

O uso da irrigação com água salina pode reduzir o déficit de forragem no Semiárido brasileiro?

Can the use of saline water irrigation reduce the forage deficit in the Brazilian semi arid region?

¿Puede el uso de riego con agua salina reducir el déficit de forraje en el semiárido brasileño?

Recebido: 22/03/2022 | Revisado: 31/03/2022 | Aceito: 07/04/2022 | Publicado: 12/04/2022

José Orlando Nunes da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7622-5095>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: joseorlando.agro@gmail.com

João Pedro Alves de Souza Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0804-115X>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: peualves02@gmail.com

Kaique Renan da Silva Salvador

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6119-2865>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: kaiquersalvador@outlook.com

Renan Matheus Cordeiro Leite

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8454-8660>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: renanmatheuscl@gmail.com

Rhaiana Oliveira de Aviz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4462-4339>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: rhaianaoliveiradeaviz@gmail.com

Nágila Sabrina Guedes da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4006-1652>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: nagilasabrinaguedes@gmail.com

Erison Martins Amaral

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5627-695X>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: erison.m.a13@hotmail.com

Maurício Luiz de Mello Vieira Leite

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4241-241X>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: nopalea21@yahoo.com.br

Resumo

No Semiárido brasileiro a produção de forragem é limitada, principalmente, pela elevada evapotranspiração, variabilidade na distribuição espaço temporal das chuvas, baixa capacidade de suporte forrageiro das pastagens nativas (caatingas) e reduzido uso de tecnologias de convivência com as secas, que configuram uma região com déficit hídrico na maior parte do ano. Nesse sentido, a irrigação pode contribuir para aumentar o aporte de forragem para os animais durante todo o ano, notadamente na época de estiagem. No entanto, em grande parte deste território, as águas subterrâneas e superficiais apresentam elevados teores salinos, o que pode ocasionar a salinização dos solos e dificultar o cultivo das plantas forrageiras. O entendimento dos efeitos dos sais, presentes na água de irrigação, no solo e nas plantas facilita o manejo e a mitigação dos níveis salinos nos solos. Nesse sentido, objetivou-se, nesta revisão, discorrer sobre os processos de formação dos solos salinos, efeitos dos sais nas plantas e no solo, mecanismos de tolerância das plantas e possíveis práticas de manejo que possibilitem o uso sustentável da irrigação com água salina em plantas forrageiras.

Palavras-chave: Agricultura bioassalada; Estresse salino; Plantas forrageiras; Salinidade.

Abstract

In the Brazilian semiarid, forage production is limited mainly by high evapotranspiration, variability in the temporal distribution of rainfall, low forage support capacity of native pastures (caatingas) and reduced use of technologies for coexistence with droughts, which configure a region with water deficit for most of the year. In this sense, irrigation can contribute to increase the forage supply to the animals throughout the year, especially in the dry season. However, in much of this territory, groundwater and surface water have high saline levels, which can cause soil salinization and

make it difficult for forage plants to grow. Understanding the effects of salts present in irrigation water, soil and plants facilitates the management and mitigation of saline levels in soils. In this sense, the objective of this review was to discuss the processes of formation of saline soils, effects of salts on plants and soil, plant tolerance mechanisms and possible management practices that allow the sustainable use of irrigation with saline water in forage plants.

Keywords: Biosaline agriculture; Forage plants; Saline stress; Salinity.

Resumen

En el semiárido brasileño, la producción de forraje está limitada principalmente por la alta evapotranspiración, la variabilidad en la distribución temporal de las lluvias, la baja capacidad de soporte de forraje de los pastos nativos (caatingas) y el reducido uso de tecnologías para la coexistencia con sequías, que configuran una región con déficit hídrico para la mayor parte del año. En este sentido, el riego puede contribuir a aumentar la oferta de forraje para los animales durante todo el año, especialmente en la época seca. Sin embargo, en gran parte de este territorio, las aguas subterráneas y superficiales tienen altos niveles de salinidad, lo que puede provocar la salinización del suelo y dificultar el crecimiento de las plantas forrajeras. Comprender los efectos de las sales presentes en el agua de riego, el suelo y las plantas facilita la gestión y mitigación de los niveles salinos en los suelos. En ese sentido, el objetivo de esta revisión fue discutir los procesos de formación de suelos salinos, los efectos de las sales en las plantas y el suelo, los mecanismos de tolerancia de las plantas y las posibles prácticas de manejo que permitan el uso sostenible del riego con agua salina en las plantas forrajeras.

Palabras clave: Agricultura biosalina; Estrés salino; Plantas forrajeras; Salinidad.

1. Introdução

No Semiárido brasileiro (SAB) a produção de forragem é limitada pelo curto e sazonal período de precipitação pluvial e agravada pela alta demanda atmosférica (Medeiros et al., 2020; Queiroz et al., 2018). Nessa região são criados cerca de 90% do rebanho caprino brasileiro, 65% dos ovinos e mais de 40 milhões de bovinos (IBGE, 2017). Na maioria das vezes o manejo realizado é de forma extensiva, com alimentação dos animais voltada para a pastagem nativa, i.e., caatinga, que apresenta baixo suporte forrageiro, principalmente durante a época seca (Souza et al., 2020). Nesse sentido, o manejo de irrigação pode contribuir para incrementar a produção de forragem durante todo o ano e garantir a alimentação para os rebanhos. Entretanto, em grande parte do SAB as águas subterráneas e superficiais apresentam elevados teores salinos e seu uso contínuo pode provocar problemas com a salinização dos solos (Nunes Filho et al., 2000; Pessoa et al., 2019a). No mundo, 50% das áreas irrigadas (230 milhões de hectares) são afetados pelos sais, e desses, 1,5 milhões de ha estão salinizados (Ali et al., 2021; Khorsandi et al., 2020).

O excesso de sais no solo reduz a disponibilidade de água e nutrientes para as plantas, interferindo no crescimento e rendimento das culturas (Pessoa et al., 2019a) e, além disso, promove sérios danos à estrutura, química e microbiota do solo, afetando principalmente a infiltração da água, penetração das raízes, potencial osmótico da solução do solo e a ciclagem de nutrientes, resultando, a longo prazo, em áreas passíveis de desertificação (Silva et al., 2018). O processo de salinização do solo é acelerado em regiões de clima árido e semiárido, com uso intenso da irrigação com águas de qualidade inferior, acompanhada de fertilizantes e outros insumos agrícolas, onde os sais são depositados na superfície do solo devido à alta demanda evaporativa e drenagem deficitária (Sá et al., 2021; Silva et al., 2018).

Existem culturas sensíveis e tolerantes ao estresse salino. As tolerantes são denominadas de plantas halófitas e dispõem de vários mecanismos fisiológicos para tolerar altos níveis de sais no solo, dentre essas plantas algumas são forrageiras (El Shaer, 2010). Diversos atenuantes estão sendo estudados para tornar possível o cultivo de plantas sensíveis ao sal ou potencializar o desenvolvimento das plantas tolerantes, uma vez que o grau de tolerância pode variar de acordo com a espécie e a fase fenológica das plantas (Huang, 2018; Kaloterakis et al., 2021; Oliveira et al., 2014; Santos et al., 2020; Wang et al., 2021; Yousaf et al., 2021; Zhang et al., 2019; Zhang et al., 2021).

Diante do exposto, objetivou-se, nesta revisão, discorrer sobre os processos de formação dos solos salinos, efeitos dos sais nas plantas e no solo, mecanismos de defesas das plantas e possíveis práticas de manejo que possibilitem o uso sustentável da irrigação com água salina em plantas forrageiras.

2. Metodologia

Para esta revisão narrativa, de cunho qualitativo (Pereira et al., 2018), foi utilizada em sua maioria, artigos publicados em revistas científicas nacionais e internacionais, no entanto, abrangeu também dissertações de mestrado, livros, comunicados técnicos e alguns sites relacionados à área de interesse. Para isto, foi realizada buscas nas bases de dados: Scopus, Google Acadêmico, Periódicos CAPES e SciELO. Foram priorizadas publicações dos últimos 10 anos. Para facilitar a busca pelas publicações científicas foram utilizadas palavras-chave como: “salinidade”, “sodicidade”, “estresse salino”, “plantas forrageiras”, “halófitas”, “glicófitas”, “manejo”, “mecanismos de tolerância das plantas” e “atenuantes”, em português e inglês, combinadas ou não com os termos booleanos “e” e “ou”.

3. Revisão de Literatura

3.1 Potencial de irrigação com água salina no Semiárido brasileiro

O SAB é caracterizado por apresentar irregularidade na distribuição de chuvas, índices pluviométricos com média inferior a 800 mm ano⁻¹ e demanda atmosférica acima de 2000 mm ano⁻¹, gerando um déficit hídrico anual superior a 60% (Marengo, 2008; Sudene, 2017). Nessa região, a principal fonte de água para a irrigação é a subterrânea, extraída a partir da escavação de poços, visto que, nos períodos de estiagem os rios e pequenos córregos cessam o escoamento e os açudes secam ou reduzem drasticamente o nível de água, devido à grande evaporação da água e ausência de reposição pela falta de chuvas.

A qualidade da água subterrânea está associada aos tipos de rochas que originam os solos e aos íons dissolvidos que são liberados da composição das rochas durante o processo de intemperização (Silva Júnior et al., 1999). Cerca de 70% do SAB está embasado sobre o cristalino, que apresenta rochas impermeáveis, onde a água é armazenada em fendas ou fraturas nas rochas (Braga et al., 2015). Nessas áreas, os poços escavados são profundos, com baixa vazão, e geralmente as águas apresentam elevados teores salinos (Lima, 2010). No SAB também existem bacias sedimentares que armazenam grande quantidade de água no lençol freático, como a Bacia de São José de Belmonte localizada na subprovíncia central da Borborema, ocupando uma área de 750 km² (Freitas et al., 2018).

A qualidade da água para irrigação é determinada de acordo com a salinidade, sodicidade e toxicidade por íons (Pessoa et al., 2019a). A salinidade provoca estresse osmótico nas plantas, reduzindo a absorção de água e nutrientes pelas plantas, afetando drasticamente o crescimento e rendimento das culturas; a sodicidade refere-se à ação dos íons de sódio no solo e nas plantas; e por fim, a toxicidade de íons refere-se aos danos nas plantas causados pela ação do boro, cloreto, nitrato e sódio (Bortolini et al., 2018; Pessoa et al., 2019a).

O método mais prático e com menor custo para quantificar a salinidade do solo ou da água é por meio da condutividade elétrica (CE), que mede a corrente elétrica dos íons na solução (Silva et al., 2018). Outro indicativo de qualidade da água é a razão de adsorção de sódio (RAS), que quantifica o risco de sodificação do solo. Nesse sentido, com a CE e a RAS é possível avaliar a limitação do uso da água para irrigação, de acordo com a classificação proposta por Richards (1954) (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação da água proposta por Richards (1954).

Critérios para classificação da água					
Salinidade			Sodicidade		
Classe	Risco	CE (dS m ⁻¹)	Classe	Risco	RAS
C1	B	< 0,25	S1	B	RAS < 18,87 – 4,4 logCE
C2	M	0,25 – 0,75	S2	M	18,87–4,44logCE<RAS<31,31-6,66 logCE
C3	A	0,75 – 2,25	S3	A	31,31-6,66 logCE<RAS<43,758,87 logCE
C4	MA	> 2,25	S4	MA	RAS > 43,75 – 8,87 logCE

CE – condutividade elétrica; RAS – razão de adsorção de sódio; B – baixo; M – médio; A – alto; MA – muito alto. Fonte: Autores.

A metodologia empregada para realizar a coleta da amostra da água varia de acordo com o manancial (Eden & Heath, 1995). Além da CE e da RAS, outros parâmetros também são utilizados para caracterizar a qualidade da água, são eles, os físicos (cor, turbidez, temperatura e sólidos totais), químicos (pH, dureza, ferro, manganês, nitrogênio, fósforo e componentes inorgânicos) e biológicos (coliformes totais e fecais). Nessa revisão serão abordados apenas os principais componentes que formam a salinidade e a sodicidade do solo, i.e., CE, RAS e pH.

Algumas tecnologias são utilizadas para reduzir a quantidade de sais na água, como os dessalinizadores por osmose reversa (Mukhopadhyay et al., 2021). Essa tecnologia é eficiente para o abastecimento doméstico, mas para fins de irrigação se torna um processo oneroso devido à grande quantidade de água necessária e problemas com o descarte da salmoura com alta concentração de sais (Elgallal et al., 2016; Werber et al., 2017).

É estimado que aplicando uma lâmina anual de 1000 mm de água com CE de 0,78 dS m⁻¹ são adicionados ao solo 5 t ano⁻¹ ha⁻¹ de sais que, ao longo do tempo, pode provocar a salinização do solo (Muyen et al., 2011). Porém, o processo de salinização também é influenciado por outros aspectos, como o manejo e método de irrigação, e o tipo de solo; solos mais arenosos são menos afetados pelos sais, uma vez que possuem baixa adesão e são facilmente lixiviados pela ação das chuvas. O mesmo não ocorre em solos argilosos ou siltosos com baixa porosidade, em que os sais são depositados na superfície do solo e dificilmente são removidos de forma natural pela lixiviação.

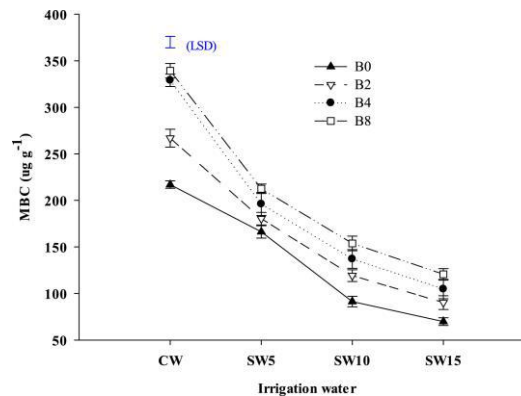
3.2 Efeito dos sais no solo

A salinização do solo pode ocorrer de forma natural (salinização primária) ou induzida (salinização secundária). A primeira ocorre de forma natural, resultante dos sais liberados no solo pelo intemperismo do material de origem, ascensão do lençol freático e demanda atmosférica superior a precipitação pluvial; enquanto a salinidade secundária é formada pela atividade antrópica, com uso contínuo de irrigação em solos com baixa eficiência de drenagem e que não dispõem de um sistema de drenagem artificial (Elgallal et al., 2016).

O primeiro impacto dos sais no solo é a redução do potencial osmótico da solução do solo, tornando a água menos disponível para as plantas. Além disso, o sódio promove a dispersão de argilas, que reduz o volume dos poros, dificultando a infiltração da água e aumentando o escoamento superficial que contribui para a erosão do solo (Silva et al., 2018). O inverso ocorre quando os íons presentes na solução do solo são de cálcio que, devido ao tamanho reduzido do seu raio hidratado, neutraliza todas as cargas negativas das argilas e formam agregados estáveis, melhorando a estrutura do solo e a infiltração da água (Bertossi, 2013). Ainda, a microbiota do solo é afetada pelos efeitos osmótico e tóxico dos sais, alterando a fertilidade do solo, uma vez que não ocorre o processo de mineralização da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes (Souza et al., 2017). Singh et al. (2021) evidenciaram que a medida que a salinidade da água é aumentada, a biomassa microbiana do solo é reduzida, apesar dos efeitos benéficos da aplicação de biochar (Figura 1). O uso de biomassa carbonizada (biochar), como

condicionador de solo nas culturas forrageiras, é uma opção viável no manejo de solos afetados por sais, além de proporcionar armazenamento permanente de carbono.

Figura 1. Biomassa microbiana do solo (MBC) sob níveis de salinidade e aplicação de biochar. B0 - sem biochar; B2- taxa de biochar 2 t ha⁻¹; B4 - taxa de biochar 4 t ha⁻¹; B8 - taxa de biochar 8 t ha⁻¹; CW – água sem adição de sais; SW5 - água salina 5 dS m⁻¹; SW10 - água salina 10 dS m⁻¹; SW15- água salina 15 dS m⁻¹

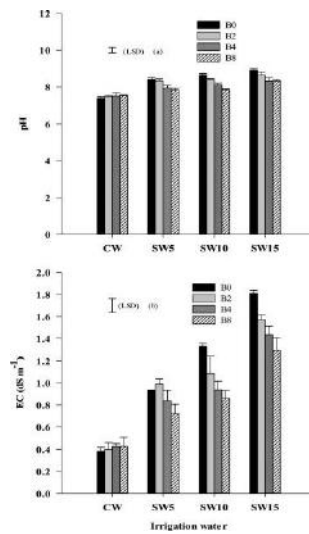


Fonte: Singh et al. (2021).

A classificação dos solos afetados por sais é realizada com base no pH do solo, condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) e porcentagem de sódio trocável (PST) (Richards, 1954). Dessa forma, os solos são classificados em salinos (CEes > 4 dS m⁻¹; PST < 15%; pH < 8,5), salino-sódico (CEes > 4 dS m⁻¹; PST > 15%; pH < 8,5) e sódicos (CEes < 4 dS m⁻¹; PST > 15%; pH > 8,5) (Richards, 1954). Os solos afetados por sais também são denominados de solos halomórficos e as principais classes de solos que apresentam problemas com salinidade no SAB são os Fluvissois e Cambissolos (Pessoa et al., 2019b).

Algumas técnicas são utilizadas para recuperar ou manejar solos afetados por sais. A primeira e mais conhecida é a lixiviação dos sais com água de boa qualidade e posterior retirada da água carregada com sais do perfil do solo utilizando um sistema de drenagem artificial. No entanto, é um método oneroso, depende da qualidade da água e, caso o solo apresente problemas com sodicidade, é necessário realizar uma correção com gessagem em conjunto com a drenagem. Diversas formas de manejos estão sendo estudadas e apresentam resultados satisfatórios na mitigação da salinidade nos solos, como a adição de biofertilizantes, biorremediação e fitorremediação, aração profunda, métodos de irrigação eficientes, e a interação entre essas técnicas (Mukhopadhyay et al., 2021; Pedrotti et al., 2015). A aplicação de biofertilizantes reduz a CE (Figura 2) e a sodicidade do solo, ao mesmo passo que aumenta a fertilidade (Huang et al., 2022; Singh et al., 2021).

Figura 2. pH do solo (a) e condutividade elétrica (b) do solo sob níveis de salinidade da água e aplicação de biochar. B0 - sem biochar; B2- taxa de biochar 2 t ha⁻¹; B4 - taxa de biochar 4 t ha⁻¹; B8 - taxa de biochar 8 t ha⁻¹; CW – água sem adição de sais; SW5 - água salina 5 dS m⁻¹; SW10 - água salina 10 dS m⁻¹; SW15- água salina 15 dS m⁻¹



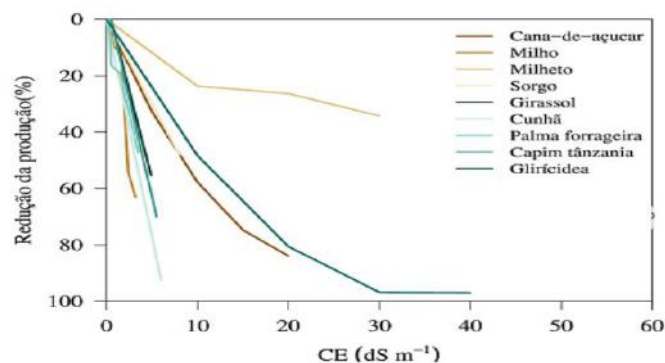
Fonte: Singh et al. (2021).

3.3 Efeito dos sais nas plantas

O estresse salino em plantas pode ser dividido em duas fases: a fase osmótica e a fase iônica. A primeira corresponde ao acúmulo de sais no solo que reduz o potencial osmótico do solo, dificultando a absorção de água e nutrientes pelas plantas, que resulta no fechamento dos estômatos, aumento da temperatura foliar e estresse hídrico. A fase iônica ocorre devido ao acúmulo de íons de sais nos tecidos vegetais, que danifica os tecidos e promove a senescência e perda das folhas e ramos (Munns & Tester, 2008).

A acumulação de sódio e cloreto nas plantas promove danos ao citoplasma, inicialmente na bordadura e no ápice das folhas e, posteriormente, a necrose avança até o centro das folhas (Dias & Blanco, 2010). O fechamento estomático interrompe a assimilação de CO₂, a transpiração e a absorção de água e nutrientes, afetando os processos metabólicos e o rendimento das plantas (Silva et al., 2018). Além disso, a menor assimilação de CO₂ reduz a velocidade do Ciclo de Calvin, que resulta na sobra de elétrons livres que podem se ligar ao oxigênio e formar espécies reativas de oxigênio (EROs), podendo induzir a danos oxidativos nas plantas (Cavalcanti et al., 2007). Para as plantas forrageiras não é diferente, a salinidade afeta o crescimento e o rendimento das culturas (Figura 3), variando a intensidade de acordo com o nível salino e o grau de tolerância das espécies.

Figura 3. Redução no acúmulo de biomassa de plantas forrageiras submetidas ao estresse salino. CE – condutividade elétrica.



Fonte: Silva et al. (2018).

O milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) é uma planta de ciclo anual do tipo C4, originária de regiões de clima tropical semiárido do continente africano, considerada moderadamente tolerante à salinidade. Entretanto, ocorre redução superior a 70% na taxa de germinação de sementes e crescimento de plântulas quando submetidas à concentração salina de 25 dS m⁻¹ (Krishnamurthy et al., 2007). Segundo Hussain et al. (2008), a porcentagem de germinação, a altura de planta, a produção de grãos e o rendimento de forragem do milheto diminuem com o aumento da salinidade.

O sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) demonstra, também, tolerância moderada ao estresse salino procedentes do solo ou da água (Tabosa et al., 2007), dispondo de capacidade adaptativa diferenciada de outras culturas e mantendo níveis de produção adequados. Esta característica de adaptação é extremamente útil e permite o uso dessa espécie com rendimentos economicamente aceitáveis, sobremaneira quando o cultivo em condições salinas é inevitável, o que ocorre em parte considerável do SAB (Leite et al., 2020).

A palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) apresenta satisfatório rendimento de biomassa em condições salinas. Nadaf et al. (2018) mostraram que não houve redução na produtividade dessa cultura até a concentração salina da água de 14,75 dS m⁻¹. No entanto, segundo Tabosa et al. (2021), altos níveis de sais interferem no crescimento e produção da palma forrageira. Os mesmos autores evidenciaram que os clones Miúda e Orelha de Elefante Mexicana quando submetidos à salinidade de 20 dS m⁻¹ apresentaram redução no crescimento das plantas em 60,5% e 36,5%, respectivamente.

O milho (*Zea mays* L.) é considerado moderadamente tolerante à salinidade, com perdas de 12% na produtividade por aumento unitário da CE acima da salinidade limiar do solo que, para o milho é de 1,7 dS m⁻¹ (Maas & Hoffman, 1977). Com salinidade de 2,75 dS m⁻¹, Silva et al. (2014) observaram uma redução de 22% na produção de biomassa do milho. À medida que a salinidade do solo aumenta, ocorre redução na atividade fotossintética, trocas gasosas, produtividade e de outros atributos agrônômicos na cultura do milho (Garcia et al., 2007).

3.4 Irrigação com água salina em plantas forrageiras tolerantes

Quanto à tolerância a salinidade, as plantas são divididas em dois grupos: halófitas e glicófitas; e em quatro classes: sensível, moderadamente sensível, moderadamente tolerante e tolerante (Elgallal et al., 2016). As plantas halófitas possuem mecanismos para contornar a salinidade, como o ajuste osmótico (acúmulo de prolina e outros solutos compatíveis nas raízes) para tornar o potencial hídrico da planta mais negativo em relação ao do solo e tornar possível a absorção de água em solos salinizados (Silva et al., 2018), enquanto as plantas glicófitas representam a grande maioria das plantas cultivadas e não dispõem de tais mecanismos.

O cultivo de plantas forrageiras tolerantes quando associado a técnicas de manejo do solo e uso de atenuantes alcança resultados satisfatórios. Kusvuran et al. (2021) observaram que a aplicação de matéria orgânica a base de esterco diminuiu os efeitos danosos do estresse salino em plantas de sorgo, por meio da quelação do Cl⁻ e Na⁺ no solo e redução nos níveis de malondialdeído (MDA), reduzindo o estresse oxidativo advindo do estresse salino. Resultados semelhantes foram observados com a utilização de biochar (Ibrahim et al., 2021). No entanto, o biochar apresenta elevado custo de aquisição quando comparado ao esterco. Além disso, a matéria orgânica forma agregados que aumenta a porosidade do solo, facilitando a lixiviação dos sais durante a época chuvosa. Huang et al. (2022), observaram que a matéria orgânica associada à aração profunda do solo reduz a salinidade e a sodicidade do solo, enquanto aumenta a fertilidade.

Recentemente o silício tem ganhado destaque como atenuante ao estresse salino em plantas, podendo atuar de diversas formas, como quelação dos sais no solo, aumento na síntese de prolina nas raízes, homeostase celular, e principalmente na ativação do aparato enzimático para eliminar espécies reativas de oxigênio (Das et al., 2021; Dhiman et al., 2021). Atenuantes biológicos também tem ganhado destaque, atuando em simbiose com as raízes das plantas, i.e., fornecem água e nutrientes para as plantas em troca de fotoassimilados (Zhang et al., 2019).

Simões et al. (2022) avaliaram a influência de um bioestimulante e do extrato vegetal de tiririca (*Cyperus rotundus*) no crescimento e rendimento de forragem de milho submetido a condições de estresse salino. Segundo os autores, a utilização do extrato de tiririca e do bioestimulante nos níveis de 2 e 4 dS m⁻¹ promoveram acréscimos significativos de 66% e 253% na área foliar do milho, respectivamente e, conseqüentemente, na produção de massa seca da lâmina foliar, confirmando a hipótese de que os benefícios promovidos por esses estimulantes podem servir como estratégia para o aumento da produção de biomassa de plantas forrageiras sob a presença de sais na água de irrigação. O extrato de tiririca possui em sua composição uma elevada concentração de auxinas endógenas, como o ácido indolacético (AIA) e indolbutírico.

Além disso, o manejo de irrigação contribui para mitigar a salinidade, sendo a irrigação por gotejamento o método mais indicado, pois reduz a quantidade de água aplicada e as perdas por evaporação.

Algumas espécies forrageiras são utilizadas para recuperar solos salinizados, como é o caso da *Atriplex numulária* que extrai e compartimenta íons de sais nos vacúolos das células. De acordo com Souza et al. (2011) a *A. numulária* pode extrair até 1.182 kg ha⁻¹ de sais do solo, sendo o Na⁺ e Cl⁻ os íons mais encontrados na biomassa dessa espécie (Leal et al., 2020). Vale salientar que o material vegetal deve ser consumido pelos animais ou retirado do campo para que os sais não retornem para o solo e a extração dos sais pelas plantas seja contínua.

4. Considerações Finais

A produtividade das plantas forrageiras é severamente afetada pelo estresse salino. No entanto, a irrigação com água salina em plantas forrageiras tolerantes aumenta o aporte de forragem em ambiente semiárido, quando comparado aos sistemas em sequeiro.

O uso de bioestimulantes e manejos adequados melhoram a produtividade das culturas forrageiras sob estresse salino. Além disso, as plantas desenvolvem mecanismos fisiológicos e metabólicos para reduzir os danos advindos da salinidade. Os principais danos ocorrem, principalmente, devido a toxicidade dos íons de sais nos tecidos fotossintéticos, desequilíbrio osmótico e estresse oxidativo.

Estudos voltados para a salinidade são importantes para dar suporte aos técnicos e produtores para escolha adequada da espécie, cultivar e o correto manejo nessas condições. Recomenda-se a realização de mais estudos de longo prazo para compreender os impactos da irrigação com água salina sobre os atributos do solo. São necessários que mais estudos sejam realizados no âmbito do melhoramento genético, seleção de espécies e cultivares forrageiras mais tolerantes, condições de cultivo (alta densidade de plantio; uso de cobertura morta sobre o solo; consorciação de culturas, entre outros), manejo do solo, e testar novos produtos como potenciais atenuantes aos efeitos da salinidade nas plantas.

Referências

- Ali, A. Y. A., Ibrahim, M. E. H., Zhou, G., Nimir, N. E. A., Elsiddig, A. M. I., Jiao, X., Zhu, G., Salih, E. G. I., Suliman, M. S. E. S., & Elradi, S. B. M. (2021). Gibberellic acid and nitrogen efficiently protect early seedlings growth stage from salt stress damage in Sorghum. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84713-9>.
- Bertossi, A. P. A. (2013). Influência da aplicação de águas residuárias sobre a infiltração de água no solo. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 8(5), 188–193.
- Bortolini, L., Maucieri, C., & Borin, M. (2018). A tool for the evaluation of irrigation water quality in the arid and semi-arid regions. *Agronomy*, 8(2). <https://doi.org/10.3390/agronomy8020023>.
- Braga, E. de A. S., Aquino, M. D., Mota, F. S. B., & Carvalho Junior, F. H. (2015). Avaliação da salinidade das águas subterrâneas de poços localizados em diferentes cidades do interior do estado de Ceará. *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*.
- Cavalcanti, F. R., Santos Lima, J. P. M., Ferreira-Silva, S. L., Viégas, R. A., & Silveira, J. A. G. (2007). Roots and leaves display contrasting oxidative response during salt stress and recovery in cowpea. *Journal of Plant Physiology*, 164(5), 591–600. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2006.03.004>.
- Das, P., Manna, I., Sil, P., Bandyopadhyay, M., & Biswas, A. K. (2021). Silicon augments salt tolerance through modulation of polyamine and GABA metabolism in two indica rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Plant Physiology and Biochemistry*, 166, 41–52. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.05.030>.

- Dhiman, P., Rajora, N., Bhardwaj, S., Sudhakaran, S. S., Kumar, A., Raturi, G., Chakraborty, K., Gupta, O. P., Devanna, B. N., Tripathi, D. K., & Deshmukh, R. (2021). Fascinating role of silicon to combat salinity stress in plants: An updated overview. *Plant Physiology and Biochemistry*, *162*, 110–123. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.02.023>.
- Dias, N. S., & Blanco, F. F. (2010). *Efeitos dos sais na planta*. In *Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados* (pp. 130-141).
- Eden, S., & Heath, D. (1995). *Field Manual for Water Quality Sampling* (Issue Arizona Water Resources Research Center, Arizona Department Of Environmental Quality). https://wrrc.arizona.edu/sites/wrrc.arizona.edu/files/EngSpan_Field_manual_for_water_quality_sampling.pdf.
- El Shaer, H. (2010). Halophytes and salt-tolerant plants as potential forage for ruminants in the Near East region. *Small Ruminant Research*, *91*(1), 3–12.
- Elgallal, M., Fletcher, L., & Evans, B. (2016). Assessment of potential risks associated with chemicals in wastewater used for irrigation in arid and semiarid zones: A review. *Agricultural Water Management*, *177*, 419–431. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.08.027>.
- Freitas, W., Lima Filho, M., Silva, V., Agostinho, S., & Piovesan, E. (2018). Geologia Da Porção Centro-Leste Da Bacia São José Do Belmonte, Pernambuco, Ne Do Brasil. *Estudos Geológicos*, *28*(1), 3–19. <https://doi.org/10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v28n1p3-19>.
- Garcia, G. D. O., Ferreira, P. A., Miranda, G. V., Oliveira, F. G. de, & Santos, D. B. dos. (2007). Índices Fisiológicos, Crescimento E Produção Do Milho Irrigado Com Água Salina. *Irriga*, *12*(3), 307–325. <https://doi.org/10.15809/irriga.2007v12n3p307-325>.
- Huang, Liu, Y., Ferreira, J. F. S., Wang, M., Na, J., Huang, J., & Liang, Z. (2022). Long-term combined effects of tillage and rice cultivation with phosphogypsum or farmyard manure on the concentration of salts, minerals, and heavy metals of saline-sodic paddy fields in Northeast China. *Soil and Tillage Research*, *215*. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105222>.
- Huang, R. D. (2018). Research progress on plant tolerance to soil salinity and alkalinity in sorghum. *Journal of Integrative Agriculture*, *17*(4), 739–746. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61728-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61728-3).
- Hussain, K., Ashraf, M., & Ashraf, M. Y. (2008). Relationship between growth and ion relation in pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) at different growth stages under salt stress. *African Journal of Botany*, *5*(2), 116–120. www.internationalscholarsjournals.org.
- IBGE. (2017). Censo Agropecuário 2017. Disponível em: <<https://Sidra.Ibge.Gov.Br/Pesquisa/Censo-Agropecuário/Censo-Agropecuário-2017>> Acesso em: 18 de março de 2022.
- Ibrahim, M. E. H., Ali, A. Y. A., Elsiddig, A. M. I., Zhou, G., Nimir, N. E. A., Agbna, G. H. D., & Zhu, G. (2021). Mitigation effect of biochar on sorghum seedling growth under salinity stress. *Pakistan Journal of Botany*, *53*(2), 387–392. [https://doi.org/10.30848/PJB2021-2\(21\)](https://doi.org/10.30848/PJB2021-2(21)).
- Kaloterakis, N., van Delden, S. H., Hartley, S., & De Deyn, G. B. (2021). Silicon application and plant growth promoting rhizobacteria consisting of six pure *Bacillus* species alleviate salinity stress in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Scientia Horticulturae*, *288*, 110383. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110383>.
- Khorsandi, F., Siadati, S. M. H., & Rastegary, J. (2020). Haloengineering as a vital component of sustainable development in salt-affected ecosystems. *Environmental Development*, *35*. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100545>.
- Krishnamurthy, L., Serraj, R., Rai, K. N., Hash, C. T., & Dakheel, A. J. (2007). Identification of pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] lines tolerant to soil salinity. *Euphytica*, *158*(1–2), 179–188. <https://doi.org/10.1007/s10681-007-9441-3>.
- Kusvuran, A., Bilgici, M., Kusvuran, S., & Nazli, R. I. (2021). The effect of different organic matters on plant growth regulation and nutritional components under salt stress in sweet sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) moench.]. *Maydica*, *66*(1).
- Leal, L. de S. G., Pessoa, L. G. M., de Oliveira, J. P., Santos, N. A., Silva, L. F. dos S., Júnior, G. B., Freire, M. B. G. dos S., & de Souza, E. S. (2020). Do applications of soil conditioner mixtures improve the salt extraction ability of *Atriplex nummularia* at early growth stage? *International Journal of Phytoremediation*, *22*(5), 482–489. <https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1678109>.
- Leite, M. L. M. V., Souza, E. S., Tabosa, J. N., & Costa, E. J. B. (2020). A agricultura de vazante na produção de sorgo no Semiárido brasileiro. In: *Sorgo*. Editor: Tabosa, J.N. Cadernos do Semiárido riquezas & oportunidades / Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Pernambuco. 15(2) (2020). Recife: CREA-PE: Editora UFRPE.
- Lima, O. A. L. de. (2010). Estruturas geológica e hidroquímica do sistema aquífero cristalino da bacia do alto rio Curaçá, semi-árido da Bahia. *Revista Brasileira de Geofísica*, *28*(3), 445–461. <https://doi.org/10.1590/s0102-261x2010000300009>.
- Maas, E. V., & Hoffman, G. J. (1977). Crop Salt Tolerance - Current Assessment. *ASCE J Irrig Drain Div*, *103*(2), 115–134. <https://doi.org/10.1061/jrcea4.0001137>.
- Marengo, J. A. (2008). Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. *Parcerias Estratégicas*, *13*(27), 149–176. http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/view/329.
- Medeiros, A. S., Malta Ferreira Maia, S., dos Santos, T. C., & de Araújo Gomes, T. C. (2020). Soil carbon losses in conventional farming systems due to land-use change in the Brazilian semi-arid region. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *287*. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106690>.
- Mukhopadhyay, R., Sarkar, B., Jat, H. S., Sharma, P. C., & Bolan, N. S. (2021). Soil salinity under climate change: Challenges for sustainable agriculture and food security. *Journal of Environmental Management*, *280*. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111736>.
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, *59*, 651–681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>.
- Muyen, Z., Moore, G. A., & Wrigley, R. J. (2011). Soil salinity and sodicity effects of wastewater irrigation in South East Australia. *Agricultural Water Management*, *99*(1), 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.07.021>.

- Nadaf, S. K., Al-Farsi, S. M., Al-Hinai, S. A., Al-Hinai, A. S., Al-Harthy, A. A. S., Al-Khamisi, S. A., & Al-Bakri, A. N. (2018). Potential of forage cactus pear accessions under saline water irrigation in arid areas. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 20, 68–81.
- Nunes Filho, J., Sousa, A. R. de, Sá, V. A. de L. e., & Lima, B. P. (2000). Relações entre a concentração de íons e a salinidade de águas subterrâneas e superficiais, visando à irrigação, no sertão de Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 4(2), 189–193. <https://doi.org/10.1590/s1415-4366200000200010>.
- Oliveira, F. de A. de, Medeiros, J. F. de, Alves, R. de C., Linhares, P. S. F., Medeiros, A. M. A. de, & Oliveira, M. K. T. de. (2014). Interação entre salinidade da água de irrigação e adubação nitrogenada na cultura da berinjela. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(5), 480–486. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662014000500003>.
- Pedrotti, A., Rogério Moreira Chagas, Victor Callegari Ramos, Ana Paula do Nascimento, Prata, Ariovaldo Antônio Tadeu Lucas, & Santos, P. B. dos. (2015). Causas e consequências do processo de salinização dos solos. *Revista Eletrônica Em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 19(2), 1308–1324.
- Pessoa, L. G. M., Freire, M. B. G. dos S., dos Santos, R. L., Freire, F. J., Santos, P. R. dos, & Miranda, M. F. A. (2019a). Saline water irrigation in semiarid region: II - effects on growth and nutritional status of onions. *Australian Journal of Crop Science*, 13(7), 1177–1182. <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.07.p1687>.
- Pessoa, L. G. medeiros, Freire, M. B. G., Filho, J. C. de A., Santos, P. R., & Miranda, Márcio Fléquisson Freire, F. J. (2019b). Characterization and Classification of Halomorphic Soils in the Semiarid Region of Northeastern Brazil. *Journal of Agricultural Science*, 11(4), 405. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n4p405>.
- Queiroz, M. G., Silva, T. G. F., Zolnier, S., Silva, S. M. S. e, Souza, C. A. A. de, & Carvalho, H. F. de S. (2018). Relações Hídrico-Econômicas Da Palma Forrageira Cultivada Em Ambiente Semiárido. *Irriga*, 1(01), 141. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n01p141-154>.
- Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils* (D. . Dept. of Agriculture, Washington (ed.); Agriculture).
- Sá, C. S. B., Shiosaki, R. K., dos Santos, A. M., & Campos, M. A. da S. (2021). Salinization causes abrupt reduction in soil nematode abundance in the Caatinga area of the Submedio San Francisco Valley, Brazilian semiarid region. *Pedobiologia*, 85–86. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2021.150729>.
- Santos, R. H. S. dos, Dias, M. dos S., Silva, F. de A. da, Santos, J. P. de O., Santos, S. C. dos, Reis, L. S., & Tavares, C. L. (2020). Matéria orgânica como atenuante da salinidade da água de irrigação na cultura do milho. *Colloquium Agrariae*, 16(3), 84–93. <https://doi.org/10.5747/10.5747/ca.2020.v16.n2.a374>.
- Silva, A. D. C., Menezes, A. S., Aragão, M. F., Neto, L. G. P., Moreira, F. J. C., & Sampaio, G. M. (2021). Initial growthof forage cactusvarieties under different water salinity levels. *Irriga*, 26(1), 55–64.
- Silva, J. L. A., Medeiros, J. F. de, Alves, S. S. V., Oliveira, F. de A. de, Silva Junior, M. J. da, & Nascimento, I. B. do. (2014). Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(suppl), 66–72. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18nsupps66-s72>.
- Silva, J. R. I., Jardim, A. M. da R. F., Barroso Neto, J., Leite, M. L. de M. V., & Teixeira, V. I. (2018). Estresse salino como desafio para produção de plantas forrageiras. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada Nas Ciências Agrárias*, 11(3). <https://doi.org/10.5935/paet.v11.n3.13>.
- Silva Júnior, L. G. de A., Gheyi, H. R., & Medeiros, J. F. de. (1999). Composição Química De Águas Do Cristalino Do Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 3(1), 11–17. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v3n1p11-17>.
- Singh, G., Mavi, M. S., Choudhary, O. P., Gupta, N., & Singh, Y. (2021). Rice straw biochar application to soil irrigated with saline water in a cotton-wheat system improves crop performance and soil functionality in north-west India. *Journal of Environmental Management*, 295. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113277>.
- Souza, M. C. M. R. de, Menezes, A. S., Costa, R. S. da, Amorim, A. V., Lacerda, C. F. de, & Ribeiro, M. da S. de S. (2017). Tolerância À Salinidade E Qualidade De Mudas De Noni Sob Diferentes Ambientes E Matéria Orgânica. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 11(7), 2052–2062. <https://doi.org/10.7127/rbai.v11n700682>.
- Souza, R., E., Freire, M. B. G. dos S., Nascimento, C. W. A. do, Montenegro, A. A. de A., Freire, F. J., & Melo, H. F. de. (2011). Fitoextração de sais pela *Atriplex nummularia* Lindl. sob estresse hídrico em solo salino sódico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(5), 477–483. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662011000500007>.
- Souza, R., Hartzell, S., Feng, X., Dantas Antonino, A. C., de Souza, E. S., Cezar Menezes, R. S., & Porporato, A. (2020). Optimal management of cattle grazing in a seasonally dry tropical forest ecosystem under rainfall fluctuations. *Journal of Hydrology*, 588. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125102>.
- Sudene. (2017). SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. *Delimitação do semiárido*. Recife: Sudene. Disponível em: <<https://www.gov.br/sudene/pt-br>>. Acesso em: 18 de março de 2022.
- Tabosa, J. N., Colaço, W., Reis, O. V., Simplício, J. B., Carvalho, H. W. L., & Dias, F. M. (2007). Sorghum Genotypes Evaluation Under Salinity Levels and Gamma Ray Doses. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 6(3), 339–350. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v6n3p339-350>.
- Wang, Z., Pu, H., Shan, S., Zhang, P., Li, J., Song, H., & Xu, X. (2021). Melatonin enhanced chilling tolerance and alleviated peel browning of banana fruit under low temperature storage. *Postharvest Biology and Technology*, 179(April), 111571. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111571>.
- Werber, J. R., Deshmukh, A., & Elimelech, M. (2017). Can batch or semi-batch processes save energy in reverse-osmosis desalination? *Desalination*, 402, 109–122. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.09.028>.
- Yousaf, M. T. Bin, Nawaz, M. F., Zia ur Rehman, M., Gul, S., Yasin, G., Rizwan, M., & Ali, S. (2021). Effect of three different types of biochars on eco-physiological response of important agroforestry tree species under salt stress. *International Journal of Phytoremediation*. <https://doi.org/10.1080/15226514.2021.1901849>.

Zhang, F., Wang, Y., Liu, C., Chen, F., Ge, H., Tian, F., Yang, T., Ma, K., & Zhang, Y. (2019). *Trichoderma harzianum* mitigates salt stress in cucumber via multiple responses. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 170, 436–445. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.084>.

Zhang, Z., Liu, H., Liu, X., Chen, Y., Lu, Y., Shen, M., Dang, K., Zhao, Y., Dong, Y., Li, Q., & Li, J. (2021). Organic fertilizer enhances rice growth in severe saline–alkali soil by increasing soil bacterial diversity. *Soil Use and Management*. <https://doi.org/10.1111/sum.12711>.