ISSN 0103-0205 / e-ISSN 2966-0343

Documentos

298

Campina Grande, PB / Outubro, 2024

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

12 CONSUMO E PRODUÇÃO RESPONSÁVEIS

Salinidade do solo

Embrapa
Algodão

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Algodão
Ministério da Agricultura e Pecuária

ISSN 0103-0205 / e-ISSN 2966-0343

Documentos 298

Outubro, 2024

Salinidade do solo

Magna Maria Macedo Nunes Costa

Embrapa Algodão
Campina Grande, PB
2024

Embrapa Algodão
Rua Osvaldo Cruz, 1.143, Centenário
58428-095, Campina Grande, PB
www.embrapa.br/algodao
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente
Daniel da Silva Ferreira

Secretária-executiva
Magna Maria Macedo Nunes Costa

Membros
Joao Henrique Zonta
Lucia Vieira Hoffmann
Roseane Cavalcanti dos Santos
Ziany Neiva Brandão

Edição executiva
Geraldo Fernandes de Sousa Filho

Revisão de texto
Marcela Bravo Esteves

Normalização bibliográfica
Enyomara Lourenço Silva

Projeto gráfico
Leandro Sousa Fazio

Diagramação
Geraldo Fernandes de Sousa Filho

Foto da capa
Sergio Cobel da Silva

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados
A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Algodão

Costa, Magna Maria Macedo Nunes.
Salinidade do solo / Magna Maria Macedo Nunes Costa. – Campina Grande : Embrapa Algodão, 2024.
PDF (53 p.) : il. color. – (Documentos / Embrapa Algodão, e-ISSN 2966-0343 ; 298).

1. Solo. 2. Química. 3. Sal. 4. Conservação. I. Embrapa Algodão. II. Título. III. Série.

CDD (21. ed.) 631.41

Enyomara Lourenço Silva (CRB-4/1569)

© 2024 Embrapa

Autora

Magna Maria Macedo Nunes Costa
Engenheira-agrônoma, doutora em Nutrição Mineral de Plantas, pesquisadora da Embrapa Algodão, Campina Grande, PB

Apresentação

A salinidade do solo é um dos problemas que mais afeta a produção agrícola nos solos do Semiárido Nordestino. Fatores naturais e antrópicos contribuem para que isso ocorra, onde predomina o bioma Caatinga. Entre as causas naturais estão intensa radiação solar, altas temperaturas e chuvas concentradas e irregulares. Além disso, a maior parte dos solos do Semiárido vem de uma estrutura geológica chamada escudo cristalino, que forma solos rasos e eutróficos, altamente propensos à salinidade. Também, o aumento populacional e o consequente incremento da pressão pela produção de alimentos, fibras e energia têm resultado na expansão da área de solos degradados por salinidade, com grandes prejuízos para a economia da região. Nesse contexto, a Embrapa ao longo de cinco décadas de existência, tem direcionado pesquisas para prevenção/remediação dos problemas enfrentados pelos produtores rurais decorrentes de solos afetados por sais. A complexidade do problema sempre exigiu da Empresa um trabalho de equipes multidisciplinares, em áreas básicas e aplicadas. Na Embrapa Algodão em particular, pesquisas têm sido desenvolvidas no sentido de selecionar genótipos de algodoeiro herbáceo para tolerância ao estresse salino.

Esse Documento tem como objetivo discutir de forma simples e objetiva: as ações da Embrapa relacionadas à salinidade; as espécies químicas responsáveis pela salinidade dos solos; a classificação dos solos quanto aos sais; as origens primárias e secundárias da salinidade do solo; o efeito da salinidade do solo sobre as propriedades químicas, físicas e biológicas; o efeito da salinidade sobre as plantas; a classificação das plantas quanto à salinidade; os mecanismos de resistência à salinidade; a recuperação de solos salinizados através de práticas de caráter físico, químico, biológico e cultural; e o efeito da salinidade do solo sobre as culturas do algodão (*Gossypium hirsutum* L.), do amendoim (*Arachis hypogaea* L.), do gergelim (*Sesamum indicum* L.), da mamona (*Ricinus communis* L.) e do sisal (*Agave sisalana* Perrine). Espera-se que a publicação sirva de norteamento às pesquisas nas

mais variadas áreas do conhecimento agronômico, particularmente no melhoramento genético e na biotecnologia, especialmente para o Semiárido Nordestino. A publicação está alinhada com a agenda 2030 através do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 12 – Consumo e produção responsáveis.

Nair Helena Castro Arriel
Chefe-Geral da Embrapa Algodão

Sumário

Introdução 9

Ações da Embrapa relacionadas à salinidade 10

Espécies químicas responsáveis pela salinidade dos solos 11

Classificação dos solos quanto aos sais 12

Origem da salinidade do solo 14

Salinização primária 15

Salinização secundária 15

Efeito da salinidade sobre o solo 16

Efeito sobre as propriedades físicas 16

Efeito sobre as propriedades químicas 18

Efeito sobre as propriedades biológicas 20

Efeito da salinidade sobre as plantas 20

Efeitos osmóticos 22

Efeitos iônicos 22

Efeito das espécies reativas de oxigênio (ROS) 23

Classificação das plantas quanto à salinidade 23

Resposta das plantas aos estresses 24

Resistência das plantas à salinidade 25

Mecanismos de resistência à salinidade 25
Ajustamento osmótico 25
Homeostase iônica 27
Glândulas de sal 28
Abscisão de folhas velhas 28
Volatilização 29
Suculência 29

Recuperação de solos salinizados 29
Práticas de caráter físico 29
Práticas de caráter químico 33
Prática de caráter biológico 36
Práticas de caráter cultural 37

Efeito da salinidade do solo sobre as culturas do algodão, do amendoim, do gergelim, da mamona e do sisal 40
Algodão 40
Amendoim 41
Gergelim 43
Mamona 44
Sisal 45

Considerações finais 45

Referências 46

Introdução

O Mapa Global de Solos Afetados pelo Sal, divulgado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, revela que 8,7% do solo do planeta é salino (ONU, 2021). Esse tipo de solo pode ser encontrado, principalmente, em ambientes naturalmente áridos e semiáridos. O sal no solo também pode ser resultado da atividade humana, devido à má gestão com o uso de fertilizantes, desmatamento, irrigação e muitas outras ações adversas. Entre 20 e 50% dos solos irrigados do mundo se tornaram inférteis devido à salinização. Esse processo químico coloca em risco a segurança alimentar e o cultivo de alimentos de pelo menos 1,5 bilhão de pessoas (ONU, 2021).

O Brasil possui uma área de aproximadamente 160 mil quilômetros quadrados (16 milhões de hectares) de solos salinos, o que equivale a 2% do território nacional. Desse total, 57% (91 mil quilômetros quadrados ou 9,1 milhões de hectares) encontram-se no Semiárido nordestino, e os outros 43% (69 mil quilômetros quadrados ou 6,9 milhões de hectares), a oeste de Mato Grosso do Sul, a leste e no centro do Rio Grande do Sul e em áreas litorâneas (Santos et al., 2018).

A região semiárida do Nordeste caracteriza-se por intensa radiação solar, altas temperaturas e chuvas concentradas e irregulares, constituindo assim condições naturais relativamente desfavoráveis às atividades agropecuárias. A maior parte dos solos desse bioma vem de uma estrutura geológica chamada escudo cristalino, que forma solos rasos e eutróficos, altamente propensos à salinidade (Gama; Jesus, 2020).

O aumento populacional no Semiárido nordestino e o consequente incremento da pressão pela produção de alimentos, fibras e energia têm resultado na expansão da área de solos degradados por salinidade, com grandes prejuízos para a economia da região (Saraiva Filho; Bonilla, 2022). Em algumas localidades do Semiárido, já têm se formado os chamados Núcleos de Desertificação, com empobrecimento da população local, declínio da qualidade ambiental, processos migratórios intrarregionais, perda da biodiversidade e do

território produtivo, interferência no clima do planeta e em processos biogeoquímicos (Lopes; Soares, 2016; Crispim, 2020).

Este Documento descreve ações da Embrapa relacionadas ao processo de salinidade, as espécies químicas responsáveis pela salinização dos solos, a origem da salinidade do solo, os efeitos da salinidade sobre o solo e as plantas, a classificação das plantas quanto à salinidade, os mecanismos de resistência das plantas à salinidade e ainda as práticas de recuperação de solos salinos.

Ações da Embrapa relacionadas à salinidade

No Brasil, a salinidade do solo origina-se de fatores ambientais e/ou antrópicos. Dentre os fatores ambientais destacam-se: o transporte de sedimentos com sais para locais não salinizados, a ascensão por capilaridade de água contendo sais para a superfície do solo e as altas taxas de evapotranspiração. Dentre os fatores antrópicos, destacam-se: irrigação com água contendo concentrações elevadas de sais, drenagem ineficiente e aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas. Os impactos da salinização dos solos ao longo das últimas décadas têm sido a redução das produções agrícolas e os deslocamentos populacionais do campo em direção às cidades, afetando negativamente a segurança alimentar e a economia das comunidades (Castro; Santos, 2020).

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) tem, ao longo de cinco décadas de existência, direcionado pesquisas para prevenção/remediação dos problemas enfrentados pelos produtores rurais decorrentes de solos afetados por sais. Segundo Bezerra (2015), a complexidade do problema da salinidade do solo sempre exigiu da Embrapa o trabalho de equipes multidisciplinares, em áreas básicas e aplicadas. As linhas mais pesquisadas até hoje foram: (i) estudos fisiológicos e bioquímicos de plantas submetidas a estresse salino; (ii) diagnóstico de áreas afetadas por sais; (iii) avaliação da

qualidade da água para irrigação; (iv) melhoramento genético visando ao desenvolvimento de espécies/cultivares tolerantes à salinidade; (v) desenvolvimento de práticas de manejo e controle da salinidade em solos afetados por essa condição adversa; e (vi) recuperação de áreas degradadas por sais.

Resultados promissores têm sido alcançados nos últimos anos, com destaque para: alterações físico-químicas em um Argissolo sob irrigação com água salina no perímetro Nilo Coelho, município de Petrolina, PE (Amaral; Tavares, 2006); uso da água salina na produtividade de beterraba (*Beta vulgaris* L.) e cenoura (*Daucus carota* L.) no semiárido do Submédio São Francisco (Resende; Cordeiro, 2007); efeito da aplicação de água salina no desenvolvimento e comportamento fisiológico do coqueiro (*Cocos nucifera* L.) (Passos et al., 2008); efeito do estresse salino no desenvolvimento in vitro de genótipos de milho (*Zea mays* L.) (Ledo et al., 2013); tolerância de genótipos de arroz (*Oryza sativa*) (à salinidade da água de irrigação (Scivittaro et al., 2015); Agricultura Biossalina, desenvolvida a partir de desafios e alternativas para o uso de águas salobras e salinas no Semiárido brasileiro (Porto et al., 2019); mitigação da salinidade na agricultura mediada pela interação de microrganismos e plantas (Lanna et al., 2021); e seleção de genótipos de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.) para tolerância ao estresse salino (Costa et al., 2024).

Espécies químicas responsáveis pela salinidade dos solos

As espécies químicas responsáveis pela salinidade do solo são cátions e ânions. Os cátions são os íons potássio (K^{+}), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e sódio (Na^{+}). Os ânions são os íons cloreto (Cl^{-}), nitrato (NO_3^{-}), bicarbonato (HCO_3^{-}), sulfato (SO_4^{2-}) e carbonato (CO_2^{3-}) (Santos et al., 2013), os quais estão ilustrados na Figura 1. O método mais usado para se medir o nível de salinidade do solo é a condutividade elétrica — CEes — no extrato de saturação, dada em $dS.m^{-1}$,

pois ela está relacionada à concentração dos íons na solução (Ewens et al., 2012), sendo considerado salino o solo que apresenta esse índice acima de 4,0 $dS.m^{-1}$ (Saelee, 2022).

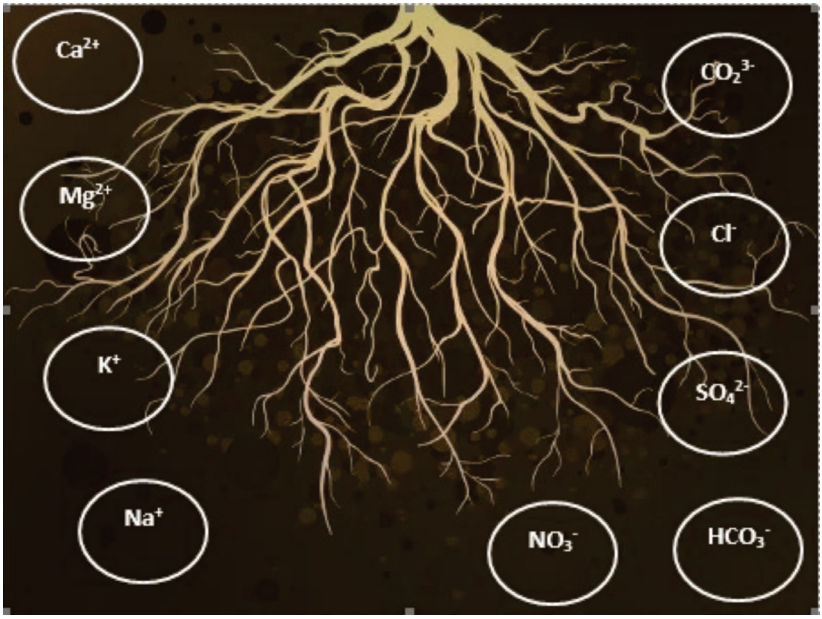

Figura 1. Espécies químicas encontradas no solo responsáveis pela salinização. Ilustração: Magna Maria Macedo Nunes Costa.

Classificação dos solos quanto aos sais

Em 1964, Richards classificou os solos em quatro categorias de acordo com o pH, a condutividade elétrica no extrato de saturação (CEes) e a percentagem de sódio trocável (PST) (Tabela 1).

Tabela 1. pH, condutividade elétrica na pasta de saturação, percentagem de sódio trocável e relação de adsorção de sódio em solos salinos, salino-sódicos e sódicos.

Solos	pH	CEes[1] (dS m^{-1} a 25 °C)	PST[2] (%)	RAS[3]
Normal	< 8,5	< 4,0	< 15,0	< 13,0
Salino	< 8,5	> 4,0	< 15,0	< 13,0
Salino-sódico	> 8,5	> 4,0	> 15,0	> 13,0
Sódico	> 8,5	< 4,0	> 15,0	> 13,0

[1] CEes = condutividade elétrica da pasta de saturação.

[2] PST = percentagem de sódio trocável; PST = (*Na*/Capacidade de troca de cátions*)* · 100.

[3] RAS = relação de adsorção de sódio; $RAS = Na/(Ca + Mg)^{½}$.

Fonte: Richards (1964).

Um solo é considerado salino (solonchack) quando apresenta pH < 8,5, CEes > 4,0 dS m^{-1} e PST < 15%; salino-sódico quando apresenta pH > 8,5, CEes > 4,0 dS m^{-1} e PST > 15%; e sódico (solonetz) quando apresenta pH > 8,5, CEes < 4,0 dS m^{-1} e PST > 15%. A condutividade elétrica e a relação de adsorção de sódio são muito utilizadas para classificar as águas destinadas à irrigação. Nesse contexto, a água pode ter baixa (C_1), média (C_2), alta (C_3) e muito alta (C_4) salinidade bem como baixo (S_1), médio (S_2), alto (S_3) e muito alto (S_4) perigo de sódio, em todas as combinações possíveis (Figura 2), abrangendo desde a água que pode ser usada sem restrições até aquela não apropriada (Carvalho et al., 2022).

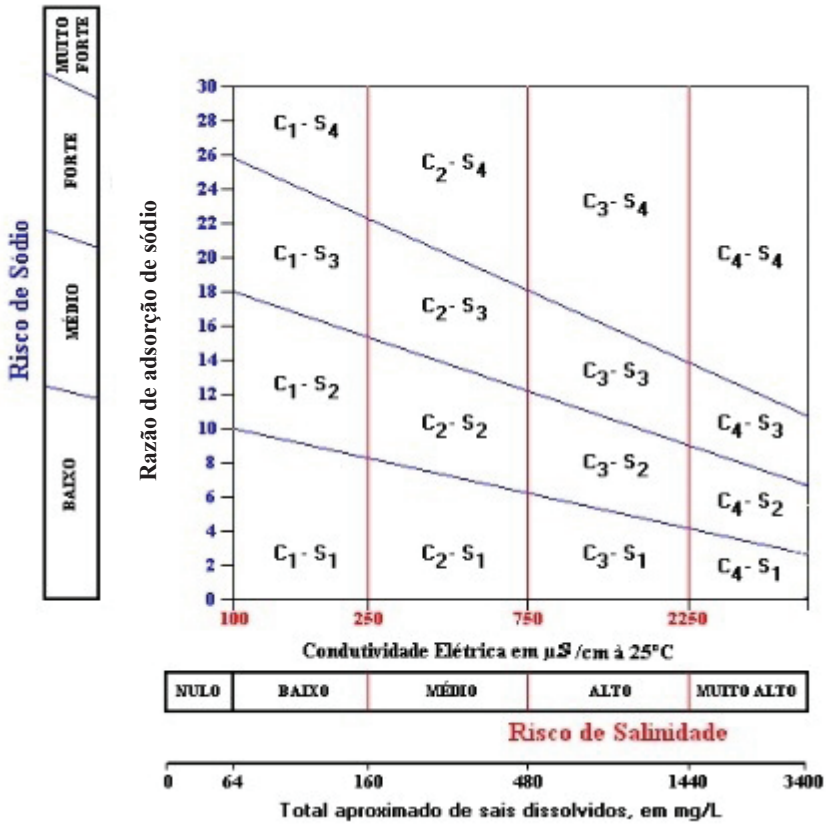

Figura 2. Diagrama para classificação de águas para irrigação.
Fonte: Wilcox (1955).

Origem da salinidade do solo

A salinização do solo pode ser primária ou secundária. A salinização primária é aquela que ocorre naturalmente, ou seja, sem a interferência do homem, e a secundária é antropogênica, isto é, ocasionada pelo homem.

Salinização primária

Proveniente do processo de formação do solo, ela ocorre através do intemperismo das rochas que passam por processos físicos, químicos e biológicos, mediante a ação dos fatores clima, relevo, organismos vivos e tempo. Esse intemperismo faz com que as espécies químicas responsáveis pela salinidade sejam liberadas para a solução, enquanto alumínio (Al), silício (Si) e ferro (Fe), principais componentes da crosta terrestre, continuam firmemente ligados às partículas do solo.

Outras causas da salinização secundária são: solos de locais de áreas continentais que outrora foram cobertas pelo mar; inundações periódicas pela água do mar devido às marés cheias; sais de pulverização oceânica, aerotransportados por ventos das marés até os continentes; e sais cíclicos dos oceanos, dissolvidos nas águas das chuvas, que alcançam os solos continentais.

Salinização secundária

São várias atividades humanas que podem contribuir para aumentar o teor de espécies químicas responsáveis pela salinização secundária. Entre essas atividades estão: desmatamento da vegetação nativa com a finalidade de cultivo de culturas anuais e pastagens, as quais, por sua vez, reduzem a evapotranspiração e fazem com que o excesso de água das chuvas se infiltre no perfil do solo e a água subterrânea ascenda por capilaridade, trazendo consigo os sais armazenados no subsolo; irrigação com intensidade e/ou frequência acima do recomendado para a cultura implantada; irrigação com uso de água salina; sistema de drenagem ausente ou deficiente; aplicação excessiva de fertilizantes com altos índices salinos como os nitrogenados, os potássicos e as formulações prontas; descarte no solo de rejeitos de dessalinizadores sem tratamento prévio, especialmente no Semiárido; e descarte de efluentes de reatores biológicos de tratamento de esgotos.

Efeito da salinidade sobre o solo

Efeito sobre as propriedades físicas

- Diminuição dos potenciais osmótico (Ψ_s) e hídrico (Ψ_w)

Quanto maior a concentração de sais na solução do solo, menor o seu Ψ_s, ou seja, mais negativo. O Ψ_s representa praticamente o Ψ_w, pois $\Psi_w = \Psi_s + \Psi_m$. O Ψ_m (potencial mátrico), representado pela energia dos coloides, contribui muito pouco para o Ψ_w. Dessa forma, é o teor de sais diluídos na solução que vai determinar o Ψ_w, ou seja, o potencial energético da água no solo, que diminui com o aumento da salinidade, causando estresse hídrico às plantas.

- Desestabilização dos agregados

Quanto maior a concentração do íon sódio (Na^+) em um solo, maior será a desestabilização dos agregados, afetando negativamente a sua estrutura. Nesse contexto, sob condições normais, os ácidos húmicos e fúlvicos da matéria orgânica juntamente com os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio das argilas reúnem-se para formar agregados estáveis que, por sua vez, são responsáveis pela aeração, retenção e movimento de água, crescimento e penetração de raízes. O Na^+ tem o poder de separar as partículas de argila, desestruturando os agregados.

- Dispersão das partículas

A salinidade provoca a dispersão das partículas de argila do solo, destruindo a sua estrutura. Tal fato ocorre devido à substituição dos íons cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}), adsorvidos no complexo de troca, pelo íon sódio (Na^+), aumentando a sodicidade e a espessura das argilas. O resultado é um solo com má aeração, sujeito ao encharcamento, compactado em condições secas e disperso e pegajoso em condições molhadas, tornando-o inviável às práticas agrícolas.

Em casos extremos, as argilas são tão expandidas que ocorre a fragmentação delas, o que pode trazer grande impacto ambiental pela liberação de biocidas.

• Aumento da compactação

Devido à dispersão das argilas, a salinidade provoca a compactação do solo. O resultado é a inabilidade para a produção agrícola, uma vez que inibe o crescimento das raízes e a absorção de água e nutrientes. Ao desarranjar as partículas do solo, a salinidade provoca o adensamento ou compactação, diminuindo o volume dos poros, aumentando a densidade e a resistência mecânica à penetração de raízes e movimento da solução. Indiretamente, há aumento da temperatura e diminuição da aeração, infiltração e condutividade hidráulica, além de desfavorecer o desenvolvimento de microrganismos benéficos e da rizosfera. Pode ocorrer a eluviação de argilas para as camadas inferiores, levando ao encrostamento superficial.

• Diminuição da permeabilidade e infiltração

A salinidade, ao causar a compactação do solo, diminui a permeabilidade e infiltração de água, o que leva as plantas a sofrerem estresse hídrico. Além do mais, como a água das chuvas não percola para o interior do solo, vai ser levada horizontalmente para outro local, podendo haver erosão — que é a perda de partículas do horizonte superficial mais fértil do perfil —, tornando o solo infértil com o passar do tempo.

Cabe aqui uma distinção entre solos salinos e solos sódicos: os salinos normalmente são bem agregados, uma vez que os sais floculam as argilas; têm pH variando entre 7,0 e 8,0; geralmente ocorrem em áreas pouco intemperizadas; e são, na maior parte das vezes, calcários, ricos em carbonato de cálcio. Já os solos sódicos são tipicamente mal agregados, pois o sódio dispersa as argilas; têm baixas taxas de infiltração de água; e seu pH geralmente é 8,0 ou superior, devido à presença de Na_2CO_3 solúvel.

Efeito sobre as propriedades químicas

- Diminuição da fertilidade

Para que as plantas cultivadas possam absorver todos os nutrientes essenciais, o pH do solo deve estar na faixa da neutralidade — entre 6,0 e 7,0. Acima dessa faixa tem início uma redução na disponibilidade de nitrogênio, fósforo, enxofre, boro e micronutrientes catiônicos, além de haver aumento da toxidez por alumínio (Figura 3). Além desse fato, a salinidade do solo interfere negativamente em processos microbiológicos responsáveis pela disponibilização de alguns nutrientes às plantas, como oxidação, nitrificação, amonificação, sulfatação e fixação biológica de nitrogênio.

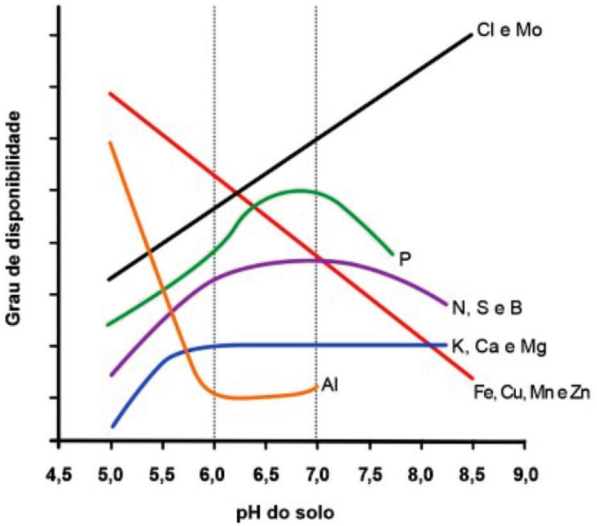

Figura 3. Relação entre o pH do solo e a disponibilidade de nutrientes para serem absorvidos pelas plantas.
Cl: cloro; *Mo*: molibdênio; *P*: fósforo; *N*: nitrogênio; *S*: enxofre; *B*: boro; *K*: potássio; *Ca*: cálcio; *Mg*: magnésio; *Fe*: ferro; *Cu*: cobre; *Mn*: maganês; *Zn*: zinco e *Al*: alumínio.

• Inibição competitiva

A salinidade do solo afeta a absorção de nutrientes essenciais ao crescimento e desenvolvimento da planta pelo efeito de competição com os íons Na^+ e Cl^-. Por exemplo, o $Na+$ vai competir com nutrientes como NH_4^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} e micronutrientes catiônicos. Já o Cl^- vai competir com NO_3^-, $H_2PO_4^-$ e SO_4^{2-}.

• Toxidade

A salinidade do solo tem um efeito fitotóxico, ou seja, afeta diretamente vários processos fisiológicos e bioquímicos das plantas. Esses problemas surgem quando as espécies químicas responsáveis pela salinização (Figura 1) começam a se acumular nos tecidos vegetais acima do nível tolerado. Com isso, os danos invisíveis às células resultam em danos visíveis na bordadura e no ápice das folhas mais velhas, região em que o acúmulo é maior. Os sintomas de toxidade são principalmente queimadura e necrose (Figura 4).

Foto: Sergio Cobel da Silva

Figura 4. Folha de algodoeiro (*G. hirsutum* L.) com necrose nas bordas e entre nervuras principais.

Efeito sobre as propriedades biológicas

A comunidade microbiana do solo tem papel relevante na produção agrícola, dentre os quais podemos destacar: decompõe os resíduos orgânicos, fixa o N_2 atmosférico e o disponibiliza de forma assimilável para as plantas, mineraliza e solubiliza o fósforo indisponível, aumenta a superfície de absorção de água e nutrientes minerais, produz fito-hormônios e outros compostos orgânicos benéficos às plantas que atuam como agentes de controle biológico de pragas e doenças de solo e melhora a estrutura do solo de uma forma geral. Além dessa comunidade microbiana, alguns animais — por exemplo, minhocas (*Lumbricus terrestris*), besouros, cupins (*Coptotermes formosanus*), formigas e moluscos — movimentam-se no interior do solo, abrindo galerias, fragmentando resíduos e depositando matéria orgânica, contribuindo, dessa forma, para a melhoria do solo. Esses agentes podem ser seriamente prejudicados pela salinidade do solo, tanto pelo efeito osmótico, desidratando-os, como pelo efeito tóxico que íons em excesso promovem em suas células e/ou tecidos.

Efeito da salinidade sobre as plantas

A salinidade do solo reduz o crescimento e a produção das plantas cultivadas. A Figura 5 mostra o efeito da salinidade sobre o crescimento do algodoeiro (*G. hisutum* L.) cv. BRS 372, e a Figura 6, um pomar de uva (*Vitis vinifera* L.) totalmente devastado pela salinidade do solo.

A queda no crescimento e na reprodução das plantas em função do aumento da salinidade do solo é modulada por três efeitos: osmóticos, iônicos e das espécies reativas de oxigênio (ROS).

Foto: Sergio Cobel da Silva

Figura 5. Efeito da salinidade do solo sobre o crescimento do algodoeiro (*G. hirsutum* L.) cv. BRS 372. À esquerda: solo normal (4 dS m^{-1}). À direita: solo salino (8 dS m^{-1}).

Foto: Silvio Roberto de Lucena Tavares

Figura 6. Efeito da salinidade do solo na cultura da uva (morte).

Fonte: Zaroni e Santos (2021).

Efeitos osmóticos

Os efeitos osmóticos da salinidade sobre as plantas dizem respeito ao déficit hídrico que elas enfrentam sob essa condição adversa. Nesse sentido, para que haja absorção de água pelas raízes, o Ψ_w do solo deverá ser superior (menos negativo ou até mesmo de valor zero) ao dos tecidos radiculares. Ocorre que, sob salinidade, o Ψ_s do solo, o principal componente do Ψ_w, cai ao ponto de interromper o fluxo de água para as raízes e daí para a parte aérea, uma vez que torna o Ψ_w do solo menos negativo do que o das raízes, invertendo o sentido do fluxo, ou seja, as raízes passam a perder água para o ambiente externo, desidratando a planta. Ao sentir essa "seca fisiológica", as raízes produzem um fito-hormônio chamado ácido abscísico (ABA), que se deslocará até as células dos estômatos, fechando-os, o que bloqueia o fluxo de CO_2 para dentro das células clorofiladas, reduzindo a fotossíntese e, consequentemente, a produção de biomassa.

Efeitos iônicos

Os efeitos iônicos da salinidade sobre as plantas dizem respeito aos efeitos tóxicos que o Na^+ e o Cl^- exercem nos seus tecidos quando estão em excesso nessa condição adversa. Conforme informações na Figura 3, há decréscimo nas absorções de N, P, S, B e micronutrientes catiônicos, acarretando déficit nutricional desses elementos. O excesso de Na^+ no citoplasma ocasiona distúrbios em relação ao balanço iônico (K^+ e Ca^{2+} em relação ao Na^+), bem como efeitos específicos desse íon sobre as enzimas e as membranas. O K^+ é ativador de mais de 40 enzimas do metabolismo vegetal e essa função não pode ser substituída pelo Na^+. O Ca^{2+} e o Mg^{2+} também são ativadores enzimáticos, não podendo, da mesma forma que o K^+, ser substituído por Na^+. Ademais, o Ca^{2+} é o modulador da calmodulina, a proteína responsável por captar alterações no ambiente externo da célula vegetal e transformar em resposta fisiológica através da produção de mRNAs; é responsável pela permeabilidade seletiva da

membrana plasmática e pela estabilidade da parede celular. Outro efeito iônico é o efeito tóxico direto do Na^+ e do Cl^- nas organelas vegetais, comprometendo todo o funcionamento da célula.

Efeito das espécies reativas de oxigênio (ROS)

Além dos dois efeitos primários da salinidade do solo sobre as plantas — estresse primário — vistos anteriormente, há também o chamado estresse secundário, que ocorre quando os tecidos vegetais são submetidos aos diversos tipos de estresse: hídrico, salino, térmico, anaeróbico e outros. Esse estresse é caracterizado pela produção de radicais livres e de espécies reativas de oxigênio (ROS) altamente citotóxicas tais como o íon superóxido ($O_2^{-\bullet}$), o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), a hidroxila (OH^-) e a peroxila (HO_2^-). As ROS produzem um estresse oxidativo nas plantas, oxidando proteínas, enzimas, lipídeos e ácidos nucleicos; peroxidando os lipídeos das membranas; hipermetilando ou hipometilando o DNA; deletando e substituindo bases no DNA e provocando alterações nos cromossomos como aneuploidia, poliploidia e rearranjo.

Classificação das plantas quanto à salinidade

De modo geral, com base na resposta da planta à salinidade do solo, os ecologistas as dividem em dois grandes grupos: halófitas e glicófitas. As halófitas são nativas de solos salinos e completam seu ciclo de vida naqueles ambientes. Já as glicófitas — também chamadas de “plantas doces” — não são capazes de tolerar sais. Essa classificação, no entanto, é bastante genérica, pois os dois grupos exibem uma ampla variação genética, tanto entre espécies como entre cultivares, quanto à tolerância a estresse salino.

A classificação de Taiz e Zeiger (2016) é mais específica. Eles dividem as plantas em halófitas, moderadamente tolerantes e glicófitas com relação à tolerância para salinidade do solo. Dentro das halófitas, há ainda duas subdivisões: euhalófitas e halófitas normais. As euhalófitas, tais como *Suaeda marítima* e *Atriplex numulária*, além de serem altamente tolerantes, exibem um aumento no crescimento numa concentração de sal que seria letal para plantas sensíveis. As halófitas normais toleram o sal, mas seu crescimento é reduzido. Como exemplos têm-se: *Spartina townsendii*, beterraba (*B. vulgaris* L.), tamareira (*Phoenix dactylifera* L.) e coqueiro (*C. nucifera*). Entre as moderadamente tolerantes, há um grande número de plantas cultivadas, dentre elas: algodão (*G. hisutum* L.), gergelim (*Sesamum indicum* L.), amendoim (*Arachis hypogaea* L.), caupi (*Vigna unguiculata* L.), soja (*Glycine max* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* L.), cevada (*Hordeum vulgare* L.), batata-doce (*Ipomoea batatas* L.), alfafa (*Medicago sativa*), trevo (*Trifolium repens* L.), girassol (*Helianthus annus* L.) e uva (*V. vinifera* L.). Dentre as glicófitas, destacam-se milho, arroz (*O. sativa*), feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), fava (*Vicia faba*), citrus (*Citrus sinensis* L.) e maçã (*Malus domestica* Borkh).

Resposta das plantas aos estresses

A resposta das plantas aos estresses depende de fatores externos e internos. Os fatores externos são aqueles relativos ao próprio estresse ambiental, como severidade, duração, frequência e a combinação entre os três. Já os fatores internos dizem respeito à planta, como genótipo, estágio de desenvolvimento e tecido ou órgão afetado. Nesse contexto, há duas respostas gerais: suscetibilidade, que leva à morte, ou resistência, que leva à sobrevivência ou crescimento. Quando a planta sente o estresse nas suas raízes — seca, salinidade ou alagamento — ou na parte aérea — temperaturas extremas ou ozônio — há

o reconhecimento pela célula, a tradução do sinal no DNA, a formação do mRNA e a resposta fisiológica nos ribossomos através da formação das proteínas responsáveis em modular a resposta.

Resistência das plantas à salinidade

A resistência das plantas à salinidade ocorre no indivíduo ou em uma população. Quando acontece no indivíduo é chamada de aclimatação e, na população, adaptação. A aclimatação se dá de dois modos: pelo escape e pela tolerância da planta. Trata-se de uma resposta fenotípica de uma planta individual em resposta às variações do meio ambiente, ou seja, o organismo altera a sua homeostase para se acomodar às variações externas. Já quanto à adaptação, ocorrem progressos evolucionários que, através da mutação, melhoram a adequação ambiental de uma população de plantas às condições adversas do meio e expressam-se independentemente de elas estarem ou não sob estresse. Ambos — aclimatação e adaptação — são uma interação de processos aos níveis comportamental, morfológico, anatômico, fisiológico, bioquímico e molecular das plantas.

Mecanismos de resistência à salinidade

Ajustamento osmótico

O potencial hídrico (Ψ_w) de um solo com água e sem salinidade é sempre maior (menos negativo) que o da planta. Como, no solo, o $\Psi_w = \Psi_s + \Psi_m$, sendo que o Ψ_m exerce uma influência mínima

sobre o $\Psi_{w,}$ este é majoritariamente comandado pelo Ψ_s, representado pela concentração de sais solúveis presentes na solução. Na planta, o $\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p$, sendo o Ψ_p o potencial de pressão ou de turgescência da célula. Nesse contexto, sob condição de salinidade, a planta abaixa o seu Ψ_s para que o seu Ψ_w fique menor que o do solo. Assim, ela continua sua capacidade de absorção d'água, uma vez que o fluxo é sempre do meio com maior energia hídrica (Ψ_w) para o de menor. Para o abaixamento do Ψ_s, a planta acumula nos seus tecidos, mediante gasto de energia, íons como K^+, Cl^-, NO_3^- e malato, entretanto evita acumular Na^+, muito comum em solos salinos, por ser tóxico. O abaixamento osmótico da planta também pode ser feito pela produção dos chamados solutos compatíveis.

Solutos compatíveis

São compostos orgânicos sintetizados por plantas sob condição de estresse salino, através de gasto de energia, para servirem de osmólitos para o abaixamento do Ψ_s e, consequentemente, do Ψ_w celular. Esse ajustamento osmótico garante que o vegetal continue a absorver água do solo, mantenha o turgor e cresça mesmo sob essa condição adversa. São também chamados de osmólitos compatíveis ou osmoprotetores, não interferem no metabolismo celular mesmo em altas concentrações e também desempenham função de proteção da célula sob salinidade. Os principais, segundo Ahmed et al. (2021), são:

- Aminoácidos (Prolina);
- Compostos amônio-quaternários (glicina betaína, β-Alanina betaína, prolina betaína e colina-O-sulfato);
- Compostos sulfo-terciários (DMSP – Dimetilsulfoniopropionato);
- Polióis ou alcoóis poliídricos (pinitol e manitol);
- Açúcares solúveis (frutose, sacarose, trealose e rafinose);
- Açúcares poliméricos (frutanas);

- Poliaminas (putrescina, espermidina e espermina);
- Enzimas destruidoras de radicais livres; e
- Proteínas que protegem a formação ou a estabilidade de outras proteínas.

Quando em concentrações muito elevadas dentro da planta, as espécies químicas encontradas em solos salinizados (Figura 1) se ligam e alteram as propriedades dos metabólitos vitais. Quando elas entram na camada de hidratação de uma enzima, por exemplo, provocam a sua desnaturação. Em contraste, os solutos compatíveis são eletricamente neutros, não iônicos ou bipolares — zuiteriônicos, ou seja, cargas positivas e negativas separadas espacialmente e anulando-se — e são excluídos da camada de hidratação, garantindo a conformação das macromoléculas e o fluxo contínuo de água para a planta. Além das enzimas, essa função osmoprotetora ocorre também em cofatores, substratos, proteínas, lipídeos e membranas. Por seu caráter hidrofílico, os solutos compatíveis podem substituir a água na superfície das macromoléculas, agindo como chaperonas, moléculas que auxiliam as proteínas recém-formadas a assumirem a configuração apropriada ao desempenho de suas tarefas (Irshad et al., 2021).

Outras funções atribuídas aos solutos compatíveis são: prevenir o excesso de radicais livres, proteger contra ROS através do sequestro, ser mobilizado como fonte de C e N quando o estresse salino for superado e aliviar o excesso de poder redutor na forma de NADPH. Sob estresse, há um desequilíbrio entre a absorção de luz e a utilização de poder redutor, com acúmulo deste último. Esse contraste pode levar a uma fotoinibição se não houver uma válvula de escape para que o excesso de NADPH seja utilizado na síntese de outros compostos, como os solutos compatíveis (Ali et al., 2022).

Homeostase iônica

Também chamada de exclusão de sal, visa a impedir o acúmulo de Na^+ no citosol, local das reações metabólicas vitais para a célula. Ocorre através de três mecanismos: preferência nas absorções de

K^+, Ca^{2+} e Mg^{2+} ao invés de Na^+; compartimentalização de Na^+ no vacúolo e exportação dele para o apoplasto e/ou o solo. Nesse contexto, quando as raízes sentem a salinidade, um sensor para a presença física do Na^+ e um receptor de ABA, ambos na membrana plasmática (MP), são ativados e dão início a uma cascata de eventos metabólicos mediados pela calmodulina, que culminam nas respostas ao estresse: os transportadores e canais da MP diminuem sua afinidade por Na^+ e transportadores ativos na MP e no tonoplato transportam Na^+, com gasto de ATP, para o apoplasto e o vacúolo, respectivamente, locais onde este íon fica metabolicamente inativo. A calmodulina, que é ativada quando está ligada a quatro íons de Ca^{2+}, modula a resposta entre a percepção da baixa osmolaridade na MP e a formação de proteínas envolvidas no combate ao estresse a partir da transcrição do DNA no núcleo.

Glândulas de sal

Encontradas na epiderme das folhas de plantas halófitas, são glândulas em forma de tricomas responsáveis pela secreção do excesso de sal que chega do solo, via corrente transpiratória do xilema, até as células do mesófilo foliar, onde ocorre a fotossíntese. Para não prejudicar o aparato fotossintético nos cloroplastos, os íons são levados, via simplasto através dos plasmodesmos, das células do mesófilo para as células basais do tricoma, e de lá para as células secretoras, onde são removidos para a face externa do limbo através de gasto de energia metabólica. Trata-se de uma resistência em termos de população (adaptação) e ocorre nas seguintes famílias de plantas: Avicenniaceae, Acanthaceae, Chenopodiaceae, Frankeniaceae, Plumbaginaceae e Tamaricaceae.

Abscisão de folhas velhas

Uma das estratégias das plantas para resistirem à salinidade é livrar-se das folhas mais velhas, que acumulam a maior quantidade de sais. Essa abscisão é mediada pela produção de ABA quando as raízes sentem o abaixamento do potencial osmótico do solo. Consiste

numa estratégia de proteção das folhas novas e dos ápices foliares (Santos; Cruz, 2017) para que os sais acumulados nas folhas mais maduras não se redistribuam até eles.

Volatilização

Forma de resistência à salinidade do solo que consiste na volatilização do excesso de cloro que chega às folhas, na forma de cloreto de metila ou clorometano, que é um gás volátil, incolor, inodoro, inflamável e tóxico. Ocorre predominantemente através dos estômatos.

Suculência

A magnitude do estresse por salinidade não é definida pela quantidade absoluta de sal que atinge a célula vegetal, mas sim pela concentração. Dentro dessa perspectiva, algumas plantas resistentes têm a capacidade de aumentar o seu volume celular, através da absorção de água, à medida que absorvem os sais. Esse mecanismo ocorre com plantas halófitas de ambientes salinos e úmidos, mas também pode ocorrer em xerófilas.

Recuperação de solos salinizados

Práticas de caráter físico

- Irrigação com água de boa qualidade

É uma prática que vai aos poucos lixiviando o excesso de sais (Figura 7). É importante que periodicamente a condutividade elétrica no extrato de saturação seja monitorada para avaliar o abaixamento do teor de sais. Também se constitui em uma prática preventiva à salinidade do solo.

Foto: Anderson Soares de Andrade Júnior

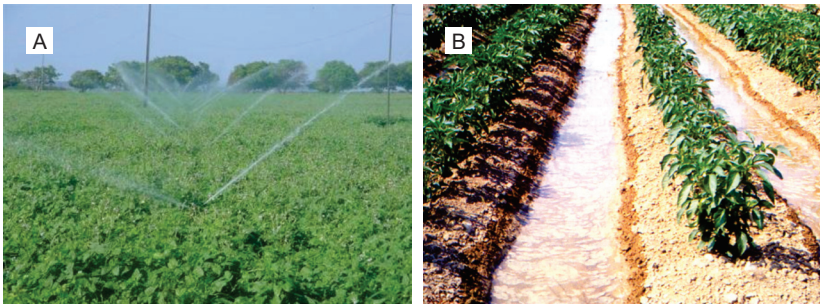

Foto: Cláudia Silva da Costa Ribeiro

Figura 7. Irrigação com água de boa qualidade. Irrigação por aspersão (A); irrigação por sulco (B).

Fonte: Andrade Júnior (2021) e Morouelli e Silva (2022).

Além de usar água de boa qualidade (Figura 2) para atenuar os problemas de salinidade no solo, é importante que a irrigação ocorra na hora certa e com a quantidade de água adequada para lixiviação dos sais; para isso, a drenagem da área deve ser adequada de modo a evitar o aumento da evaporação superficial.

- Lavagem e lixiviação dos sais

Consiste na utilização de lâminas de lavagem de sais para a recuperação dos solos salinizados ou em deixar que essa recuperação ocorra naturalmente por meio das águas das chuvas. As lavagens podem ser feitas por inundação contínua ou intermitente; por aspersão ou sulcos de lavagem e sem ou com uma cultura instalada. Quanto aos solos argilosos, a lavagem através da inundação por longo período é menos eficiente do que inundações periódicas, nas quais o solo é inundado por certo período de tempo e a seguir deixado para secar.

- Drenagem

A drenagem é, ao mesmo tempo, prática preventiva e de recuperação da salinidade do solo. Seu objetivo principal é proporcionar condições favoráveis de aeração e umidade às raízes das plantas, mas também se constitui em um excelente meio de combate à salinidade

desde que a irrigação seja feita com água de boa qualidade e que seja aplicada uma lâmina d'água adequada. Deve ser elaborado um minucioso diagnóstico da área, levando-se em consideração o tipo de solo, o regime pluviométrico, as águas superficiais e subterrâneas. O levantamento de dados da área por meio de fotografias aéreas, mapas topográficos, de solos e de cultivos também são importantes.

Essas três primeiras práticas de caráter físico — irrigação com água de boa qualidade, lavagem e lixiviação dos sais e drenagem — são as principais na prevenção e no combate à salinidade do solo. Entretanto existem outras consideradas auxiliares a essas, também importantes no processo de recuperação de solos salinizados. São elas: aração, subsolagem e escarificação.

• Aração

A aração visa a "cortar" o solo, revolvendo-o e tornando-o mais solto, permeável, aerado, com melhor condição para o desenvolvimento do sistema radicular da planta. Nessa operação, grande parte dos restos culturais remanescentes é enterrada. Deve ser feita com o solo úmido, próximo à capacidade de campo (friável). Constitui-se uma prática necessária, principalmente em solos com textura argilosa que tenham deficiência na drenagem e infiltração de água (Anjos et al., 2010).

• Subsolagem

É uma operação de descompactação do solo no nível do subsolo, ou seja, abaixo de 30 a 40 cm de profundidade (Figura 8). A compactação nessa profundidade pode se dar por razões naturais ou em decorrência da passagem constante de veículos e máquinas pesadas, dificultando o desenvolvimento de plantas de raízes pivotantes profundas e a percolação das águas — movimento descendente de água através do perfil do solo, especialmente o fluxo descendente de água em solo saturado ou próximo à saturação. É realizada por um equipamento conhecido com subsolador, que é arrastado ou acoplado a um trator, promovendo a desagregação do subsolo e aumentando o volume do solo como um todo.

Foto: José Barbosa dos Anjos

Figura 8. Aração mais subsolagem com trator.
Fonte: Anjos et al. (2010).

- Escarificação

A escarificação é um método de preparo do solo em que se utiliza um equipamento chamado escarificador (Figura 9), composto por hastes mecânicas que penetram e revolvem o solo. É utilizada em solos compactados pelo tráfego intenso de máquinas agrícolas pesadas. A compactação impede o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, a aeração e a circulação de água no solo, reduzindo a produtividade das culturas. Nesse contexto, o escarificador entra em cena para romper as camadas compactadas entre 20 e 30 cm de profundidade, por meio da ação das hastes, revolver a superfície do solo o mínimo possível e manter a maior parte da palhada sobre o solo (Fachin; Thomaz, 2020).

Foto: Marcos Aurélio Carolino de Sá

Figura 9. Escarificação do solo com trator.
Fonte: Sá et al. (2015).

Práticas de caráter químico

- Gesso

O gesso é um condicionador químico de baixo custo excelente para a recuperação de solos salinizados. Ele substitui o sódio do complexo de troca do solo por cálcio, sendo por isso uma ferramenta bastante eficaz para a redução da concentração do íon Na^+, favorecendo a lixiviação dos sais, melhorando as propriedades físicas e retirando os sais do sistema solo.

A reação química do gesso no solo pode ser representada da seguinte forma:

$$CaSO_4 \cdot 2H_2O \leftrightarrow Ca^{2+} + SO_4^{2-} + 2H_2O \quad (1)$$

Uma vez que, em um solo salino, as partículas negativas das argilas estão impregnadas de Na^+, o Ca^{2+} resultante da reação 1, irá

substituí-lo, unindo os argilominerais e melhorando a estrutura do solo. O SO_4^{2-} resultante da reação reagirá com os íons de Na^+ desprendidos conforme a reação 2:

$$2Na^+ + SO_4^{2-} \leftrightarrow Na_2SO_4 + 10H_2O \quad (2)$$

O Na_2SO_4 resultante é facilmente lixiviável e o aumento de cálcio solúvel melhora a estabilidade dos agregados em solos pouco estruturados. O gesso normalmente reduz o pH de solos sódicos por meio da substituição do Na^+ trocável.

A taxa de aplicação de gesso para a remoção de sódio pode variar entre 1 e 25 toneladas por hectare, dependendo das propriedades do solo e da água de irrigação. Deve-se aplicar o gesso antes da lixiviação dos sais em solos susceptíveis à dispersão. A quantidade de gesso necessária pode ser determinada por análise do solo. A substituição de sódio por cálcio antes de lixiviação vai estabilizar a estrutura do solo.

- Cloreto de cálcio

Trata-se de um condicionador químico bastante solúvel em água, produzindo uma solução de elevada concentração eletrolítica, sendo muito eficiente na correção da salinidade do solo em menores quantidades de água em relação ao gesso, embora o seu custo seja mais elevado. O cloreto de cálcio vai produzir no solo a seguinte reação 3:

$$CaCl_2 \leftrightarrow Ca^{2+} + 2Cl^- \quad (3)$$

O Ca^{2+} resultante da reação substituirá o Na^+ no complexo sortivo — de troca — das argilas, aglomerando-as para melhorar a estrutura do solo.

- Enxofre elementar (S^0)

O S^0 é considerado muito eficiente na remoção do Na^+ nas partículas de argila. A sua reação, ao ser aplicado ao solo, está representada da seguinte forma:

$$2S^0 + 8H_2O \leftrightarrow 2H_2SO_4 + 6H_2 \quad (4)$$

$$2S^0 + 3O_2 + 2H_2O \leftrightarrow 2H_2SO_4 \quad (5)$$

A oxidação tem um efeito acidificante, razão pela qual se utiliza o enxofre elementar em solos alcalinos, ou quando se pretende baixar o pH do solo, ou aumentar a acidez.

$$2S^0 + H_2O + O_2 \text{ (sob ação de bactérias)} \leftrightarrow H_2SO_4 \quad (6)$$

O ácido sulfúrico (H_2SO_4), produzido na reação acima, reduz o pH do solo, facilitando a lixiviação do Na^+. Esse processo de oxidação ocorre pela ação da bactéria de solo *Thiobacilus thiooxidans*, que oxida S^0 a SO_4^{2-} e, após a reação com o H^+ proveniente da hidrólise da água, produz o H_2SO_4. Ao mesmo tempo há uma redução, com a ciclagem dos prótons (H^+) restantes, produzindo o H_2. Essa conversão do S elementar para ácido sulfúrico é lenta, podendo levar vários dias ou várias semanas.

- Ácido sulfúrico

É um corretivo de reação ácida que se constitui uma excelente alternativa para a recuperação de solos salinos, melhorando as suas propriedades químicas e físicas. Entretanto, sua aquisição é onerosa, seu efeito é lento e exige-se um certo cuidado durante o manuseio por causa de riscos de acidentes. No solo, vai ocorrer a seguinte reação com o ácido sulfúrico:

$$H_2SO_4 \leftrightarrow 2H^+ + SO_4^{2-} \quad (7)$$

Com a produção de H^+ na reação 7, há o abaixamento do pH do solo, deixando-o numa faixa ideal para o desenvolvimento das plantas ao mesmo tempo que há liberação do Na^+ aderido às partículas de argila para reagir com o SO_4^{2-} conforme a reação 8:

$$2Na^+ + SO_4^{2-} \leftrightarrow Na_2SO_4 \cdot 10H_2O \quad (8)$$

O sulfato de sódio produzido (Na_2SO_4) é então lixiviado. A injeção constante de H_2SO_4 mantém o pH da água baixo e evita a formação de $CaCO_3$ nas linhas de gotejamento/aspersão. Também dissolve o $CaCO_3$ do solo, ajudando a manter alta a concentração de Ca^{2+} trocável e baixa a de Na^+ trocável.

- Sulfato ferroso

É um corretivo da salinidade cuja ação no solo é mediada pela produção do ácido sulfúrico conforme a reação 9. Melhora as propriedades químicas e físicas do solo. Sua limitação é ser caro e ter efeito lento no combate à salinidade.

$$FeSO_4 + H_2O \leftrightarrow Fe\ (OH)_2 + H_2SO_4 \quad (9)$$

O ácido sulfúrico (H_2SO_4) produzido vai apresentar a seguinte reação no solo:

$$H_2SO_4 \leftrightarrow 2H^+ + SO_4^{2-} \quad (10)$$

Há o abaixamento do pH do solo, deixando-o numa faixa ideal para o desenvolvimento das plantas, ao mesmo tempo que há liberação do Na^+ aderido às partículas de argila para reagir com o SO_4^{2-} conforme representado pela reação 11:

$$2Na^+ + SO_4^{2-} \leftrightarrow Na_2SO_4 \cdot 10H_2O \quad (11)$$

O sulfato de sódio produzido (Na_2SO_4) é então lixiviado.

Prática de caráter biológico

Fitorremediação

A fitorremediação consiste na utilização de espécies tolerantes para remediar alguma condição adversa que o solo esteja enfrentando. Com relação à salinidade do solo, esse processo consiste em cultivar plantas halófitas que tenham duas habilidades específicas: alta capacidade de absorver, transportar e acumular sais — sobretudo na parte aérea — e alta capacidade de produção de matéria seca. No final do ciclo, removem-se essas plantas para outro local. Essa estratégia, além de extrair grandes quantidades de íons em excesso, promove melhoria nas propriedades físicas e na atividade biológica do solo. Um exemplo desse tipo de planta é a forrageira erva-sal (*Atriplex numulária*), de boa aceitabilidade pelos animais e com alta capacidade de extrair sais do solo. É bastante difundida na recuperação de solos salinos do Semiárido brasileiro.

Práticas de caráter cultural

São práticas consideradas auxiliares no combate à salinidade do solo.

- Uso de plantas resistentes

Com relação a qual(is) espécie(s) escolher para cultivar em solos salinos, o melhor é optar por aquelas já sabidamente resistentes a essa condição adversa, as halófitas e moderadamente tolerantes, conforme visto — quer indígenas quer advindas da pesquisa científica que utilizou melhoramento genético convencional ou biotecnologia. A Figura 10 mostra a cultivar de algodão colorido BRS Jade, a qual é moderadamente tolerante à salinidade (Saboya et al., 2017).

Foto: Sérgio Cobel da Silva

Figura 10. Cultivar de algodão colorido BRS Jade.

Fonte: Silva (2017).

• Adubação com matéria orgânica (MO)

A adubação com MO (Figura 11) — estercos, composto orgânico, biofertilizantes e bokashi — é uma importante prática acessória de combate à salinidade, uma vez que melhora as propriedades físicas do solo — estrutura, porosidade, aeração e retenção de água — químicas — pH, teor de nutrientes, capacidade de troca de cátions, soma de bases e teor de ácidos húmicos e fúlvicos — e biológicas — bactérias fixadoras de N atmosférico, micorrizas, organismos antagonistas de pragas e doenças de solo, minhocas (*L. terrestris)* e insetos benéficos.

Foto: José da Cunha Medeiros

Figura 11. Adubação do solo com esterco bovino.
Fonte: Medeiros et al. (2021).

• Adubação verde

Consiste no cultivo de plantas para adubação do solo que devem apresentar as seguintes características: boa germinação, grande produção de biomassa, rápida taxa de crescimento, rusticidade em

relação a pragas e doenças e baixa relação C/N para facilitar a decomposição quando incorporadas ao solo. As plantas mais usadas como adubo verde são as leguminosas, por possuírem a capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico. Dessa forma, as folhas dessas plantas são muito ricas em proteínas e, quando cortadas e incorporadas ao solo, disponibilizam N para a próxima cultura.

- Cobertura morta

A cobertura morta (Figura 12), também chamada de *mulch*, é uma técnica que consiste em distribuir sobre a superfície do solo uma camada de palhas, cascas, folhas, serragens e até mesmo plástico. Os benefícios sobre o solo são: aumento na disponibilidade de água, redução nas variações da temperatura, melhoria na estabilidade dos agregados, eliminação do desenvolvimento de plantas daninhas, diminuição da erosão e aumento na produção.

Foto: Claudio Lucas Capeche

Figura 12. Cobertura morta – palhada.
Fonte: Capeche (2012).

- Pousio

É uma técnica que consiste em deixar uma determinada área agrícola em repouso por um determinado período para que sejam restituídas as propriedades químicas, físicas e biológicas. Além disso é uma prática excelente para o controle de pragas, doenças e plantas daninhas. É muito eficiente quando feita antes de uma escarificação e/ou subsolagem.

Efeito da salinidade do solo sobre as culturas do algodão, do amendoim, do gergelim, da mamona e do sisal

Algodão

O algodoeiro (*G. hirsutum* L.) é a cultura de maior importância no mercado internacional de *commodities*. No Brasil, durante a safra 2022/2023, cerca de 1.638,0 mil ha foram destinados ao cultivo dessa fibrosa, com uma produtividade média de 1.815,0 kg ha^{-1}. Os principais estados produtores de algodão são Bahia, Mato Grosso e Goiás (Conab, 2022a). O país está posicionado como o quarto maior produtor mundial, ficando atrás apenas de China, Índia e Estados Unidos.

A cotonicultura no Semiárido brasileiro está caracterizada principalmente pela presença de agricultores familiares que utilizam práticas tradicionais de manejo. Nesse contexto, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) busca o desenvolvimento de alternativas para agregar valor à produção da fibra de algodão, principalmente para produtores que não dispõem de tecnologias sofisticadas, empregadas na cultura do algodoeiro (*G. hirsutum* L.) convencional (Costa et al., 2019).

Um dos fatores que mais limitam o avanço da produção agrícola no Semiárido nordestino é o alto teor de sais no solo e na água de irrigação, uma vez que a maioria das plantas, sob condições de alta salinidade, apresenta crescimento e produção limitados (Costa et al., 2019). As espécies/cultivares apresentam diferentes respostas à salinidade. Umas se desenvolvem bem, mas outras são muito prejudicadas. Nesse contexto, o algodoeiro é considerado uma planta bastante rústica e se sobressai como uma das espécies capazes de produzir em concentrações de sais solúveis bem acima das suportadas pela maioria das plantas cultivadas (Taiz; Zeiger, 2016). Entretanto, em níveis elevados de salinidade (acima de 8 dS m^{-1}), o crescimento da planta é prejudicado (Costa et al., 2024).

Em uma pesquisa na qual foi estudado e efeito da salinidade do solo sobre o crescimento da cultivar de algodoeiro colorido BRS Topázio, Souza et al. (2017) encontraram diminuição na altura da planta, no diâmetro do caule, no número de folhas e na área foliar. Entretanto, essas respostas adversas foram minimizadas com o uso de matéria orgânica na forma de esterco de caprino e gesso agrícola. Souza et al. (2021), estudando a resposta da cultivar de algodoeiro colorido BRS Jade ao aumento da salinidade do solo, encontraram diminuição na taxa de assimilação líquida e fitomassa seca total, entretanto esse efeito foi atenuado com a adição de matéria orgânica na forma de esterco bovino.

Amendoim

O amendoim (*A. hypogaea* L.) pertence à família Fabaceae, sendo considerado uma importante planta leguminosa consumida em todo o mundo devido à sua riqueza em calorias, óleos, proteínas e vitaminas. É originária da América do Sul, havendo relatos de seu cultivo pelas populações indígenas antes da chegada dos colonizadores europeus. É consumido *in natura*, torrado, cozido ou industrializado. Seus subprodutos — óleo, farinha e farelo — são amplamente utilizados por possuírem alto teor de proteína (Souza; Ferrarezi Júnior,

2022). No Brasil, a produtividade de amendoim na safra 2021/2022 foi de 744 mil toneladas, 24,6% a mais do que na safra anterior, sendo São Paulo o estado de maior área cultivada, com 179 mil hectares (Conab, 2022b).

A cultura do amendoim requer, na sua fase de colheita, umidade de solo suficiente para que o arranquio ocorra sem grandes quebras, seguida de uma fase sem chuvas de quatro a cinco dias, para que as cápsulas possam secar no campo. Incidência de chuvas ou umidade na fase pós-colheita potencialmente comprometem a qualidade do produto. São Paulo, o principal estado produtor do país, cultiva amendoim (*A. hypogaea* L.) predominantemente em sistema não irrigado, estando, portanto, à mercê da variabilidade de clima. As áreas do Semiárido do Nordeste são capazes de proporcionar condições para um melhor controle pós-colheita das cápsulas (Goulart et al., 2017).

A planta de amendoim, especialmente da subespécie *A. hypogaea* fastigiata, possui ampla capacidade de adaptação ao clima semiárido do Nordeste. Além disso, a espécie possui variabilidade de natureza varietal com relação à tolerância ao estresse salino. A Embrapa Algodão dispõe de três cultivares de amendoim fastigiata, denominadas BR 1, BR 151 L7 e BRS Havana, todas de alta produtividade e tolerantes ao clima semiárido nordestino (Graciano et al., 2011).

Estudando a influência da cobertura morta vegetal e da salinidade do solo sobre as trocas gasosas do amendoim (*A. hypogaea* L.), Lessa et al. (2021) concluíram que a cobertura morta elevou os valores de condutância estomática e eficiência do uso da água e reduziu a temperatura interna da folha em plantas submetidas a estresse salino. Miotti et al. (2021), estudando o efeito atenuador do silício no desenvolvimento inicial de amendoim submetido ao estresse por salinidade, verificaram que plantas jovens demonstraram sensibilidade, com efeito deletério no crescimento e desenvolvimento, entretanto, a presença do silício contribuiu para a atenuação dessa condição adversa.

Gergelim

O gergelim (*S. indicum* L.) é uma planta anual herbácea originária do continente africano, pertencente à família das pedaliáceas. Seu cultivo ocorre em cerca de 71 países, especialmente dos continentes asiático e africano, sendo Índia e China responsáveis por 70% da produção mundial de sementes dessa oleaginosa, que é estimada em 3,6 milhões de toneladas, obtidas em 7,5 milhões de hectares e com produtividade média de 478,2 kg ha^{-1}. O Brasil produz cerca de 16 mil toneladas, produzidas em 25 mil hectares e com rendimento em torno de 650 kg ha^{-1} (Pontes et al., 2021). A cultura do gergelim apresenta boa adaptabilidade às condições climáticas do Semiárido nordestino por apresentar tolerância à estiagem, sendo cultivada pelos agricultores familiares e desempenhando um papel social na geração de renda e emprego (Nóbrega et al., 2018). O efeito do estresse salino durante a fase de formação das sementes de gergelim pode causar diminuição no transporte e acúmulo dos produtos oriundos da fotossíntese, resultando em grãos de baixa qualidade e baixo vigor. Essas condições causam reflexos diretos no valor nutricional do gergelim (Taiz; Zeiger, 2016).

Estudando o efeito de níveis crescentes de salinidade do solo sobre a qualidade fisiológica de sementes de cultivares de gergelim — teste de germinação, primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação, comprimento de radícula, condutividade elétrica das sementes, emergência, índice de velocidade de emergência e massa seca de plântulas — Nóbrega et al. (2018) encontraram que BRS Seda, BRS G2 e BRS G3 apresentam as melhores qualidades fisiológicas, demonstrando maior tolerância à salinidade. BRS Seda e BRS G2 toleram níveis salinos de até 2,4 dS m^{-1}, enquanto BRS G3 tolerou até 1,8 dS m^{-1}. Já BRS G4 e BRS Anahi tiveram a qualidade fisiológica de suas sementes comprometida.

Mamona

A mamona (*Ricinus communis* L.) é uma espécie pertencente à família Euphorbiaceae, sendo considerada como uma planta tóxica. Originária da Etiópia, se espalhou pelos países do Oriente Médio, Índia e China. Os principais países produtores são Índia, Moçambique, China, Brasil, Mianmar e Etiópia, correspondendo a 97% do cultivo mundial. A mamona possui grande potencial para uso em diferentes condições ecológicas. Na maior parte das vezes, seu cultivo tem como objetivo a produção de óleo (Ergun, 2022).

O cultivo da mamona no Semiárido nordestino constitui um marco de atuação nas áreas econômica, ambiental e social. Gera emprego e renda, especialmente na agricultura familiar; produz quantidade considerável de biomassa; suas folhas podem servir de alimento para o bicho-da-seda (*Bombyx mori* L.); suas hastes contêm celulose utilizada na fabricação de papel; e, das suas sementes, são obtidos óleo e torta, ricos em proteína. Dessa forma, a cultura da mamona representa uma alternativa relevante para o extenso Semiárido brasileiro. Pela sua elevada eficiência hídrica (biomassa produzida por água consumida), é capaz de produzir satisfatoriamente até sob condições de baixa precipitação pluvial (Lacerda et al., 2016).

A salinidade pode limitar o crescimento e a produção da mamoneira devido à redução no potencial osmótico da solução do solo, à toxidade e à desordem nutricional, induzindo modificações morfológicas e fisiológicas nessa euforbiácea. Entretanto, alguns resultados promissores já têm sido encontrados na pesquisa científica. Quanto ao grau de tolerância, a mamoneira é considerada moderadamente sensível, e as cultivares BRS Energia e BRS Nordestina têm apresentado desempenho satisfatório em solos submetidos a essa condição adversa (Lima et al., 2014). A aplicação de gesso mostrou-se uma alternativa viável para diminuir a condutividade elétrica e o teor de sódio trocável em solo cultivado com mamoneira (Leite et al., 2012).

Sisal

A *Agave sisalana* Perrine, popularmente conhecida como sisal, é uma planta herbácea monocotiledônea pertencente ao gênero Agave. Esse gênero é originário da América Central e do Norte, e, atualmente, possui ocorrência em países tropicais e subtropicais como Brasil, Tanzânia, Quênia, Madagascar, China e México. A fibra de suas folhas é usada para produzir tapetes, cordas e fios, enquanto outras partes da planta abastecem a produção de celulose, ração animal e até fibra de vidro. O sisal possui alta capacidade de suportar condições ambientais secas devido à sua propriedade de conservar água em suas folhas. Por isso, a agavecultura ocupa uma extensa área na região semiárida do Nordeste. O Brasil lidera a produção e exportação mundial de sisal, e cerca de 80% da produção brasileira é direcionada ao mercado externo. O plantio está concentrado no Estado da Bahia, responsável por 94,2% da área cultivada no país (Leite et al., 2023).

Os agaves são plantas perenes com ciclo produtivo entre 08 e 12 anos, sendo xerófitas; sua anatomia e metabolismo estão adaptados para utilizar eficientemente a água e, portanto, estão capacitadas para viver em condições áridas e semiáridas. Além disso, ainda suportam outras condições de estresse impostas pelo ambiente, como a salinidade (Queiroga, 2021). Conforme estudo conduzido por El-Gamassy et al. (1974), a salinidade do solo reduziu os pesos fresco e seco da parte aérea, a taxa de transpiração, o tamanho das folhas e a turgidez relativa dos tecidos das folhas, aumentando a pressão osmótica da seiva das folhas e a relação raiz/parte aérea de plantas de *A. sisalana*.

Considerações finais

Conforme visto, a salinidade é um problema mundial que torna os solos atingidos por essa condição inapropriados para atividades agropecuárias, causando sérios problemas econômicos e sociais aos que

tiram da terra o seu sustento. No Brasil, particularmente no Semiárido, ela tem causado pobreza e êxodo rural, refletindo em mazelas sociais nas cidades. Essa condição adversa pode ocorrer naturalmente durante a formação do solo, mas o mau uso pelo homem vem contribuindo de maneira efetiva para a sua intensificação, degradando suas propriedades físicas, químicas e biológicas.

É de suma importância que a pesquisa científica concentre-se nos efeitos metabólicos que os sais têm dentro das plantas e nas estratégias de resistência e tolerância que elas desenvolveram durante a evolução, especialmente em nível molecular, entre a percepção dos sais no ambiente externo às raízes até os processos de transcrição do DNA e tradução do mRNA. Outrossim, o desenvolvimento pela pesquisa agropecuária de métodos de recuperação de solos salinizados também se faz importante.

Nesse contexto, a experiência já percebeu que um conjunto de práticas sempre é mais eficiente do que uma ação isolada, e a prevenção dos danos causados por sais é melhor que a sua remediação. A escolha vai sempre depender de fatores tais como tipo de solo, clima, relevo e tipo de atividade agropecuária. O melhoramento genético e a biotecnologia são muito importantes no desenvolvimento de cultivares de plantas de interesse comercial resistentes e tolerantes à salinidade do solo e que possam produzir satisfatoriamente.

Referências

AHMED, S.; HEO, T-Y.; CHOUDHURY, A. R.; WALITANG, D. I.; CHOI, J.; SA, T. Accumulation of compatible solutes in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars by inoculation of endophytic plant growth promoting bacteria to alleviate salt stress. **Applied Biological Chemistry**, v. 64, n. 68, 2021. Disponível em: https://applbiolchem.springeropen.com/articles/10.1186/s13765-021-00638-x. Acesso em: 12 abr. 2023.

ALI, B.; WANG, X.; SALEEM, M. H.; SUMAIRA; HAFEEZ, A.; AFRIDI, M. S.; KHAN, S.; ZAIB-UN-NISA; ULLAH, I.; AMARAL JÚNIOR, A. T. do; ALATAWI, A.; ALI, S. PGPR-mediated salt tolerance in maize by modulating plant

physiology, antioxidant defense, compatible solutes Aaccumulation and bio-surfactant producing genes. **Plants**, v. 11, n. 3, e345, 2022. Disponível em: https://www.mdpi.com/2223-7747/11/3/345?type=check_update&version=2. Acesso em: 12 abr. 2023.

AMARAL, F. C. S. do; TAVARES, S. R. de L. **Alterações físico-químicas em um argissolo sob Irrigação no Perímetro Nilo Coelho, Município de Petrolina – PE**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 46 p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 94).

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. Sistemas. In: **Feijão-Caupi**. Brasília: Embrapa, 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao-caupi/producao/irrigacao/sistemas. Acesso em: 17 abr. 2023.

ANJOS, J. B. dos; DIAS, R. de C. S.; COSTA, N. D.; CUNHA, T. J. F. **Sistema de Produção de Melancia**: Solos. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. (Embrapa Semiárido. Sistemas de Produção, 6). Disponível em: https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Melancia/SistemaProducaoMelancia/solos.htm. Acesso em: 19 abr. 2023.

BEZERRA, M. A. **Instituto de Pesquisa em Salinidade (INSal)**. Brasília: Embrapa, 2015. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/202189/instituto-de-pesquisa-em-salinidade-insal#:~:text=A%20disponibilidade%20de%20%C3%A1gua%20para,vez%20mais%20dependente%20da%20irriga%C3%A7%C3%A3o. Acesso em: 6 jun. 2024.

CAPECHE, C. L. **Cobertura Morta – Palhada**. Brasília: Embrapa, 2012. Disponível em: https://www.embrapa.br/en/busca-de-imagens/-/midia/193001/cobertura-morta---palhada. Acesso em: 28 abr. 2023.

CARVALHO, A. K. N. de; SOUZA, R. F. de; PLIVEIRA, S. dos S. de. Qualidade de águas superficiais e subterrâneas para irrigação em um município do semiárido do estado do Rio Grande do Norte. **Pesquisa em Geociências**, v. 49, n. 2, e119720, 2022. Disponível em: https://www.seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/119720. Acesso em: 22 mar. 2023.

CASTRO, F. C.; SANTOS, A. M. dos. Salinidade do solo e risco de desertificação na região semiárida. **Mercartor**, v. 19, e19002, 2020. Disponível

em: https://www.scielo.br/j/mercator/a/rpNjRffgtMLP3LYtLn7kNbh/. Acesso em: 5 jun. 2024.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira**: grãos – safra 2021/2022 – 12° levantamento. Brasília, 2022a. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=20. Acesso em: 22 mar. 2023.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira**: grãos – safra 2021/2022 – 9° levantamento. Brasília, 2022b. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=20. Acesso em: 22 mar. 2023.

COSTA, M. M. M. N.; SABOYA, R. de C. C.; CAVALCANTE, J. J. V.; SANTOS, J. W. dos. Seleção de genótipos de algodoeiro herbáceo para tolerância ao estresse salino. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 15, p. 1-9, 2024. Disponível em: https://periodicos.ufmg.br/index.php/ccaufmg/article/view/46587/43406. Acesso em: 6 jun. 2024.

COSTA, S. A. T. da; ALVES, G. da S.; CORDEIRO, J. A.; ALVES, J. J. A.; SÁ, G. A. dos S. Emergência e crescimento do algodoeiro cv. BRS Verde sob níveis de salinidade na água de irrigação. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 18, n. 3, p. 259-268, 2019.

CRISPIM, M. Desertificação avança no semiárido como resultado da degradação do solo. **Eco Nordeste**, 2020. Disponível em: https://agenciaeconordeste.com.br/desertificacao-avanca-no-semiarido-como-resultado-da-degradacao-do-solo/. Acesso em: 15 mar. 2023.

EL-GAMASSY, A. M.; ABDEL-RAHMAN, A. A.; HASSIB, M.; MANDOUR, M. S. Vegetative patterns and water economy of *Agave sisalana* in Saline Soils. **Z. Acker-mud Pflanzenban**, v. 139, p. 165-171, 1974.

ERGUN, Z. The effects of plant growth substances on the oil content and fatty acid composition of Ricinus communis L.: an in vitro study. **Molecular Biology Reports**, v. 49, n. 6, p. 5241-5249, 2022.

EWENS, M.; GEZAN, S.; FELKER, P. Five year field evaluation of *Prosopis alba* clones on pH 9–10 soils in Argentina selected for growth in the greenhouse at seawater Salinities (45 dS m^{-1}). **Forests**, v. 3, n. 1, p. 95-113, 2012.

FACHIN, P. A.; THOMAZ, E. L. A escarificação do solo em Sistema de Plantio Direto afeta a estabilidade de agregados e o teor de matéria orgânica em Latossolo Vermelho. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 21, n. 77, p. 18-28, 2020.

GAMA, D. C.; JESUS, J. B. de. Principais solos da região semiárida do Brasil favoráveis ao cultivo do *Eucalyptus L'Heritier*. **Biofix, Scientific Journal**, v. 5, n. 2, p. 214-221, 2020.

GOULART, D. F.; ALMEIDA, R. P. de; RESENDE, K. C.; COSTA, F. A. M. da; BEZERRA, J. R. C. O desafio da estruturação da cadeia produtiva do amendoim no semiárido do Nordeste. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v. 19, n. 1, p. 47-59, 2017.

GRACIANO, E. S. A.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; LIMA, D. R. M.; PACHECO, C. M.; SANTOS, R. C. Crescimento e capacidade fotossintética da cultivar de amendoim BR 1 sob condições de salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 794-800, 2011.

IRSHAD, A.; REHMAN, R. N. U.; ABRAR, M. M.; SAEED, Q.; SHARIF, R.; HU, T. Contribution of rhizobium–legume symbiosis in salt stress tolerance in *Medicago truncatula* evaluated through photosynthesis, antioxidant enzymes, and compatible solutes accumulation. **Sustainability***,* v. 13, n. 6, e3369, 2021. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/13/6/3369. Acesso em: 12 abr. 2023.

LACERDA, R. R. de A.; SOUZA, A. dos S.; FURTADO, G. de F.; LACERDA, W. de A.; LACERDA, I de S. Q. Componentes de produtividade e teor de óleo de cultivares de mamona no Semiárido paraibano. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 3, p. 47-52, 2016.

LANNA, A. C.; De FILLIPI, M. C. C.; FERREIRA, C. M.; NASCENTE, A. S. **Mitigação dos estresses abióticos na agricultura mediada pela interação de microrganismos e plantas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2021. 35 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 319).

LEDO, A. da S.; CARVALHO, H. W. L. de; ALMEIDA, C. S.; MOURA, C. R. F.; AZEVEDO, A. G. C. de; MELO, J. de O.; FREIRE, K. C. S.; FEITOSA, R. B.; SILVA, T. N.; COSTA, T. S. **Efeito do estresse salino no desenvolvimento in vitro de genótipos de milho.** Aracaju: Embrapa

Tabuleiros Costeiros, 2013. 16 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 76).

LEITE, A. C. N.; GOMES, J. P.; SILVA, F. L. H. da; SILVA JUNIOR, J. M. da. Prospecção tecnológica e mapeamento do sisal e seus subprodutos (1889-2022). **Cadernos de Prospecção**, v. 16, n. 5, p. 1700-1714, 2023.

LEITE, M. J. de H.; SANTOS, R. V. dos; GOMES, A. D. V.; VITAL, A. de F. Aplicação e corretivos e crescimento de oleaginosas em solos salinizados do semiárido. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 1, p. 87-95, 2012.

LESSA, C. I. N.; SOUSA, G. G. de; SOUSA, H. C.; SILVA JUNIOR, F. B. da; SOUSA, J. T. M. de; 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, G. S. de; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. dos A.; SILVA, S. S. da. Respostas morfofisiológicas da mamoneira, em função da salinidade da água de irrigação e adubação nitrogenada. **Irriga**, v. 19, n. 1, p. 130-136, 2014.

LOPES, L. S. de; SOARES, R. C. Suscetibilidade à desertificação das terras secas de Gilbués (Estado do Piauí) e Cabrobró (Estado de Pernambuco), Nordeste do Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, n. 56, p. 307-323, 2016.

MEDEIROS, J. da C.; COSTA, M. M. M. N.; PEREIRA, J. R.; SABOYA, R. de C. C.; SANTIAGO, F. dos S.; BLACKBURN, R. M. **Recomendações de manejo de água e Solo para o cultivo de algodão agroecológico em consórcios agroalimentares no Semiárido do Nordeste brasileiro**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2021. 38 p. (Embrapa Algodão. Cartilha).

MIOTTI, F.; CHECCHIO, M. V.; NICOLAU, M. C. M.; GRATÃO, P. L.; SOUSA JÚNIOR, G. da S. Efeito atenuador do silício no desenvolvimento inicial de amendoim submetido ao estresse por alumínio e salinidade. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v. 11, n. 1, e11203, 2021. Disponível em: https://www.revistacta.ufscar.br/index.php/revistacta/article/view/203. Acesso em: 10 jun. 2024.

MOROUELLI, W. A.; SILVA, H. R. da. Irrigação. In: EMBRAPA. **Pimenta**. Brasília, 2022. Disponível em: https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/pimenta/producao/irrigacao. Acesso em: 17 abr. 2023.

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, n. 3, p. 280-286, 2018.

ONU. **1,5 Bilhão de pessoas vivem com solo salgado demais para ser fértil**. Nações Unidas Brasil, 2021. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/152392-15-bilhão-de-pessoas-vivem-com-solo-salgado-demais-para-ser-fértil. Acesso em: 13 mar. 2023.

PASSOS, E. E. M.; SILVA JÚNIOR, C. D. da; GHEYI, H. H. **Efeito da aplicação de água salina no desenvolvimento e comportamento fisiológico do coqueiro**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2008. 23 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 27).

PONTES, S. F.; MATOS, R. R. S. S.; CORDEIRO, K. V.; SOUSA, M. O.; CARDOSO, J. P. S.; OLIVEIRA, P. S. T.; SILVA, T. F.; SANTOS, J. F.; SILVA, I. A. Utilização de substratos alternativos e substâncias húmicas para produção de mudas de gergelim. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 2, p. 35-45, 2021.

PORTO, E. R.; HERMES, L. C.; FERREIRA, R. S.; VEIGA, H. P.; SAIA, A. **Agricultura Biossalina**: desafios e alternativas para o uso de águas salobras e salinas no Semiárido brasileiro. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2019. 38 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 121).

QUEIROGA, V. de P.; SILVA, O. R. R. F. da; MEDEIROS, J. da C.; FRANCO, C. F. de O.; GONDIM, T. M. de S. **Sistema de produção do Sisal para o Semiárido.** In: QUEIROGA, V. de P.; MEDEIROS, J. da C.; SILVA, O. R. R. F. da; FRANCO, C. F. de O. (ed.). Sisal (*Agave sisalana,* Perrine): tecnologias de plantio e utilização. Campina Grande: AREPB, 2021. p. 10-131.

RESENDE, G. M. de; CORDEIRO, G. G. **Uso da água salina e condicionador de solo na produtividade de beterraba e cenoura no Semi-Árido do Submédio São Francisco**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2007. 4 p. (Embrapa Semiárido. Comunicado técnico, 128).

RICHARDS. L. A. (ed.). **Diagnóstico y rehabilitacion de suelos salinos y sodicos**. 5. ed. México: Centro Regional de Ayuda Técnica, 1964. 172 p. (Centro Regional de Ayuda Técnica. Manual de Agricultor, 60).

SÁ, M. A. C. de; SANTOS JÚNIOR, J. de D. G. dos; FRANZ, C. A. B.; REIN, T. A. **Escarificação do solo em soqueiras de cana-de-açúcar**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2015. 6 p. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 28).

SABOYA, R. de C. C.; FERREIRA, M. M. M.; CAVALCANTI, J. J. V. Seleção de genótipos de algodoeiro para resistência ao estresse salino. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 11., 2017, Maceió. **Anais**... Maceió: Associação Brasileira dos Produtores de Algodão, 2017. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/170040/1/Selecao-de-genotipos-de-algodoeiro-para-resistencia-ao-estresse-salino.pdf. Acesso em: 27 abr. 2023.

SAELEE, N. Effects of soil salinity on nutritional compositions of fresh Jak (*Nypa fruticans*) sap. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 114, e104767, 2022. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157522003854. Acesso em: 8 mar. 2023.

SANTOS, A. A. dos; CRUZ, J. L. Absorção e distribuição de Sódio em plantas de mandioca cultivadas sob condições salinas. In: REUNIÃO ANUAL DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÃO E CULTURA NO RECÔNCAVO DA BAHIA, 4., 2017, Cruz das Almas. **Anais**... Cruz das Almas: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2017. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/207014/1/ABSORCAO-E-DISTRIBUICAO-DE-SODIO-EM.pdf. Acesso em: 13 abr. 2023.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356 p.

SANTOS, M. A. dos; FREIRE, M. B. G. dos S.; ALMEIDA, B. G. de; LINS, C. M. T.; SILVA, E. M. da. Dinâmica de íons em solo salino-sódico sob fitorremediação com *Atriplex nummularia* e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 4, p. 397-404, 2013.

SARAIVA FILHO, D. E.; BONILLA, O. H. Salinização secundária no semiárido e seus impactos no solo, na agricultura e cultivo das plantas – uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, e49011831298, 2022. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/31298. Acesso em: 15 mar. 2023.

SCIVITTARO, W. B.; FAGUNDES, P. R. R.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M. de. **Tolerância de genótipos de arroz à salinidade da água de Irrigação**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2015. 25 p. (Embrapa Clima Temperado. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 209).

SILVA, S. C. da. **Algodão colorido**. Brasília: Embrapa, 2017. Disponível em: https://www.embrapa.br/en/busca-de-imagens/-/midia/3888001/algodao-colorido. Acesso em: 27 abr. 2023.

SOUZA, G. de P.; FERRAREZI JÚNIOR, E. Produção de amendoim no estado de São Paulo e sua viabilidade. **Interface Tecnológica**, v. 19, n. 2, p. 620-629, 2022.

SOUZA, L. de P.; FATIMA, R. T. de; LACERDA, C. N. de; SOARES, L. A. dos A.; SILVA, A. A. R. da; VELOSO, L. L. de S. A. Cultivo de algodoeiro de fibra colorida 'BRS Jade' com águas salinas e adubação orgânica. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 16, n. 4, p. 394-400, 2021.

SOUZA, L. de P.; NOBRE, R. G.; BARBOSA, J. L.; LIM, G. S. de; ALMEIDA, L. L. de S.; PINHEIRO, F. W. A. Cultivo do algodoeiro cv. BRS Topázio em solos salino-sódico com adição de matéria orgânica. **Revista Espacios**, v. 38, n. 14, p. 17, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2016. 888 p.

WILCOX, L. V. **Classification and use of Irrigation waters**. New York: US Department of Agriculture, 1955. 19 p.

ZARONI, M. J.; SANTOS, H. G. dos. Caráter salino. In: EMBRAPA. **Solos tropicais**. Brasília, 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/classificacao-do-perfil/atributos-diagnosticos/carater-salino. Acesso em: 28 mar. 2023.

CGPE 18952