WFP_{ET}), conforme Eq. 1. A WFP_{ET} constitui a chave para avaliação das estratégias de irrigação em ambiente salino. Qualquer fator que reduz o numerador da Eq. 1, por exemplo elevada condutividade elétrica da água de irrigação, reduz a produtividade física da água. A ET da cultura é um uso de água consuntivo, porém benéfico. Outro uso benéfico de água que pode ser incluído no denominador é a lâmina de água necessária para lixiviação de excesso de sais.

$$WFP_{ET} = \frac{\text{Rendimento comercial da cultura}}{\text{Evapotranspiração da cultura}} \rightarrow \frac{Y_c(\text{kg ha}^{-1})}{ET(\text{mm})} \rightarrow \frac{Y_c(\text{kg})}{ET(\text{m}^3)} \quad (1)$$

Na escala de campo, muitas vezes, o uso de água representado no denominador da Eq. 1 pela ET é difícil de ser determinado com precisão. Assim, em algumas situações, outros substitutos para WFP são usados por muitos profissionais de irrigação e, como consequência, resultam diferentes valores. Se a quantidade total de água aplicada [irrigação (IR) + precipitação efetiva (PE)] é considerada como água consumida pela cultura, então a Eq. 2 pode ser usada para determinar a produtividade física da água (WFP_{IR+PE}). O denominador da Eq. (2) é um substituto do uso de água para se obter o rendimento comercial correspondente. Sob condições de muito baixa precipitação, como em regiões áridas e semiáridas, pode-se converter WFP_{IR+PE} em WFP_{IR} (Eq. 3). Nesses casos negligencia-se a variação do armazenamento de água no solo durante o ciclo da cultura, a percolação, a ascensão capilar e o escoamento superficial. Muitos profissionais usam as Eqs. 2 e 3 com a finalidade de identificar diferenças entre os métodos de irrigação e/ou manejo de irrigação.

$$WFP_{IR+PE} = \frac{\text{Rendimento comercial da cultura}}{\text{Volume de irrigação + precipitação}} \rightarrow \frac{Y_c(\text{kg})}{IR+PE(\text{m}^3)} \quad (2)$$

$$WFP_{IR} = \frac{\text{Rendimento comercial da cultura}}{\text{Volume de irrigação}} \rightarrow \frac{Y_c(\text{kg})}{IR(\text{m}^3)} \quad (3)$$

Verifica-se relativo consenso sobre o numerador de WFP ser o rendimento comercial. A biomassa total seca ou fresca ou produto colhido pode ser usado no numerador, expresso em termos físicos ou econômicos. No entanto, como os valores econômicos de diferentes produtos agrícolas não são os mesmos, a produtividade da água deve ser definida economicamente

(Heydari, 2014). Por outro lado, algumas culturas são de base úmida, outras de base seca, algumas culturas como alfafa e milho podem ser reportadas em ambas as bases e, para outras, o produto é mais importante (por exemplo, cana-de-açúcar, beterraba açucareira e arroz em casca). Já a definição e os componentes do denominador diferem entre os autores. Alguns consideram apenas a água transpirada pela cultura (Bouman, 2007), mas a maioria inclui tanto a água evaporada do solo quanto a transpirada pela cultura. Pereira et al. (2012) sugeriram o uso do volume total de água envolvido na produção, isto é, além da somam-se a fração de lixiviação quando houver risco de sal na zona radicular e o uso não benéfico de água, ou seja, água percolada, escoada do local de cultivo e derivada pelo vento.

Para entender melhor como as diferentes culturas, os diferentes ambientes agroclimáticos e as diferentes práticas de manejo da cultura podem influenciar a relação entre a produção agrícola e o consumo de água, tem-se recomendado o uso do conceito de *WFP*, como a razão entre a quantidade produzida e a quantidade de água consumida para obter essa produção. Entretanto, na definição da *WFP* é necessário especificar o produto (biomassa ou produção econômica) e o consumo que se está referindo (transpiração, evapotranspiração, volume total de água aplicada ou volume de irrigação).

O conceito de produtividade da água pode se referir à produção física ou ao seu valor econômico (Rodrigues & Pereira, 2009). Um termo adequado para o último é a produtividade econômica da água (*WEP*), que se refere à razão entre produtos e insumos em termos monetários. Para culturas com baixos custos de investimento, por exemplo cereais, a produtividade econômica bruta da água de irrigação ($WEPB_{IR}$), que considera a margem bruta (receita bruta menos os custos variáveis) é aceitável (Eq. 4) (Fernández et al., 2020):

$$WEPB_{IR} = \frac{\text{Margem bruta (R\$ ha}^{-1}\text{)}}{IR (m^3 ha^{-1})} \quad (4)$$

em que o denominador representa apenas o uso da água aplicada por irrigação.

No caso de culturas lenhosas e outras culturas que requerem substancial investimento desde o início, a produtividade econômica líquida da água ($WEPL_{IR}$) é um indicador mais adequado (Fernández et al., 2020), pois considera a margem líquida em vez da margem bruta, ou seja, inclui os custos variáveis e os fixos (Eq. 5):

$$WEPL_{IR} = \frac{\text{Margem líquida (R\$ ha}^{-1}\text{)}}{IR (m^3 ha^{-1})} \quad (5)$$

Ainda assim, nem $WEPB_{IR}$ nem $WEPL_{IR}$ consideram os custos de oportunidade, definidos como os benefícios perdidos ao longo da vida útil da cultura a uma determinada taxa de juros (Fernández et al., 2020). Uma análise econômica adequada deve considerar os custos de oportunidade. Portanto, a produtividade econômica da água total (WEP_{IR+PE}), definida pela Eq. 6 é recomendada:

$$WEP_{IR+PE} = \frac{\text{lucro (R\$ ha}^{-1}\text{)}}{IR+PE (m^3 ha^{-1})} \quad (6)$$

Se apenas o uso da água de irrigação (IR) for considerado no denominador, tem-se a produtividade econômica da água de irrigação (WEP_{IR}). O lucro no numerador da Eq. 6 é definido como a receita bruta menos a soma dos custos variáveis, fixos e de oportunidade. Então WEP_{IR+PE} e WEP_{IR} são adequados para tomar decisões sobre o manejo de irrigação de culturas lenhosas (Fernández et al., 2020). Ressalta-se que o tempo de vida da cultura afeta o valor WEP resultante, devido ao seu impacto nos custos fixos e de oportunidade. Isso é particularmente relevante para pomares de árvores frutíferas. Tanto WEP_{IR+PE} quanto WEP_{IR} são particularmente úteis para irrigantes que precisam tomar decisões sobre como gerenciar a irrigação da maneira mais lucrativa, ou seja, quando a meta de produção é aumentar a lucratividade e não a produtividade física da água. Entretanto, um cálculo preciso do WEP_{IR+PE} e WEP_{IR} deve ser feito apenas no final da temporada, quando a receita e os custos são conhecidos. A receita é dada pelo rendimento e pelo valor de mercado e, para o cálculo dos custos totais, devem ser conhecidos os custos fixos, variáveis e de oportunidade (Alcon et al., 2013; Pereira & Marques, 2017). Isso limita a utilização de WEP_{IR+PE} e WEP_{IR} para a tomada de decisão na irrigação, uma vez que a avaliação econômica deve ser feita antes do início da temporada de irrigação. O desafio é maior quando o valor do rendimento depende da qualidade do produto e quando o preço de alguns insumos, como energia, fertilizantes e defensivos, varia de uma temporada para outra e mesmo durante o período de crescimento.

Os indicadores de produtividade da água expressam os benefícios derivados do consumo de água pelas culturas e podem ser usados para avaliar o impacto das estratégias de exploração agrícola em condições de escassez de água. Fornecem uma visão adequada de onde e quando a água poderia ser economizada. Estes indicadores também são úteis para inferir sobre o potencial aumento da produtividade das culturas que pode resultar do aumento da disponibilidade de água e da melhoria da qualidade da água.

A possibilidade de aumentar a produtividade da água em condições salinas depende de muitos fatores como a seleção da variedade mais tolerante à salinidade, da técnica de produção (tradicional em solo ou em hidroponia), do nível de condutividade elétrica da água de irrigação, da determinação e da aplicação precisa da lâmina de lixiviação requerida para evitar a percolação excessiva abaixo da zona radicular, entre outros fatores. A fração de lixiviação da água de irrigação aplicada percola através da zona da raiz para manter a salinidade do solo em um nível aceitável. A evapotranspiração da cultura e a necessidade de lixiviação, juntos, constituem o esgotamento benéfico da água do solo. A evapotranspiração e a lixiviação estão relacionadas à função de produção água-cultura. Quanto mais o crescimento da cultura é afetado pela salinidade, menor a evapotranspiração e maior a fração de lixiviação necessária.

A técnica da hidroponia, em ambiente controlado, possibilita a utilização de água com maior condutividade elétrica e obtenção de uma produção agrícola superior à obtida em cultivo tradicional para diferentes espécies vegetais, com economia de área e de água (Uddin & Dhar, 2018), permitindo significativo aumento da produtividade física e econômica da água (Modesto, 2023). Com benefícios sociais, econômicos e ambientais, a hidroponia surge como técnica de produção que engloba todas as características necessárias para uma

agricultura econômica e ecologicamente sustentável (Soares et al., 2017; Souza et al., 2019). Modesto (2023) mostrou que é viável economicamente a produção de coentro hidropônico com uso direto de água salobra e que a água dessalinizada por osmose reversa tem vantagem nos indicadores econômicos a partir da condutividade elétrica de 2 dS m^{-1} . Entretanto, conforme destacam Mocock et al. (2018), o processo de dessalinização tem a desvantagem de gerar rejeito com salinidade maior do que a da água inicialmente tratada, além de ser um processo que apresenta elevados custos. Missimer et al. (2013) destacam que a avaliação da viabilidade econômica da dessalinização da água deve incluir os impactos ambientais que podem ser atribuídos a um custo real. Ainda, referindo-se aos impactos ambientais, Jiménez-Arias (2022) mostra que mesmo o rejeito da dessalinização pode ser rentável principalmente para o cultivo hidropônico em que, a depender da composição desse rejeito, pode proporcionar economia no preparo da solução nutritiva e, conseqüente mente, uma renda extra para a atividade agrícola.

3.2 Salinidade e rendimento dos cultivos

O estresse salino inibe o crescimento das plantas em razão de reduzir o potencial osmótico da solução do solo, restringindo a disponibilidade de água e/ou pela acumulação excessiva de íons nos tecidos vegetais, podendo ocasionar toxicidade iônica, desequilíbrio nutricional, ou ambos (Neves et al., 2009). O grau de severidade com que esses componentes influenciam o desenvolvimento das plantas depende de muitos fatores, como, espécie vegetal, cultivar, estágio fenológico, composição salina do meio, intensidade e duração do estresse e das condições edafoclimáticas e, ainda, manejo da irrigação (Gheyi et al., 2005).

A redução do crescimento e produtividade de muitas plantas submetidas à excessiva salinidade está frequentemente associada a diminuição na sua capacidade fotossintética (Neves et al., 2009). Os processos de crescimento das plantas são particularmente sensíveis ao efeito dos sais, de forma que a taxa de crescimento e a produção de biomassa são bons critérios para avaliação do grau de estresse e da capacidade da planta de superar o estresse salino (Morais et al., 2011, Santos et al., 2012). A salinização de áreas de produção agrícola, tem resultado na substituição de culturas mais sensíveis por outras variedades mais tolerantes (Sá et al., 2020). Isto tem dado aos agricultores e principalmente aos irrigantes a possibilidade de, juntamente com outras técnicas de manejo, utilizar áreas com problemas de salinidade e mesmo assim obter produções sustentáveis econômica e ambientalmente (Santos et al., 2012).

O uso de água salina na agricultura é uma técnica de grande interesse em decorrência do aumento da demanda de água tanto pela atividade agrícola quanto pelo abastecimento urbano e industrial. Solos e água salinos são encontrados extensivamente sob condições naturais. O modo prático e eficaz para reduzir o excesso de sais solúveis nos solos é a lixiviação através da passagem de água no perfil do solo, a uma taxa que permite manter a salinidade média na zona radicular a valores que não prejudicam economicamente a produtividade das culturas (Letey et al., 2011; Simões et al., 2021).

Simões et al. (2021) avaliaram a influência da fração de lixiviação nas características biométricas, produtivas e na qualidade tecnológica do caldo de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solo salino no Semiárido brasileiro. Ao final de dois ciclos da cultura foi determinada a produtividade da água. As variedades SP943206 e VAT90212 demonstraram maior produtividade física sob fração de lixiviação da água de irrigação de 9,1% nos dois ciclos e maiores produtividades da água foram observadas na variedade VAT90212. A aplicação de frações de lixiviação para reduzir a salinidade do solo não proporcionou alterações na qualidade tecnológica das variedades RB72454, SP943206 e VAT90212.

As culturas diferem quanto a tolerância à salinidade. Sob condições controladas, as culturas têm valores limites de salinidade abaixo dos quais os rendimentos não são afetados. No entanto, são apresentadas evidências de que em condições de campo, onde as plantas são submetidas a estresse hídrico e salino periódico e simultâneo e à aplicação não uniforme de água, os rendimentos são reduzidos por concentrações de sal acima dos valores limites assumidos (Kijne, 1998). Além disso, em vez de ter uma tolerância sazonal específica ao sal, as culturas reagem de forma diferente dependendo do momento do estresse salino imposto. À medida em que água do solo é consumida pela evapotranspiração, a água remanescente no solo fica mais concentrada com sais. A necessidade de lixiviação aumenta com a salinidade da água armazenada no solo e com a sensibilidade da cultura à salinidade. A incerteza sobre a necessidade de lixiviação, resultante em parte da incerteza sobre as relações produção-salinidade, impõe restrições à possível melhoria da produtividade da água em condições salinas.

Em muitas condições, a água salina tem sido usada com sucesso para o cultivo e pode ser misturada com água de melhor qualidade antes da aplicação, ou os dois tipos de água podem ser aplicados intermitentemente (Modesto, 2023). A sensibilidade da cultura pode variar durante a estação de crescimento, mas as lavouras aparentemente respondem à salinidade média ponderada da água, independentemente do método de mistura (Letey, 1993).

4 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE ECONÔMICA DE ATIVIDADES AGROPECUÁRIAS EM ÁREAS DEGRADADAS POR SAIS

O termo indicador é originário do Latim *indicare*, que significa descobrir, apontar, anunciar e estimar. Os indicadores podem informar acerca do progresso em direção a uma determinada meta, como por exemplo, o desenvolvimento sustentável (Hammond et al., 1995).

Os indicadores de sustentabilidade procuram “medir” as condições de sustentabilidade, indicando ordens de grandeza e, quando possível, apontar medidas corretivas ou alternativas para reverter o quadro identificado. São ferramentas úteis para operacionalização dos objetivos na perspectiva do desenvolvimento sustentável e, importantes referências no processo decisório. Pereira (2001) lembra que tanto os indicadores econômicos quanto sociais são utilizados há muito tempo em todos os níveis.

Sarandón (2002) compreende que o aspecto econômico deve ser relacionado à rentabilidade dos sistemas produtivos, pois nenhum sistema é sustentável ao longo do tempo se não é economicamente viável, por isso é necessário decidir que tipo de evolução econômica se pretende. Enfatiza que um modelo econômico não é sustentável se não pode atribuir valores para a degradação dos meios de produção.

Na sustentabilidade observada da perspectiva social a ênfase é dada à presença do ser humano na ecosfera. Conforme Sachs (1997), a sustentabilidade social refere-se a um processo de desenvolvimento que leve a um crescimento estável com distribuição equitativa de renda, gerando, com isto, a diminuição das atuais diferenças entre os diversos níveis na sociedade e a melhoria das condições de vida das populações.

Dahl (1997) afirma que, dada a dimensão e a complexidade do objeto, o desenvolvimento sustentável e a compreensão deste através da utilização de indicadores constituem um grande desafio. O objetivo principal da mensuração é auxiliar os tomadores de decisão na avaliação de seu desempenho em relação aos objetivos estabelecidos, fornecendo bases para o planejamento de futuras ações. Para isto, estes autores necessitam ferramentas que conectem atividades passadas e presentes com as metas futuras, sendo os indicadores o elemento central destas ferramentas.

De acordo com Silva Neto (2005), a geração de riqueza para a sociedade medida por meio do valor agregado da produção e a viabilidade econômica no nível da unidade de produção medida pela renda de cada sistema de produção são indicadores que podem ser utilizados para estudo do desenvolvimento da agropecuária em uma localidade, incluindo sistemas de produção da agricultura bioassalada (Costa et al., 2005; Cavalcante et al. 2021).

O indicador valor agregado tem o objetivo de analisar a capacidade que uma unidade de produção possui na geração de riquezas para a sociedade e pode ser calculado pela Eq. 7:

$$VA = VBP - (CF + CV + D) \quad (7)$$

sendo: *VA*: valor agregado, R\$; *VBP*: valor bruto da produção, R\$; *CF*: custos fixos associados ao sistema de produção, R\$; *CV*: custos variáveis associados ao sistema de produção, exceto o custo da mão de obra, R\$; *D*: depreciação de equipamentos e instalações, R\$.

Considerando que o valor agregado (*VA*) calculado para uma determinada unidade de produção está associado a uma força de trabalho, bem como a uma superfície agrícola útil, é possível se expandir esta relação de forma linear, como forma de se obter um gráfico que relacione valor agregado/unidade de trabalho familiar (*VA/UT_f*) versus superfície agrícola/unidade de trabalho familiar (*SAU/UT_f*). A geração deste gráfico permitirá identificar a contribuição social (valor agregado) dos sistemas de produção e tipos de agricultores, considerando-se as necessidades de área e de capital fixo para a sua implantação, conforme preconiza Silva Neto (2005).

A análise econômica de um sistema de produção tem como base o indicador renda do agricultor, o qual permite que se avalie a viabilidade econômica em nível de unidade de produção, podendo ser calculado pela Eq. 82:

$$RA = VA - (J + S + I) \quad (8)$$

sendo: *RA*: renda do agricultor, R\$. *VA*: valor agregado, R\$. *J*: juros pagos aos bancos ou outro agente financeiro, R\$. *S*: salários pagos à mão de obra, R\$. *I*: impostos e tarifas pagas ao Estado, R\$.

A partir dos modelos de renda é possível deduzir a superfície agrícola útil mínima para que a unidade de produção possa manter-se na atividade agropecuária, assegurando a reprodução social (*NRS*) do tipo de agricultor em questão. Assim, quanto maior o capital fixo por pessoa necessário para implantar o sistema de produção e menor a contribuição marginal em relação a área, maior será a superfície agrícola útil por pessoa para que cada trabalhador da família possa receber uma renda suficiente para a sua manutenção na atividade agropecuária (Silva Neto, 2005).

Os resultados a seguir apresentados são oriundos de estudo desenvolvido por Paiva (2019) no Projeto de Irrigação Morada Nova, CE, que analisou atividades agropecuárias desenvolvidas por produtores daquele projeto no aproveitamento de áreas com solos degradados por saís.

Na Tabela 1 constam dados de renda líquida (R\$ ha⁻¹) obtidos durante um ciclo de produção com cultivo do arroz irrigado, excluído o custo fixo associado à infraestrutura (poço raso e sistema de bombeamento). Complementos à receita líquida são provenientes da renda gerada com a venda do feno da palha de arroz. Nesta análise está computado o custo da mão de obra no ciclo da cultura (R\$2.500,00), embora a mesma fosse realizada pelo agricultor irrigante familiar. Há que se considerar, neste caso em específico, que a sensibilidade desta renda líquida por parte deste agricultor irrigante se situa na faixa de R\$4.000,00 por hectare, face ao custo da mão de obra computado na referida análise.

Tabela 1. Renda líquida para 1,0 ha de arroz irrigado. Ano: 2019. Fonte: Paiva (2019)

Produtor	Custo de produção (R\$ ha ⁻¹)	Produtividade (kg ha ⁻¹)	Preço de venda (R\$ kg ⁻¹)	VBP (R\$ ha ⁻¹)		Renda líquida (R\$ ha ⁻¹)
				Receita da produção	Complementos à receita líquida	
01	5262,45	6000,00	0,85	5100,00	1600,00	1437,55
02	6653,27	7000,00	0,85	5950,00	1600,00	1063,40
03	6984,24	7000,00	0,95	6650,00	1700,00	1494,33

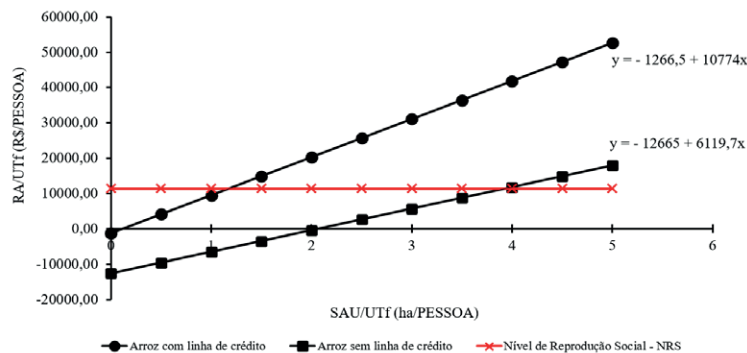
Estudos desenvolvidos por Costa et al. (2005) demonstraram que a produtividade da água de irrigação no cultivo do arroz no Projeto de Irrigação Morada Nova era de 0,20 kg m⁻³, sob irrigação por inundação contínua. Atualmente, se pratica irrigação por inundação intermitente, com água proveniente de poços rasos oriunda de aquífero aluvial, sendo a produtividade da água de irrigação de 0,74 kg m⁻³ (Paiva, 2019). Ainda conforme o autor, o cultivo do arroz no Projeto de Irrigação Morada Nova – CE gera apenas 0,2 emprego direto por hectare.

Na Figura 1 se visualiza a expansão linear da Renda do Agricultor (*RA*) em função da Superfície Agrícola Útil (*SAU*) para o cultivo do arroz irrigado, considerando os cenários com e sem financiamento do Pronaf. Esta Figura permite a análise do nível de reprodução social

(NRS), correspondente ao valor anual associado a um salário mínimo mensal. Nesta análise considerou-se o custo do investimento com um poço raso e o sistema de bombeamento, no valor total de R\$12.665,00. A reta que representa o cultivo do arroz com financiamento demonstra ser possível alcançar o nível de reprodução social com uma área de aproximadamente 1,2 ha, porém, a condição sem financiamento demonstra que o produtor só conseguirá alcançar o nível de reprodução social com uma área de 4,0 ha, o que corresponde a área total do seu lote.

O total de área abandonada decorrente de solos degradados por sais e a adaptação da espécie de camarão *L. vannamei*, em muito contribuíram com o avanço da carcinicultura no Projeto de Irrigação Morada Nova, conforme já se presumia no início da década de 2010 para a região do Baixo Jaguaribe (Miranda et al., 2010).

Figura 1. Renda do agricultor em função da superfície agrícola útil no cultivo do arroz irrigado para as condições com e sem financiamento.



Na Tabela 2 constam dados de renda líquida (R\$ ha⁻¹) obtidos durante um ciclo de produção de camarão, excluído o custo fixo associado à infraestrutura, cuja amortização vem ocorrendo, em média, com um ano e meio, tendo em vista a obtenção de três ciclos da produção de camarão por ano (Paiva, 2019). Ainda, conforme o autor, a atividade da carcinicultura vem apresentando valores médios de geração de emprego direto, principal indicador social, de 1,2 emprego direto por hectare, cabendo destacar que muitos destes empregos são formais, ao contrário de empregos temporários gerados na agricultura irrigada nas condições do Projeto de Irrigação Morada Nova, CE.

Tabela 2. Renda líquida por ciclo na atividade carcinicultura em Morada Nova.

Carcinicultor	Custo de produção (R\$ ha ⁻¹)	Produtividade (kg ha ⁻¹)	Preço de venda (R\$ kg ⁻¹)	VBP* (R\$ ha ⁻¹)	Renda líquida (R\$ ha ⁻¹)
01	26167,05	3500,00	15,00	52500,00	26932,95
02	22001,82	2461,54	16,00	39384,62	17982,80
03	25615,53	2833,33	16,00	45333,33	19717,80

*VBP: valor bruto da produção.

Nas Figuras 2 e 3 são apresentados os gráficos que representam as equações de renda do carcinicultor para um ciclo de produção, numa amostragem de quatro carcinicultores, considerando os cenários com e sem financiamento, respectivamente. Como na agricultura irrigada, na carcinicultura os modelos de renda em relação à superfície agrícola útil também possibilitam identificar as contribuições sociais para os diferentes tipos de investimentos estudados.

Observa-se que no cenário com financiamento é possível obter *NRS* com um ciclo de produção e área inferior a 1,0 ha. Já as retas que representam a condição sem financiamento demonstram que apenas o carcinicultor 1 ultrapassa o *NRS* com superfície agrícola útil inferior a 5,0 ha.

Figura 2. Renda do carcinicultor em 1,0 ha de produção com financiamento.

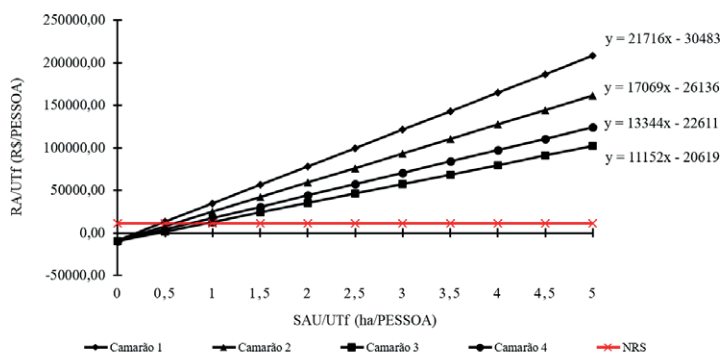
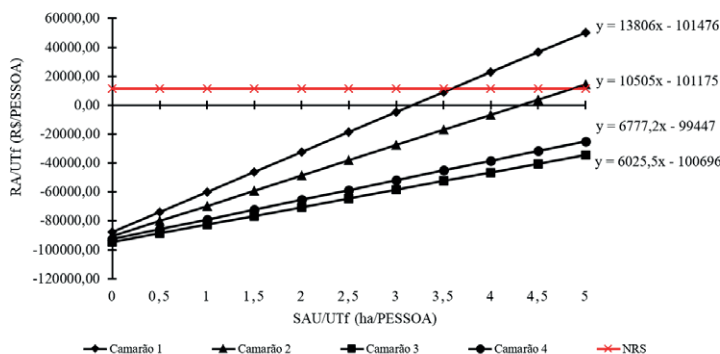


Figura 3. Renda do carcinicultor em 1,0 ha de produção sem financiamento.



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da agricultura bioassalina representar um avanço no aproveitamento de águas e terras salinas, permitindo opções agrícolas viáveis e compatíveis com os recursos hídricos disponíveis contribuindo no desenvolvimento social e econômico da região semiárida,

também representa riscos severos a esse mesmo ecossistema. Assim, é de grande importância a realização de estudos ambientais de modo a identificar os diferentes aspectos das atividades bioassalinas, além de desenvolver estratégias para potencializar os impactos positivos e minimizar os negativos de forma a garantir uma agricultura sustentável, no longo prazo.

A ampliação de áreas para a carcinicultura no Projeto Morada Nova vem aproveitando áreas degradadas por sais e abandonadas. Embora a atividade apresente excelentes indicadores nas dimensões econômica e social, pode vir a comprometer a sustentabilidade hídrica do aquífero aluvial, uma vez que as reservas hídricas subterrâneas não são suficientes para atender a essa demanda crescente.

As atividades agrícolas irrigadas de base familiar no semiárido brasileiro sofrem uma forte limitação quanto à sua viabilidade econômica num cenário sem o apoio social do crédito rural. O nível de reprodução social para os sistemas de produção com financiamento é possível de se obter com áreas de cultivo que representam menos da metade em relação aos sistemas sem financiamento.

LITERATURA CITADA

- Albuquerque, J. A.; Costa, R. N. T.; Ribeiro, R. S. F.; Gheyi, H. R. Responsabilidade objetiva na geração de passivo ambiental pela irrigação. *Irriga*, v. 23, n.2, p. 402 – 412, 2018.
- Alcon, F.; Martín-Ortega, J.; Pedrero, F.; Alarcón, J. J.; Miguel, M. D. Incorporating non-market benefits of reclaimed water into cost-benefit analysis: a case study of irrigated mandarin crops in southern Spain. *Water Resource Management*, v.27 n. 6, p.1809–1820, 2013.
- Araújo, A. P. B.; Costa, R.N. T.; Lacerda, C. F.; Gheyi, H. R. Análise econômica do processo de recuperação de um solo sódico no perímetro irrigado Curu Pentecoste, CE. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n.4, p. 377-382, 2011.
- Araújo, G. G. L.; Silva, T. G. F.; Campos, F. S. Agricultura bioassalina e uso de águas salobras na produção de forragem. In: Cerqueira, P. R. S.; Lacerda, C. F.; Araújo, G. G. L.; Gheyi, H. R.; Simões, W. L. *Agricultura irrigada em ambientes salinos*. Brasília: CODEVASF, 2021. 363 p. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/aceso-a-informacao/institucional/biblioteca-geraldo-rocha/publicacoes/outras-publicacoes/agricultura-irrigadaem-ambientes-salinos.pdf>. Acesso em: 10 de nov. 2021.
- Ayers, R. S.; Westcot, D. W. *A qualidade da água na agricultura*. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. FAO. Estudos Irrigação e Drenagem, 29.

- Ayyam, V.; Palanivel, S.; Chandrakasan, S. Biosaline Agriculture. Coastal Ecosystems of the Tropics - Adaptive Management, Singapore, 12 oct. 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-8926-9_21.
- Barreto, A. N.; Silva, A. A. G.; Bolfe, E. L. Irrigação e drenagem na empresa agrícola. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. 418p.
- Bezerra, E. A salinização de solos aluviais em perímetros irrigados no Estado do Ceará. Fortaleza: DNOCS, 2006. 136p.
- Bot, A.; Nachtergaele, F.; Young, A. Land resource potential and constraints at regional and country levels. Rome: FAO, 2000. (FAO. World Soil Resources Report, 90. Disponível em: <https://www.fao.org/3/x7126e/x7126e.pdf>. Acesso em: 01 de nov. 2021.
- Bouman, B. A. M. A conceptual framework for the improvement of crop water productivity at different spatial scales. *Agricultural System*, v. 93, p.43 – 60, 2007.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8902>. Acesso em: 8 de nov. 2021.
- Cavalcante, E. S.; Costa, R. N. T.; Gheyi, H. R.; Pinto, L. L.; Bezerra, F. M. S. Oliveira, A. C.; Canjá, J. F. Supplemental irrigation using brackish water on maize in tropical semi-arid regions of Brazil: yield and economic analysis. *Scientia Agricola*, v. 78, p.1-9, 2021.
- Cavalcante, L. F.; Cordeiro, J. C.; Nascimento, J. A. M.; Cavalcante, I. H. L.; Dias, T. J. Fontes e níveis da salinidade da água na formação de mudas de mamoeiro cv. Sunrise solo. *Semina: Ciências Agrárias*, v.31, p.1281- 1290, 2010.
- Costa, R. N. T.; Colares, D. S.; Saunders, L. C. U.; Souza, F. de. Análise das eficiências de aplicação e de uso da água em cultivo de arroz no Perímetro Irrigado Morada Nova, CE. *Irriga*, v. 10, p. 372-382, 2005.
- Dahl, A. L. The Big Picture: Comprehensive Approaches. In: Moldan, B.; Bilharz, S. (Eds.) *Sustainability Indicators: Report of the Project on Indicators of Sustainable Development*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 1997.
- Dias, N. S.; Blanco, F. F.; Souza, E. R.; Ferreira, J. F. S.; Souza Neto, O. N.; Queiroz, Í. S. R. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. (Ed). *Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados*: Fortaleza: INCTSal, 2016. 504p.

- DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. Serviço de monitoramento da produção. Divisão de tecnologia e operações agrícolas. Fortaleza: DNOCS, 2018. 56p.
- Fernandes, P. D.; Brito, M. E. B.; Gheyi, H. R.; Andrade, A. P. de; Medeiros, S. S. Halofitismo e agricultura bioassalina. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. (Ed). Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados.: Fortaleza, INCTSal, 2016. 504p.
- Fernández, J. E.; Alcon, F.; Diaz-Espejo, A.; Hernandez-Santana, V.; Cuevas, M. V., 2020. Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: A case study of a super high density olive tree orchard. *Agricultural Water Management*, v.237, 106074.
- Frizzone, J. A.; Lima, S. C. R. V.; Lacerda, C. F.; Mateos, L. Socio-Economic Indexes for Water Use in Irrigation in a Representative Basin of the Tropical Semiarid Region. *Water*, 13, 2643, 2021.
- Frota Júnior, J. I.; Andrade, E. M.; Meireles, A. C. M.; Bezerra, A. M. E.; Souza, B. F. S. Influência antrópica na adição de sais no trechoperenizado da bacia hidrográfica do Curu, Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, v.38, p.142-148, 2007.
- Geerts, S.; Raes, D. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity. *Agriculture Water Management*, v.96, p.1275–1284, 2009.
- Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2016. 504 p.
- Gheyi, H. R.; Azevedo, N. C.; Batista, M. A. F.; Santos, J.G.R. Comparação de métodos na recuperação de solo salino-sódico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.19, p.173-178, 1995.
- Gheyi, H. R.; Correia, K. G.; Fernandes, P. D. Salinidade do solo e crescimento e desenvolvimento das plantas. In: Nogueira, R. J. C.; Araújo, E. L.; Willadino, L. G.; Cavalcante, U. M. T. (ed.). *Estresses ambientais: Danos e benefícios em plantas*. Recife: UFRPE, 2005, p.138 -148.
- Guillén, M. D. P. Agricultura bioassalina para la producción de especies forrajeras. Universidade de la Laguna. *San Cristobal de La Laguna*. 37 p. 2016. Disponível em: <http://www.sechesresse.info/spip.php?article84770>. Acesso em: 3 de nov. 2021
- Hammond, A.; Adriaanse, A.; Rodenburg, E.; Bryant, D.; Woodward, R. Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development. Baltimore: World Resources Institute Publications, 1995. 58p.

- Heydari, N. Water productivity in agriculture: challenges in concepts, terms and values. *Irrigation and Drainage*, v. 63, p.22–28, 2014.
- Jiménez-Arias, D., Sierra, S. M., García-Machado, F. J., García-García, A. L., borges, A. A.; Luis, J. C. Exploring the agricultural reutilisation of desalination reject brine from reverse osmosis technology. *Desalination*, v. 529, 115644, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2022.115644>
- Kijne, J. W. Yield response to moderately saline irrigation water: implications for feasibility of management changes in irrigation systems for salinity control. *Journal of Applied Irrigation Science*, v. 33, p. 249 – 277, 1998.
- Lacerda, C. N. de; Lima, G. S. de; Silva, E. M.; Nobre, R. G.; Gheyi, H. R.; Soares; L. A. A. Qualidade de frutos de aceroleira irrigada com águas salinas e adubação com nitrogênio-potássio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.25, n.11, p.741-749, 2021.
- Leite, M. E.; Cavalcante, L. F.; Diniz, A. A.; Santos; R. V. dos; Alves, G. da S.; Cavalcante, I. H. L. Correção da sodicidade de dois solos irrigados em resposta a aplicação de gesso agrícola. *Irriga*, v. 12, n. 2, p. 168-176, 2007.
- Letey, J. Relationship between salinity and efficient water use. *Irrigation Science*, v. 14, n.2, p. 75 – 84, 1993.
- Letey, J.; Hoffman, G. J.; Hopmans, J. W.; Grattan, S. R.; Suarez, D.; Corwind, D. L.; Oster, J. D.; Wua, L.; Amrhein, C. Evaluation of soil salinity leaching requirement guidelines. *Agricultural Water Management*, v. 98, p. 502 – 506, 2011.
- Lima, V. L. A de. Efeitos da qualidade da água de irrigação e da fração de lixiviação sobre a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*) em condições de lisímetro de drenagem. 1998. 87 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1998.
- Lima, V. L. A. de; Farias; M. S. S.; Borges Júnior; J. C. F. Drenagem agrícola no manejo dos solos afetados por sais. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. da S.; Lacerda, C. F. de; Gomes Filho, E. (Ed). *Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados*. Fortaleza: INCTSal, 2016. 504p.
- Lima, G.S. de; Soares, M. G. da S.; Soares; L. A. dos A.; Gheyi, Hans R.; Pinheiro, F. W. A.; Silva, Jaison B. da. Potássio e salinidade da água de irrigação na formação de mudas de maracujazeiro-azedo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.25, n.6, p.393-401, 2021.

- Macêdo, L. de S.; Sousa, M. R. de; Morrill, W. B. B. Drenagem para controle da salinidade. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, v.1., n.2, p.69-71, 2007.
- Marinho, F. J. L.; Gheyi, H. R.; Fernandes, P. D.; Ferreira Neto, M.. Alterações fisiológicas em coqueiro irrigado com água salina coqueiro irrigado com água salina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Suplemento*, p.370-374, 2005.
- Masters, D. G.; Benes, S. E.; Norman, H. C. Biosaline agriculture for forage and livestock production. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 119, p. 234-248, 2007.
- Mateos, L.; Almeida, A. C. S.; Frizzone, J. A.; Lima; S. C. R. V., 2018. Performance assessment of smallholder irrigation based on an energy-water-yield nexus approach. *Agriculture Water Management*, v.206, n. 2, p.176 – 186.
- Minhas, P. S.; Ramos, T. B.; Ben-Gal, A.; Pereira, L. S. Coping with salinity in irrigated agriculture: crop evapotranspiration and water management issues. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 227, 105832, 2020.
- Miranda, F. R.; Souza Jr., F. E. de; Lima, R. N.; Sousa, C. C. M. Uso de efluentes da carciní cultura de águas interiores na irrigação do arroz. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 13, n. 4, p. 380-386, 2008.
- Missimer, T. M., Ghaffour, N., Dehwah, A. H., Rachman, R., Maliva, R. G., Amy, G. Subsurface intakes for seawater reverse osmosis facilities: Capacity limitation, water quality improvement, and economics. *Desalination*, v. 322, p. 37-51, 2013.
- Mocock, J. F., Pessôa, C. N., Monteiro, Â. T. D. S., Torres, A. S. C. G.; Rabbani, E. R. K. Estudo comparativo entre os principais métodos de dessalinização de águas subterrâneas: revisão de literatura. In: *Anais do XX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, 2018. 4 p.
- Modesto, F. J. N. Viabilidade econômica do coentro hidropônico produzido em diferentes cenários de produção. Cruz das Almas - BA: UFRB, 2023. 226p. Tese de Doutorado.
- Morais, F. A. de; Gurgel, M. T.; Oliveira, F.H.T. de; Mota, A.F. Influência da irrigação com água salina na cultura do girassol. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, n. 2, p.327-336, 2011.
- Nery, A. R.; Rodrigues, L. N.; Silva, M. B. R.; Fernandes, P. D.; Chaves, L. H. G.; Dantas Neto, J.; Gheyi, H. R. Crescimento do pinhão-manso irrigado com águas salinas em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, p.551-558, 2009.

- Neves, A.L.R.; Lacerda, C.F. de; Guimarães, F.V.A.; Gomes Filho, E.; Feitosa, D.R.C. Trocas gasosas e teores de minerais no feijão-de-corda irrigado com água salina em diferentes estádios. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13 (Suplemento), p.873-881, 2009.
- Nobre, R. G.; Gheyi, H. R.; Correia, K. G.; Soares, F.A.L.; Andrade, L. O. A. Crescimento e floração do girassol sob estresse salino e adubação nitrogenada. *Revista Ciência Agronômica*, v.41, p.358 - 365, 2010.
- Oliveira, F. A. de; Medeiros, J. F. de; Alves, R. de C.; Linhares, P. S. F.; Medeiros, A. M. A. de; Oliveira, M. K.T. de. Interação entre salinidade da água de irrigação e adubação nitrogenada na cultura da berinjela. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.480–486, 2014.
- Paiva, P. V. V. Análise econômico-social dos principais sistemas de produção no perímetro irrigado Morada Nova, Ceará. 2019. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.
- Pereira, H.; Marques, R.C. An analytical review of irrigation efficiency measured using deterministic and stochastic models. *Agriculture Water Management*, v.184, n.1, p.28-35, 2017.
- Pereira, L.S.; Cordero, I.; Iacovides, I. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. *Agriculture Water Management* v.108, p. 39 – 51, 2012.
- Pereira, N. L. Análise da Sustentabilidade da Produção do Algodão Orgânico: o Caso do Município de Tauá. Fortaleza: 2001. (Dissertação de Mestrado em Economia Rural) - Universidade Federal do Ceará, p. 127, 2001.
- Perry, C.; Steduto, P.; Allen, R.G.; Burt, C. M. Increasing productivity in irrigated agriculture: Agronomic constraints and hydrological realities. *Agriculture Water Management*, v. 96, p. 1517–1524, 2009.
- Rhoades, J. D.; Kandiah, A.; Mashali, A. M. The use of saline waters for crop production. Rome: FAO, 1992. 133p. FAO Irrigation and Drainage Paper 48. Disponível em: <https://www.fao.org/3/t0667e/t0667e.pdf>. Acesso em: 01 de nov. 2021.
- Rockström, J.; Williams, J.; Daily, G.; Noble, A.; Matthews, N.; Gordon, L.; Wetterstrand, H., DeClerck, F., Shah, M., Steduto, P., de Fraiture, C., Hatibu, N., Unver, O., Bird, J., Sibanda, L., Smith, J. Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. *Ambio*, v. 46, p. 4 – 17, 2017.

- Rodrigues, G. C.; Pereira, L. S. Assessing economic impacts of deficit irrigation as related to water productivity and water costs. *Biosystems Engineering*, v.103, p. 536 – 551, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.05.002>.
- Sá, F. V. S.; Santos, M. G. dos; Barros Júnior, A. P.; Albuquerque, J. R. T. de; Souza, A. R. E. de; Ribeiro, R. M. P. Tolerance of peanut (*Arachis hypogea*) genotypes to salt stress in the initial phase. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.24, n.1, p.37-43, 2020.
- Sachs, I. Desenvolvimento Sustentável, Bio-Industrialização descentralizada e novas configurações Rural-Urbanas. Os casos da Índia e do Brasil. In Vieira, P. F. e Weber, J. (Orgs.). *Gestão de Recursos Naturais Renováveis e Desenvolvimento: Novos Desafios para a pesquisa ambiental*. São Paulo: Cortez, 1997.
- Santos, D. B. dos; Ferreira, P. A.; Oliveira, F. G. de; Batista, R. O.; Costa, A. C.; Cano, M. A. O. Produção e parâmetros fisiológicos do amendoim em função do estresse salino. *Idesia*, v.30, n.2, p.69-74, 2012.
- Santos, J.; Al-Azzawi, M.; Aronson, J.; Flowers T.J. eHALOPH a database of salt-tolerant plants: helping put halophytes to work. *Plant & Cell Physiology*, v. 57, p. e10/1–10, 2016.
- Santos, R. V. dos. Correção de um solo salino-sódico e absorção de nutrientes pelo feijoeiro vigna (*Vigna unguiculata* (L.) WALP). Piracicaba: USP, 1995. 120p. Tese Doutorado. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-20200111-144927/publico/SantosRivaldoVitalDos.pdf>. Acesso em: 10 de nov. 2021
- Santos, R. V. dos; Cavalcante, L. F.; Vital, A. de F. M.; Lacerda, C. F. de; Souza, E. R. de; Lima, G. S. de. Interação salinidade-fertilidade do solo. In: Cerqueira, P. R.S.; Lacerda, C. F. de; Araújo, G. G. L. de; Gheyi, H. R.; Simões, W. L. (Eds.). *Agricultura irrigada em ambientes salinos*. Brasília: CODEVASF, 2021. 363 p. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/aceso-a-informacao/institucional/biblioteca-geraldo-rocha/publicacoes/outras-publicacoes/agricultura-irrigada-em-ambientes-salinos.pdf>. Acesso em: 10 de nov. 2021
- Sarandón, S. J. (Ed.) *Agroecologia: el camino hacia una agricultura sustentable*. La Plata: Ediciones Científicas Americanas. 2002. (El desarrollo y uso de indicadores para evaluarla sustentabilidade de los agroecosistemas. Cap. 20).
- Savvides, A.; Ali, S.; Tester, M.; Fotopoulos, V. Chemical priming of plants against multiple abiotic stresses: mission possible? *Trends Plant Science*, v.21, p.329–340, 2016.

- Silva, A. A. R.; Lima, G. S.; Veloso, L. D. S. A.; Azevedo, C. A. V.; Gheyi, H. R.; Fernandes, P. D.; Silva, L. A. Hydrogen peroxide on acclimation of soursop seedlings under irrigation water salinity. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 40, p. 1441-1454, 2019.
- Silva, E. N.; Ribeiro, R. V.; Ferreira-Silva, S. L.; Viégas, R. A.; Silveira, J. A. G. Salt stress induced damages on the photosynthesis of physic nut young plants. *Scientia Agricola*, v.68, p.62-68, 2011.
- Silva Neto, B. Objetivos e Aspectos Metodológicos dos Estudos Municipais. In: Silva Neto, B.; Basso, D. (Org.). *Sistemas agrários do Rio Grande do Sul: análise e recomendações políticas*. Ijuí: Ed. Unijuí, 2005. p. 159-163.
- Silva, P. C. C.; Cova, A. M. W.; Silva, M. G. de; Lima, G. S. de; Lacerda, C. F. de; Gheyi, H. R. Recuperação de solos afetados por sais. In: Cerqueira, P. R. S.; Lacerda, C. F. de; Araújo, G. G. L. de; Gheyi, H. R.; Simões, W. L.(Eds) *Agricultura irrigada em ambientes salinos*. Brasília: CODEVASF, 2021. 363p. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/aceso-a-informacao/institucional/biblioteca-geraldo-rocha/publicacoes/outras-publicacoes/agricultura-irrigada-em-ambientes-salinos.pdf>. Acesso em: 10 de nov. 2021.
- Simões, W. L.; Oliveira, A. R. de; Salviano, A. M.; Silva, J. S. da; Calgaro, M; Guimarães, M. J. M. Efficient irrigation management in sugarcane cultivation in saline soil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 25, n.9, p.626-632, 2021.
- Soares, C. S.; Silva, J. A.; Silva, G. N. Produção de coentro em diferentes espaçamentos dos canais hidropônicos. *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*, v. 22, n. 1, p. 1-5, 2017.
- Souza, S. V., Gimenes, R. M. T. Binotto, E. Economic viability for deploying hydroponic system in emerging countries: A differentiated risk adjustment proposal. *Land Use Policy*, v. 83, p. 357-369, 2019.
- Sousa, C. H. C. Uso integrado de práticas de manejo visando o aproveitamento e a recuperação de um solo salino-sódico, em Pentecoste, Ceará. Fortaleza: UFC, 2012. 122p. Tese de Doutorado.
- Tanji, K.; Gao, S. Selenium Removal and Mass Balance in a Constructed Flow-through Wetland System. Salinity/Drainage Program. Division of Agriculture and Natural Resources, University of California. Annual Report 2000-2001. Disponível em: <https://ciwr.ucanr.edu/files/169919.pdf>. Acesso em: 6 de nov. 2021

- Távora, F. J. A. F.; Ferreira, R. G.; Hernandez, F. F.F. Crescimento e relações hídricas em plantas de goiabeira submetidas a estresse salino com NaCl. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 23, p. 441-446, 2001.
- Uddin, M. T.; Dhar, A. R. Socioeconomic analysis of hydroponic fodder production in selected areas of Bangladesh: Prospects and challenges. *SAARC Journal of Agriculture*, v. 16, n. 1, p. 233-247, 2018.
- Vasconcelos, R. R. A.; Barros, M. F. C.; Silva, E. F. F.; Graciano, E. S. A.; Fontenele, A. J. P. B.; Silva, N. M. L.; Características físicas de solos salino-sódicos do semiárido pernambucano em função de diferentes níveis de gesso. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.1318-1325, 2013.
- Viets, F.G. Fertilizers and the efficient use of water. *Advances in Agronomy*, v. 14, p. 223-264, 1962.

Sobre o livro

Imagens da capa Foto de uma planta de Terminalia catappa (A) à beira mar em Maragogi, Alagoas - Brasil, com detalhes de frutos e folhas (B), sem sinais de injúrias, mesmo com o sistema radicular exposto ao ar (C) e em contato direto com a água salgada, devido à ruptura do quebra mar (Foto: PDFernandes, 15/11/2005).

Coordenadas geográficas de sua localização: -7.214429; -35.906443. Planta não existe mais... foi eliminada nos serviços de restauração do quebra-mar, na área de lazer de um hotel.

Design da capa, Projeto Gráfico e Editoração Jéfferson Ricardo Lima Araujo Nunes

Formato A4 (21,0 x 29,7 cm)

Mancha gráfica 15,5 x 23,0 cm

Tipologias Utilizadas Roboto 14/16
Linux Libertine G 12/14 pt

A presente obra é um esforço conjunto de pesquisadores de diferentes instituições de pesquisa e ensino na elaboração do primeiro livro em bioessalinidade no Brasil, o qual visa à produção de culturas agrícolas de uso alimentar e agroindustrial. A pesquisa em bioessalinidade é importante, pois nossas principais culturas agrícolas foram melhoradas para aumentar sua produtividade em condições agrícolas ideais e não para tolerar o excesso de sais no solo e/ou na água de irrigação e, portanto, são inadequadas para sustentar a produção de alimentos em áreas de clima semiárido, onde as altas temperaturas, baixa umidade relativa e baixa pluviosidade exacerbam o estresse salino.

As informações contidas neste livro resultam de vários anos de experimentos controlados, conduzidos, apresentados e discutidos por pesquisadores competentes e sedimentados em diversas áreas da bioessalinidade. Sua publicação vem atender a uma crescente demanda por informações sobre culturas agrícolas e suas cultivares mais tolerantes a solos e águas salinas. O momento não poderia ser mais propício devido à necessidade de alimentar uma população em expansão e às atuais mudanças climáticas que resultam em temperaturas mais altas, secas frequentes e prolongadas e um sistema de chuvas errático que, juntos, ameaçam a segurança alimentar no planeta, principalmente em regiões áridas e semiáridas.

ISBN 978-85-7879-995-3

