



Saline water in animal production: impacts on soil and indirect effects on forage.

Água salina na produção animal: impactos no solo e efeitos indiretos sobre as forragens

SILVA, Aline Gomes de Andrade⁽¹⁾; ARAUJO, Cintia Mirely de⁽²⁾; COELHO, Davi Felipe Soares⁽³⁾; BEZERRA, Jéssica Daisy do Vale⁽⁴⁾; GOIS, Glacyciane Costa⁽⁵⁾; SOUZA, Rita de Cássia Rodrigues de⁽⁶⁾; ARAÚJO, Cleyton de Almeida⁽⁷⁾

(1) 0009-0001-4467-8150; Universidade Federal do Vale do São Francisco. Petrolina, PE, Brasil. alinegomesandrade057@gmail.com.

(2) 0000-0002-7035-7190; Universidade Estadual do Piauí. Corrente – PI. Universidade Federal do Vale do São Francisco. Petrolina, PE, Brasil. cintia.m.araujo@gmail.com.

(3) 0000-0002-7962-8276; Universidade Federal do Vale do São Francisco. Petrolina, PE, Brasil. davifscoelho@gmail.com.

(4) 0000-0002-8266-7591; Universidade Federal do Vale do São Francisco. Petrolina, PE, Brasil. jessicadaisy.bezerra@gmail.com.

(5) 000-0002-4624-1825; Universidade Federal do Maranhão. Chapadinha, MA, Brasil. glacyciane_gois@yahoo.com.br.

(6) 0000-0001-8636-577X; Universidade Federal do Vale do São Francisco. Petrolina, PE, Brasil. rita.souza@univasf.edu.br.

(7) 0000-0003-3636-2890; Universidade Federal do Vale do São Francisco. Petrolina, PE, Brasil. cleyton.araujo@univasf.edu.br.

O conteúdo expresso neste artigo é de inteira responsabilidade dos/as seus/as autores/as.

ABSTRACT

Water scarcity in arid and semiarid regions has intensified the use of saline waters in animal and forage production, raising concerns about the impacts on soil and animal performance. This review investigates the main mechanisms involved in soil salinization processes resulting from irrigation with low-quality water, highlighting the effects on soil physicochemical and biological properties, such as electrical conductivity, cation exchange capacity, microbial activity and nutrient cycling. The adverse effects of salinity on the growth and nutritional value of forage plants are discussed, with emphasis on osmotic stress, ionic toxicity and nutritional imbalance. It also analyzes the effects of salinity on the nutrition and productive and reproductive performance of ruminants, highlighting the need for integrated strategies such as the selection of tolerant species, fertilizer management and mineral balancing of diets. The findings show that, although saline water may be a viable alternative to water scarcity, its use requires careful planning to mitigate negative effects on production systems.

RESUMO

A escassez hídrica em regiões áridas e semiáridas tem intensificado o uso de águas salinas na produção animal e forragens, levantando preocupações quanto aos impactos sobre o solo e no desempenho animal. Esta revisão investiga os principais mecanismos envolvidos nos processos de salinização do solo decorrentes da irrigação com águas de baixa qualidade, destacando os efeitos sobre as propriedades fisico-químicas e biológicas do solo, como condutividade elétrica, capacidade de troca catiônica, atividade microbiana e ciclagem de nutrientes. São discutidos os efeitos adversos da salinidade sobre o crescimento e valor nutricional de plantas forrageiras, com ênfase no estresse osmótico, toxicidade iônica e desequilíbrio nutricional. Analisa, ainda, os reflexos da salinidade na nutrição e desempenho produtivo e reprodutivo de ruminantes, ressaltando a necessidade de estratégias integradas como a seleção de espécies tolerantes, o manejo da adubação e o balanceamento mineral das dietas. Os achados evidenciam que, embora a água salina possa ser uma alternativa viável frente à escassez hídrica, seu uso exige um planejamento criterioso para mitigar efeitos negativos nos sistemas produtivos.

INFORMAÇÕES DO ARTIGO

Histórico do Artigo:

Submetido: 14/09/2025

Aprovado: 01/12/2025

Publicação: 19/12/2025



Palavras-chaves.

Keywords:

Salt stress, sodification, ionic toxicity.

Palavras-Chave:

Estresse salino, sodificação, toxicidade iônica.

Introdução

A escassez hídrica emerge como um dos desafios mais críticos para a sustentabilidade da produção animal no século XXI, intensificada pelas mudanças climáticas e pela crescente competição por recursos hídricos. Estimativas indicam que 20% da área cultivada global e 33% das terras irrigadas são afetadas por elevada salinidade (Kumar e Sharma, 2020), cenário agravado pela irregularidade pluviométrica e pela redução da recarga de aquíferos, especialmente em regiões áridas e semiáridas (Tulu et al., 2024). Neste contexto, a utilização de águas salinas ou salobras surge como uma estratégia viável para garantir a dessedentação animal e a irrigação de culturas forrageiras.

A viabilidade do uso de águas salinas na pecuária é respaldada por evidências de que ruminantes podem tolerar níveis moderados de salinidade (até 3.000-5.000 mg/L de sólidos totais dissolvidos – STD) sem comprometer significativamente o desempenho produtivo (Abdelsattar et al., 2020). Além disso, a dessalinização parcial para uso animal apresenta custos substancialmente inferiores ao tratamento de água do mar, tornando-se economicamente acessível, principalmente para pequenos produtores (Khondoker et al., 2023). Paralelamente, a integração com sistemas de agricultura salina permite o cultivo de halófitas (como *Atriplex spp.* e *Salicornia bigelovii*) em terras marginais, gerando forragem nutritiva com água salobra e reduzindo a competição por solos e água de alta qualidade (Hasnain et al., 2023).

Essa aparente solução hídrica, entretanto, desencadeia um ciclo crítico de degradação edáfica quando aplicada à irrigação de culturas forrageiras ou manejada em sistemas de produção animal. A irrigação com águas salinas induz à salinização secundária dos solos, processo no qual sais dissolvidos acumulam-se progressivamente no perfil do solo, comprometendo sua estrutura físico-química e atividade biológica. Conforme documentado por Kumar e Sharma (2020), tal fenômeno afeta entre 932 milhões e 1,128 bilhão de hectares globalmente, reduzindo a produtividade agrícola em 50-80% em casos severos devido a três mecanismos interligados: estresse osmótico que limita a disponibilidade hídrica para as plantas, toxicidade iônica por acúmulo de sódio e cloreto nos tecidos vegetais, e desequilíbrios nutricionais que interferem na absorção de nutrientes essenciais.

Os reflexos na produção animal podem se manifestar indiretamente através da redução na disponibilidade e qualidade de forragens. A salinidade do solo, particularmente quando a condutividade elétrica excede 4 dS/m ou o índice de adsorção de sódio (SAR) supera 12%, suprime drasticamente o crescimento de espécies forrageiras convencionais, elevando os custos de suplementação alimentar. Qadir et al. (2014) quantificaram o impacto econômico dessa cadeia causal em US\$ 27,3 bilhões anuais em perdas agrícolas, com efeitos desproporcionais sobre pequenos produtores, que sofrem reduções de 15-69% na renda líquida, frequentemente culminando no abandono de terras e migração rural.

Desta forma, esta revisão tem como objetivo central realizar um levantamento bibliográfico sobre os mecanismos pelos quais o uso de água salina desencadeia processos de degradação do solo, e como estes impactos edáficos repercutem sobre as forragens, e indiretamente na produção animal.

Caracterização e classificação de águas salinas

A caracterização de águas salinas constitui um aspecto fundamental para uso na pecuária, especialmente considerando os efeitos indiretos que estas exercem sobre a produção de forragens e, consequentemente, sobre o desempenho produtivo de ruminantes. Onde os principais parâmetros avaliados no solo são condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD), razão de adsorção de sódio (RAS), além da composição iônica.

A Condutividade elétrica representa a capacidade de uma solução aquosa de transportar corrente elétrica, sendo expressa em deciSiemens por metro ($dS\ m^{-1}$), já os STD's quantificam a massa total de sais e solutos inorgânicos e orgânicos solúveis presentes em volume conhecido de solução, expressos em miligramas por litro ($mg\ L^{-1}$) (Corwin e Yemoto, 2020). Os principais sistemas de classificação da água em relação a salinidade, que levam em consideração fatores de CE e STD estão descritos na tabela 1.

Tabela 1.
Principais sistemas de classificação da água em relação a salinidade

| Sistemas | Classificação | Referência |
|--|--|-----------------------------|
| | C1 (Baixa salinidade) CE < 0,25 dS m ⁻¹ Água adequada / boa | |
| USSL (United States Salinity Laboratory) | C2 (Salinidade média) CE 0,25 – 0,75 dS m ⁻¹ Água boa / moderada C3 (Alta salinidade) CE 0,75 – 2,25 dS m ⁻¹ Água moderada / fraca | Vranesovic et al. (2024) |
| | C4 (Salinidade muito alta) CE > 2,25 dS m ⁻¹ Água inadequada | |
| Nejgebauer | STD < 700 mg L ⁻¹ Água adequada para irrigação STD 700-3.000 mg L ⁻¹ Águas que necessitam testes antes do uso | Vranesovic et al. (2024) |
| Richards | STD > 3.000 mg L ⁻¹ água inadequada para irrigação Solo salino: CEe > 4,0 dS m ⁻¹ ; RAS < 13 Solo salino-sódico: CEe > 4,0 dS m ⁻¹ ; RAS > 13 Solo sódico: CEe < 4,0 dS m ⁻¹ ; RAS > 13 | Omar et al. (2024) |

CEe – Condutividade elétrica do extrato de saturação. RAS – Razão de Adsorção de Sódio.

A razão de adsorção de sódio (RAS) é calculada pela equação: $RAS = [\text{Na}^+] \div \sqrt{([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]) / 2}$, onde as concentrações iônicas são expressas em $\text{cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}$ (Omar et al., 2024). Este parâmetro avalia o risco de sodificação do solo, processo que compromete a estrutura física e reduz sua permeabilidade.

O sistema USSL estabelece quatro classes de risco de salinização baseadas na RAS, designadas de S1 a S4, que são combinadas com as classes de salinidade (C1 a C4) para fornecer uma avaliação integrada do risco (Vranesovic et al., 2024). A caracterização iônica de águas salinas revela padrões consistentes na distribuição de cátions e ânions. Um estudo de Ma et al. (2024), trouxe que a composição iônica dominante em águas salinas apresentou sódio como cátion principal, seguido por magnésio, potássio e cálcio, já entre os ânions, bicarbonato foi dominante, seguido por cloreto e sulfato.

Impactos da água salina no solo

A salinização do solo através da irrigação com água salina representa um dos principais desafios edafológicos contemporâneos, promovendo alterações físico-químicas significativas no sistema solo-planta. O excesso de sais solúveis, eleva a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CE_{es}), comprometendo a disponibilidade hídrica para as plantas através do aumento do potencial osmótico. Esta condição resulta em estresse hídrico mesmo em condições de umidade aparentemente adequadas, além de provocar toxicidade iônica.

Processos de salinização do solo

Os processos de salinização envolvem interações físico-químicas complexas, governadas por fatores climáticos, geomorfológicos, hidrológicos e biológicos. O intemperismo de minerais portadores de sais libera íons Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , e K^+ na solução do solo, cujo acúmulo ocorre quando a precipitação é insuficiente para sua lixiviação (Shokri et al., 2024).

Paralelamente, a ascensão capilar de águas subterrâneas salinas promove a concentração de sais na zona superficial, especialmente em regiões com alta evaporação e subsolos sódicos, onde propriedades deficientes de transmissão hídrica dispersam a estrutura do solo e impedem a drenagem (Demo et al., 2025). A evaporação superficial atua como terceiro mecanismo crítico, precipitando sais nos poros do solo quando as taxas de evapotranspiração superam a precipitação, padrão típico de regiões árias e semiáridas (Shokri et al., 2024).

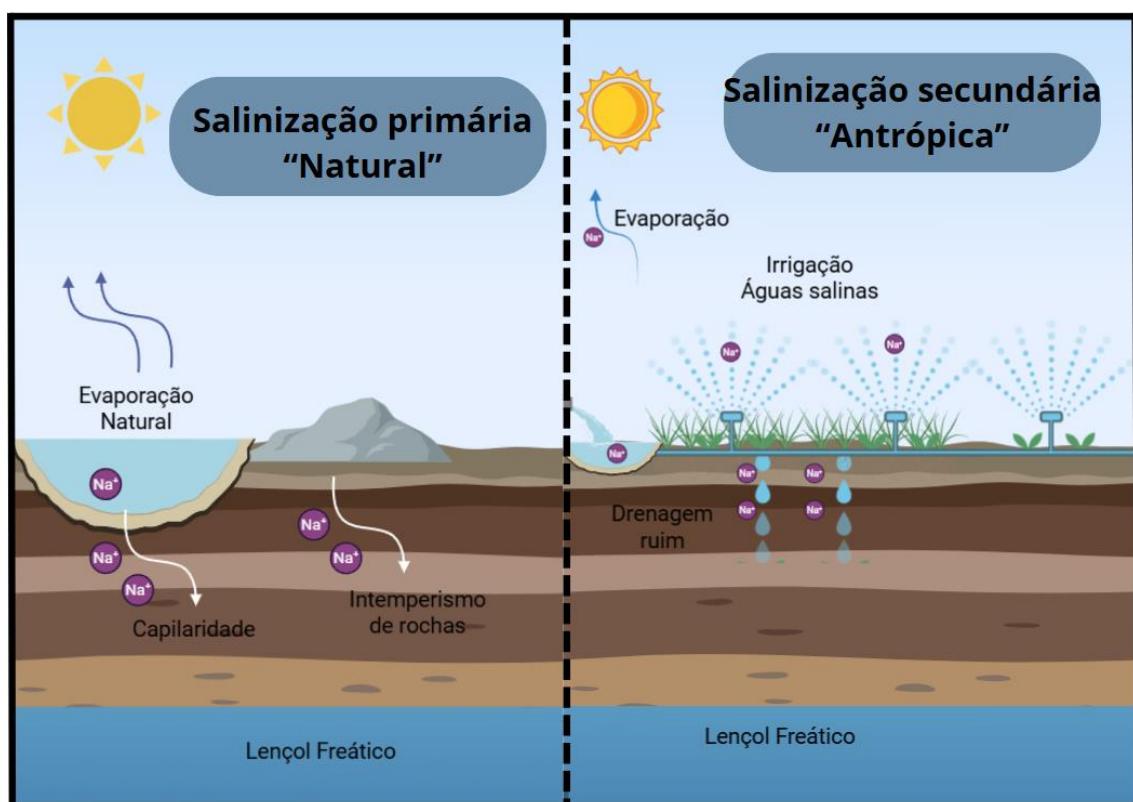
A classificação da salinização quanto à sua origem é fundamental para orientar estratégias de manejo, sendo divididos em salinização primária ou secundária. A primeira resulta de processos naturais lentos, como o intemperismo geológico de rochas ricas em sais ao longo de milênios, associado à insuficiência de precipitação para lixivar os íons solúveis (Omuto et al., 2024).

Já a salinização secundária deriva de atividades antrópicas, destacando-se como principal fator de degradação em áreas irrigadas, e suas causas incluem: irrigação com águas

salobras, que deposita sais na zona radicular; drenagem inadequada, que eleva lençóis freáticos e ativa a capilaridade; descargas industriais (como salmouras petrolíferas); aplicação excessiva de fertilizantes; e o uso de sais de degelo viários (NaCl , CaCl_2), que migram para solos adjacentes (Li et al., 2024). A figura 1, traz uma representação gráfica exemplificando as diferenças entre os processos de salinização primária e secundária.

Figura 1.

Representação gráfica dos processos de salinização primária e secundária.



Fonte: Desenvolvida pelos próprios autores com auxílio da ferramenta Biorender.

O clima exerce papel central na dinâmica salina, atuando como fator primário em escalas regionais. Regiões com baixa precipitação e alta evapotranspiração, como zonas áridas e semiáridas, são particularmente vulneráveis (Shokri et al., 2024). A sazonalidade úmido-seca regula ciclos de acumulação e redistribuição parcial de sais, enquanto eventos extremos (secas, inundações ou fenômenos como *El Niño*) alteram padrões de umidade e níveis freáticos (Demo et al., 2025).

Sodificação e alterações na estrutura do solo

A sodificação é definida como o processo de acumulação excessiva de íons sódio (Na^+) no complexo de troca do solo, resultando em um desbalanço iônico que compromete severamente a estabilidade estrutural, em um processo caracterizado pela substituição progressiva dos cátions divalentes (Ca^{2+} e Mg^{2+}), por Na^+ nos sítios de troca do solo (Stavi et

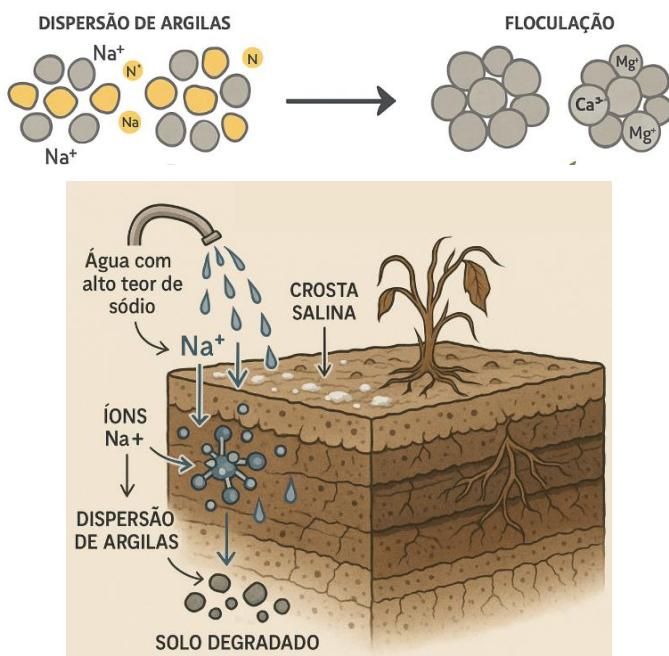
al., 2021), sendo calculado pela fórmula: $PST (\%) = (\text{Na}^+ \text{ trocável}/\text{CTC}_t) \times 100$, onde CTC_c é a capacidade de troca catiônica total do solo, que representa a capacidade máxima do solo para reter e trocar cátions (íons positivos, como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Al^{3+} , H^+) em suas partículas coloidais (argila e matéria orgânica), podendo ser expressa em centimol de carga por quilograma ($\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$) ou miliequivalentes por 100 gramas ($\text{meq} \cdot 100\text{g}^{-1}$). (EMBRAPA, 2011).

A porcentagem de sódio trocável (PST), também conhecida como ESP (exchangeable sodium percentage), é o principal indicador quantitativo para avaliar o grau de sodificação do solo. De acordo com Stavi, solos com PST de 15% ou mais (que corresponde a RAS $\approx 13\%$) são considerados sódicos, frequentemente apresentando pH superior a 9,5 e chegando até 11, impondo condições alcalinas tóxicas para as plantas. Mahdee (2025) reportou que quando a PST está acima de 5%, a estabilidade dos agregados começa a quebrar, enquanto a condutividade hidráulica diminui após a ruptura dos agregados para solos com PST na faixa de 10 a 20%.

Quando ocorre o processo de sodificação do solo a estabilidade dos agregados é comprometida. Essa estabilidade é mantida por pontes iônicas formadas por Ca^{2+} e Mg^{2+} , que promovem flocação das partículas de argila (Stavi et al., 2021). Quando o Na^+ substitui esses cátions, ocorre a quebra dessas pontes devido à menor capacidade de ligação, afetando a estrutura e funcionalidade do sistema edáfico (Camelo, 2024). A figura 2, traz uma representação gráfica, demonstrando o processo de sodificação do solo.

Figura 2.

Processo de sodificação do solo e seu efeito sobre a estrutura físico-edáfica.



Fonte: Desenvolvida pelos próprios autores com auxílio da ferramenta Genspark.

A incorporação de materiais porosos pode mitigar alguns desses efeitos, como demonstrado por Moradi et al., (2024), onde a adição de “emendas” como esterco, resultou nos menores valores de PST em todas as qualidades de água testadas, variando de 1,80% (C₃S₁ – alta salinidade com baixo sódio) a 3,66% (C₄S₄ – Salinidade muito alta com alto sódio), em comparação ao solo controle que atingiu valores de PST de até 15,6%.

Além do efeito sobre os agregados, a sodificação também altera a porosidade e permeabilidade, representando em consequências mais diretas e mensuráveis sobre a funcionalidade do solo. O processo de dispersão das argilas resulta em obstrução dos poros, como descrito por Kisekka (2024): “solos sódicos contêm materiais de argila dispersos, que entopem os poros do solo, de modo que a infiltração e a aeração da zona radicular ficam prejudicadas”. O mesmo autor demonstrou que altos valores de RAS (>6%) elevam o risco de redução de infiltração em até 50% comparado à água de baixa sodicidade.

De acordo com Mahdee (2025), uma diminuição na concentração de eletrólitos combinada com um aumento na PST leva ao inchamento e dispersão das partículas do solo, afetando negativamente o movimento da água, sendo este efeito acentuado em solos argilosos. Outro mecanismo crítico que afeta a porosidade do solo, e é uma resposta a sodificação e salinização de solos, é a formação de crostas superficiais que obstruem a entrada de água e ar, reduzindo drasticamente a porosidade total e a conectividade macroporosa (Kisekka, 2024).

Alterações fisico-químicas e biológicas

Estudos de campo demonstram que os impactos da irrigação salina no pH do solo variam conforme a composição iônica da água e as características pedológicas locais (Ding et al., 2023). Os mesmos autores observaram que em três anos de experimento com algodoeiros, mesmo com diferentes níveis de salinidade de irrigação (1, 3 e 7 g L⁻¹), o pH do solo permaneceu relativamente estável, variando entre 8,11 e 8,26, sem diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$), resultado que contrasta com literatura que reporta alterações mais pronunciadas.

Ding et al. (2023) registraram aumentos significativos na CE de 0,93 mS cm⁻¹ em solos irrigados com água doce para 3,18 mS cm⁻¹ sob irrigação salina (7 g L⁻¹), representando um incremento de 242%, enquanto a razão de adsorção de sódio (RAS) elevou-se de 1,11% para 2,75%, indicando deterioração da qualidade física do solo.

A CTC é significativamente influenciada pela qualidade da água de irrigação. Saffan et al., (2024) documentaram em solos do Delta do Nilo variações na CTC de 28,7 a 54,1 meq.100 g⁻¹ conforme a qualidade da água, sendo que solos irrigados com água de melhor qualidade apresentaram CTC de 51,0 meq/100 g, enquanto aqueles sob irrigação salina registraram valores menores.

A atividade microbiana representa um dos aspectos mais sensíveis aos impactos da salinização. Li et al. (2024) demonstraram através de análise metagenômica que a salinidade

crescente (CE de 12,87 a 110,9 mS cm⁻¹) inibe múltiplas funções metabólicas microbianas, mas estimula vias específicas de adaptação. Afirmando que a degradação de carbono, fixação de nitrogênio, degradação de nitrogênio e absorção de fósforo foram significativamente reduzidas, enquanto processos como fixação de carbono, desnitrificação e redução assimilatória de nitrato foram estimulados.

A matéria orgânica do solo (MOS) responde de forma complexa à salinização. El-Ramady et al. (2024) enfatizam que a salinidade impacta negativamente a decomposição da matéria orgânica através do estresse osmótico e iônico específico sobre os microrganismos, reduzindo a atividade de enzimas específicas como catalase, urease, fosfatase, invertase e fenol-oxidase, provocando a desaceleração da decomposição de resíduos orgânicos e potencial acúmulo de matéria orgânica não decomposta.

A ciclagem de nutrientes é profundamente alterada pela salinização. Li et al. (2024) identificaram impactos específicos nos principais ciclos biogeoquímicos:

Ciclo do Carbono: Em solos salinos (CE < 30 mS cm⁻¹), observou-se maior abundância de genes de degradação de amido, pectina, celulose e hemicelulose, além de genes de metano-oxidação. Em solos hipersalinos (CE ≥ 30 mS cm⁻¹), houve estímulo aos genes de fixação de carbono.

Ciclo do Nitrogênio: A salinidade promoveu a redução assimilatória de nitrato (36,70%), desnitrificação (26,66%), degradação de nitrogênio (19,72%) e fixação de nitrogênio (14,17%). Especificamente, solos hipersalinos estimularam genes de desnitrificação e redução assimilatória de nitrato.

Ciclo do Fósforo: A absorção/transporte de fósforo representou 56,89% dos processos, enquanto a dissolução de fósforo orgânico correspondeu a 37,63%. Solos salinos aumentaram a expressão de genes *phoA*, *ppx* e *gcd*, enquanto solos hipersalinos estimularam *phoD*, *phnP* e o sistema *pstA/B/C*.

Ciclo do Enxofre: A redução assimilatória de sulfato (36,34%) e as ligações entre transformações inorgânicas e orgânicas (41,72%) foram os processos dominantes. A maioria das vias do enxofre diminuiu com a salinidade, exceto genes adaptativos como *cysH*, *cysK*, *comS* e *comE*.

Os impactos da água salina no solo são multifacetados e interconectados, envolvendo alterações físico-químicas que se refletem em mudanças biológicas profundas. A compreensão destes processos é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de manejo sustentável em sistemas de irrigação com água de qualidade limitada, especialmente considerando-se os cenários de escassez hídrica crescente em regiões áridas e semiáridas.

Consequências da salinidade do solo na produção de forragens e animal

A salinidade do solo, decorrente do uso de águas salinas, representa um dos principais fatores limitantes da produção forrageira e animal, causando impactos significativos tanto na quantidade quanto na qualidade das forragens disponíveis.

Os efeitos deletérios da salinidade manifestam-se através da redução do crescimento vegetativo, com diminuição da altura das plantas, área foliar e produção de biomassa, sendo que níveis de salinidade superiores a $2,75 \text{ dS m}^{-1}$ podem provocar reduções de 21,6% na produção de matéria seca em culturas forrageiras como milho e sorgo (Silva et al., 2014). Em gramíneas forrageiras tropicais cultivadas em solos salino-sódicos, observa-se variação na produção de matéria verde de 18,6 a 115,1 t/ha por corte, dependendo da tolerância da espécie, evidenciando o impacto direto da salinidade na disponibilidade de alimento para os animais (Nunes Filho et al., 2008).

Efeitos da salinidade do solo nas plantas forrageiras

A salinidade do solo exerce efeitos profundos e complexos sobre o crescimento, desenvolvimento e produtividade das plantas forrageiras, manifestando-se através de múltiplos mecanismos de estresse que comprometem a capacidade produtiva das culturas. Os efeitos primários da salinidade incluem o estresse osmótico, a toxicidade iônica e o desequilíbrio nutricional, que atuam de forma sinérgica para reduzir o desempenho das plantas forrageiras (Mishra, et al., 2025).

O estresse osmótico representa o primeiro impacto da salinidade sobre as plantas, ocorrendo quando a concentração de sais no solo reduz o potencial hídrico da solução do solo, dificultando a absorção de água pelas raízes (Abebe e Tu, 2024). Esse fenômeno resulta em uma redução imediata da pressão de turgor celular, afetando processos fundamentais como a expansão celular, o crescimento foliar e a abertura estomática (Gullap et al., 2024). Em plantas forrageiras, o estresse osmótico manifesta-se inicialmente através da redução da taxa de crescimento, diminuição da área foliar e alterações na arquitetura da planta, com consequente impacto negativo na produção de biomassa.

A toxicidade iônica, particularmente relacionada ao acúmulo excessivo de íons sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-) nos tecidos vegetais, representa outro mecanismo crítico pelo qual a salinidade afeta as plantas forrageiras, onde o acúmulo desses íons interfere com processos metabólicos essenciais, incluindo a fotossíntese, a síntese de proteínas e o funcionamento de enzimas-chave (Flowers e Colmer, 2008).

O desequilíbrio nutricional induzido pela salinidade constitui um terceiro mecanismo de impacto, ocorrendo quando altas concentrações de Na^+ e Cl^- interferem na absorção e transporte de nutrientes essenciais como potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}). Essa interferência pode resultar em deficiências nutricionais mesmo quando esses elementos estão presentes em concentrações adequadas no solo (Munns e Tester, 2008). De acordo com os

mesmos autores, o desequilíbrio K^+/Na^+ é particularmente crítico, uma vez que o potássio desempenha funções vitais na regulação osmótica, ativação enzimática e manutenção da integridade das membranas celulares.

Estudo recente demonstra que os efeitos da salinidade sobre plantas forrageiras variam significativamente entre espécies e até mesmo entre cultivares da mesma espécie. Abebe e Tu (2024) relataram que algumas espécies forrageiras podem apresentar aumento no teor de proteína bruta sob condições de estresse salino moderado, enquanto outras sofrem reduções drásticas na produção de biomassa, e esta variabilidade na resposta sugere a existência de diferentes estratégias adaptativas e mecanismos de tolerância entre as espécies forrageiras.

A resposta temporal das plantas forrageiras à salinidade também apresenta características distintas. Inicialmente, as plantas podem apresentar uma fase de aclimatação, durante a qual ajustes fisiológicos e bioquímicos permitem a manutenção de funções vitais sob condições de estresse moderado; No entanto, com a exposição prolongada ou o aumento da intensidade do estresse salino, esses mecanismos adaptativos podem ser superados, resultando em declínio progressivo da produtividade e, em casos extremos, na morte das plantas (Grimoldi e Di Bella, 2024).

A magnitude dos efeitos da salinidade sobre plantas forrageiras é influenciada por diversos fatores ambientais e de manejo. A temperatura, umidade relativa, intensidade luminosa e disponibilidade de nutrientes no solo podem modular a resposta das plantas ao estresse salino; além disso, práticas de manejo como a frequência de irrigação, o método de aplicação da água e o uso de amendantes do solo podem atenuar ou exacerbar os efeitos negativos da salinidade (Qadir et al., 2014).

A tolerância à salinidade varia entre diferentes espécies forrageiras, refletindo adaptações evolutivas distintas e mecanismos fisiológicos específicos desenvolvidos ao longo de milhões de anos de evolução. Esta variabilidade intraespecífica e interespecífica representa uma oportunidade valiosa para a seleção e desenvolvimento de sistemas forrageiros mais resilientes em ambientes afetados pela salinidade (Shabala e Munns, 2022).

As leguminosas forrageiras, geralmente apresentam menor tolerância à salinidade em comparação com as gramíneas, embora existam exceções notáveis. A alfafa (*Medicago sativa*), considerada moderadamente tolerante à salinidade, pode manter produtividade razoável em solos com condutividade elétrica de 8-10 $dS.m^{-1}$, dependendo do cultivar e das condições de manejo (Grieve et al., 2012). Anower et al. (2013), em seu estudo identificaram variabilidade genética significativa dentro da espécie, com alguns cultivares apresentando tolerância superior através de mecanismos como a exclusão eficiente de sódio e a manutenção do equilíbrio K^+/Na^+ .

Algumas espécies, como o capim-bermuda (*Cynodon dactylon*), possuem glândulas de sal altamente eficientes que permitem a excreção ativa de íons tóxicos, mantendo concentrações internas de sódio e cloreto em níveis toleráveis (Pannell e Ewing, 2006). Outras

espécies dependem principalmente de mecanismos de compartimentalização, concentrando os íons tóxicos em vacúolos celulares ou em tecidos específicos, minimizando assim sua interferência com processos metabólicos essenciais.

As plantas halófitas representam uma alternativa promissora e sustentável para a produção forrageira em ambientes afetados pela salinidade, oferecendo soluções inovadoras para os desafios impostos pela crescente salinização dos solos agrícolas. Essas plantas, que evoluíram naturalmente em ambientes salinos, desenvolveram mecanismos sofisticados de tolerância que lhes permitem não apenas sobreviver, mas prosperar em condições que seriam letais para a maioria das culturas convencionais (Flowers e Colmer, 2015).

As halófitas são classificadas em diferentes categorias baseadas em seus mecanismos de tolerância à salinidade: euhalófitas, que requerem sal para crescimento ótimo; crinohalófitas, que excretam sal através de glândulas especializadas; e pseudohalófitas, que toleram sal, mas crescem melhor em condições não salinas (Glenn et al., 1999). O valor nutricional das halófitas forrageiras tem sido objeto de intensa investigação, revelando características interessantes que podem complementar dietas baseadas em forragens convencionais. Muitas halófitas apresentam teores elevados de proteína bruta, frequentemente superiores aos encontrados em gramíneas convencionais cultivadas sob condições não salinas (Masters et al., 2007). No entanto, o alto conteúdo de sal dessas plantas requer considerações especiais no manejo nutricional dos animais.

Alterações na composição nutricional das forrageiras

O estresse salino induz alterações significativas na composição nutricional das plantas forrageiras, afetando não apenas o conteúdo de macronutrientes como proteína bruta, fibra e carboidratos, mas também a concentração e disponibilidade de micronutrientes essenciais; Essas modificações têm implicações diretas para o valor nutritivo das forragens e, consequentemente, para o desempenho produtivo e reprodutivo dos animais que as consomem (Grattan e Grieve, 1998).

As alterações no conteúdo proteico das forragens sob estresse salino apresentam padrões complexos que variam entre espécies e intensidade do estresse. Gullap et al. (2024) observaram que o estresse salino pode resultar tanto em aumentos quanto em diminuições no teor de proteína bruta, dependendo da espécie forrageira e da severidade das condições salinas. Em alguns casos, o estresse moderado pode concentrar o nitrogênio nos tecidos vegetais devido à redução do crescimento, resultando em aumentos “aparentes” no conteúdo proteico. No entanto, sob condições de estresse severo, a síntese proteica é frequentemente comprometida, levando a reduções significativas na qualidade proteica das forragens.

A qualidade da proteína também é afetada pela salinidade, com alterações na composição de aminoácidos que podem impactar a eficiência de utilização pelos animais. O estresse salino pode induzir o acúmulo de aminoácidos específicos, como prolina e glicina

betaína, que funcionam como osmorreguladores, mas podem alterar o perfil aminoacídico geral da forragem (Slama et al., 2015).

As modificações no conteúdo de fibra representam outro aspecto crítico das alterações nutricionais induzidas pela salinidade. Abebe e Tu (2024) relataram que forragens cultivadas sob condições salinas frequentemente apresentam menores concentrações de fibra em detergente ácido (FDA) e fibra em detergente neutro (FDN), o que pode melhorar a digestibilidade aparente da forragem. Esta redução no conteúdo de fibra pode estar relacionada a alterações na lignificação e na estrutura da parede celular em resposta ao estresse salino.

No entanto, a interpretação dessas alterações na fibra deve ser cuidadosa, pois a redução no conteúdo de FDN e FDA pode não necessariamente indicar melhor qualidade nutricional se for acompanhada por reduções proporcionais na produção de biomassa (Abebe e Tu, 2024). A digestibilidade efetiva da forragem depende não apenas da composição química, mas também de fatores como taxa de passagem, consumo voluntário e interações com outros componentes da dieta (Van Soest, 1994).

O conteúdo mineral das forragens é profundamente afetado pela salinidade, com implicações significativas para o equilíbrio nutricional dos animais. Gullap et al. (2024) demonstraram que o conteúdo mineral em folhas e raízes de ervilha forrageira diminuiu sob estresse salino, exceto para as concentrações de sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-), que aumentaram, esta alteração no perfil mineral pode criar desequilíbrios nutricionais que requerem ajustes na suplementação mineral dos animais.

O acúmulo excessivo de sódio nas forragens representa uma preocupação particular, pois pode exceder as necessidades fisiológicas dos animais e potencialmente causar toxicidade. Ruminantes têm capacidade limitada de excretar sódio em excesso, e o consumo de forragens com alto teor de sódio pode resultar em desequilíbrios eletrolíticos, especialmente se o acesso à água de qualidade for limitado (NRC, 2001). Por outro lado, a redução na concentração de minerais essenciais como potássio, cálcio e magnésio pode exigir suplementação adicional para manter o desempenho animal adequado.

O conteúdo de vitaminas nas forragens também pode ser afetado pela salinidade. Aghaleh et al. (2009) em pesquisa avaliando o estresse salino, encontraram que ele pode reduzir a concentração de vitaminas hidrossolúveis, particularmente vitamina C e algumas vitaminas do complexo B, enquanto pode aumentar a concentração de carotenoides e outras vitaminas lipossolúveis como resposta ao estresse oxidativo (Aghaleh et al., 2009). Estas alterações podem ter implicações para animais dependentes de forragens como fonte primária de vitaminas.

As alterações na composição nutricional das forragens produzidas com água salina têm implicações profundas para o balanceamento de dietas animais, exigindo ajustes estratégicos de formulação para manter o desempenho produtivo e a saúde dos animais. A formulação de

dietas contendo forragens produzidas com água salina deve considerar primariamente o equilíbrio eletrolítico, particularmente a relação entre sódio, potássio e cloreto. Iritz et al. (2025) demonstraram que a salinidade da água potável influencia significativamente a ingestão de matéria seca e a produção de leite em vacas lactantes, com efeitos que se estendem além do simples fornecimento de água. O aumento do conteúdo de sódio nas forragens pode alterar o balanço eletrolítico da dieta, requerendo ajustes cuidadosos na suplementação mineral.

O conceito de diferença cátion-ânion dietética (DCAD) torna-se particularmente relevante ao se utilizar forragens com alto teor de sódio. A DCAD, calculada como $(\text{Na}^+ + \text{K}^+) - (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$, deve ser mantida dentro de faixas ótimas para diferentes categorias animais e estágios produtivos (Goff, 2018). De acordo com os mesmos autores forragens com alto conteúdo de sódio e cloreto podem resultar em valores de DCAD inadequados, afetando o equilíbrio ácido-base dos animais e, consequentemente, o desempenho produtivo.

Consequências para a produção animal

Os efeitos da salinidade sobre a qualidade nutricional das forragens são igualmente importantes. Mishra et al. (2025) observaram que o estresse salino pode alterar significativamente a composição química das plantas forrageiras, afetando não apenas o conteúdo de proteína bruta, mas também a digestibilidade da fibra e a concentração de minerais, e essas alterações têm implicações diretas para o valor nutritivo das forragens e, consequentemente, para o desempenho animal.

O consumo voluntário de forragens salinizadas representa um fator limitante importante. Norman et al. (2013) identificaram que o consumo voluntário pode ser restringido por altas concentrações de fibra indigestível, sal e minerais, além de compostos tóxicos como oxalato e nitrato. Hasnain et al. (2023) corroboram essa observação, indicando que o desequilíbrio mineral e a presença de toxinas constituem limitações significativas na alimentação animal com halófitas.

A composição de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) no rúmen também é afetada pelo consumo de forragens salinizadas. Abo Bakr et al. (2020) analisaram o desempenho nutricional de ovinos alimentados com silagem de plantas tolerantes ao sal, observando alterações no padrão de fermentação ruminal que podem influenciar a eficiência de conversão alimentar e encontraram que o desempenho produtivo dos animais sob condições de salinidade apresenta variações significativas dependendo da espécie animal, nível de salinidade e duração da exposição.

López et al. (2021) conduziram uma meta-análise revelando efeitos negativos significativos do consumo de água com alto teor de sal sobre a ingestão de matéria seca e desempenho produtivo em bovinos de corte, observando que os efeitos negativos são exacerbados quando os animais consomem água altamente salina.

O ganho de peso constitui um dos parâmetros mais sensíveis aos efeitos da salinidade. Yirga et al. (2024) demonstraram que níveis crescentes de salinidade da água (0, 10, 13,5 e 17 g.L⁻¹ de sólidos totais dissolvidos) em ovinos e caprinos resultaram em aumento no consumo e perda de água, redução na digestibilidade da matéria seca, mas não afetaram significativamente o consumo de ração, ganho de peso ou características termorregulatórias.

Contrariamente, Gabr et al. (2023) observaram que cordeiros consumindo água salina natural (2100 mg.L⁻¹ de sólidos totais dissolvidos) combinada com forragem de baixa qualidade apresentaram redução significativa no ganho médio diário (de 118 para 91,4 g/dia), evidenciando que a interação entre qualidade da forragem e salinidade da água pode potencializar os efeitos negativos.

O desempenho reprodutivo representa outro aspecto crítico afetado pela salinidade. Abdelnour et al. (2020) revisaram os efeitos de dietas ricas em sal sobre a saúde reprodutiva animal, identificando que a alta salinidade afeta negativamente o crescimento, órgãos reprodutivos, espermatogênese e regulação hormonal, reduzindo testosterona, FSH, LH e leptina. Os mesmos autores também identificaram que dietas ricas em sal promovem aumento significativo nos níveis de malondialdeído e atividade da superóxido dismutase nos testículos, indicando estresse oxidativo que pode ser exacerbado pela combinação de água e forragem salinizadas.

Estratégias como seleção de forragens tolerantes à salinidade, suplementação proteica e mineral direcionada, e o desenvolvimento de programas de adaptação gradual dos animais podem otimizar a utilização de recursos salinos, transformando limitações ambientais em oportunidades para produção animal sustentável em regiões áridas e semiáridas.

Considerações finais

O uso de água salina na produção animal representa uma estratégia necessária diante dos cenários de escassez hídrica. Contudo, seu uso apresenta desafios, como a degradação edáfica progressiva resultante da salinização, sodificação, interferência nos atributos físicos, químicos e biológicos dos solos, que repercute diretamente na qualidade e produtividade das forrageiras, impactando o desempenho animal.

A adoção de práticas preventivas e corretivas, como o monitoramento da qualidade da água, o uso de cultivares tolerantes, a melhoria da drenagem, o uso de emendantes orgânicos e minerais e a formulação de dietas específicas, torna-se essencial para garantir a viabilidade produtiva em ambientes salinizados.

REFERÊNCIAS

- Abdelnour, S. A., Abd El-Hack, M. E., Noreldin, A. E., Kamel, M., Ghoniem, A. M., Taniguchi, T., ... & Swelum, A. A. (2020). High salt diet affects the reproductive health in nimals: An overview. *Animals*, 10(4), 590. <https://doi.org/10.3390/ani10040590>
- Abdelsattar, M. M., Hussein, A. M. A., El-Ati, A., Afifi, M., Zanouny, A. I., El-Badry, M. O., & Mosaad, G. M. (2020). Impacts of saline water stress on livestock production: A review. *SVU-International Journal of Agricultural Sciences*, 2(2), 1-19. https://journals.ekb.eg/article_67635.html
- Abebe, H., & Tu, Y. (2024). Impact of salt and alkali stress on forage biomass yield, nutritive value, and animal growth performance: A comprehensive review. *Grasses*, 3(4), 355-368. <https://doi.org/10.3390/grasses3040026>
- Abo Bakr, S., Helal, H. G., Eid, E. Y., Ebeid, H. M., & Nasr, S. A. (2020). Nutritional performance of growing sheep fed silage of salt tolerant plants under South Sinai conditions. *Journal of Animal and Poultry Production*, 11(12), 535-541.
- Aghaleh, M., Niknam, V., Ebrahimzadeh, H., & Razavi, K. (2009). Salt stress effects on growth, pigments, proteins and lipid peroxidation in *Salicornia persica* and *S. europaea*. *Biologia Plantarum*, 53(2), 243-248. <https://doi.org/10.1007/s10535-009-0046-7>
- Anower, M. R., Mott, I. W., Peel, M. D., & Wu, Y. (2013). Comparison of salinity tolerance for selected forage grasses and legumes. *Crop Science*, 53(6), 2595-2608.
- Camelo, L. G. G. (2024). *Sodium Dynamics in Riparian Soils Impacted by Road Salt: Sorption Mechanisms and Land Use Controls*. Dissertação de mestrado, University of Toronto. Recuperado de <https://utoronto.scholaris.ca/bitstreams/e336fb65-73d3-4ebo-80d1-70e908024a9f/download>
- Corwin, D. L., & Yemoto, K. (2020). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *Soil Science Society of America Journal*, 84(5), 1442-1461. <https://doi.org/10.1002/saj2.20154>
- Demo, A. H., Gemedo, M. K., Abdo, D. R., Daba, C. C., & Gebremedhin, H. (2025). Impact of soil salinity, sodicity, and irrigation water salinity on crop production and coping mechanism in areas of dryland farming. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 8(1), e70072. <https://doi.org/10.1002/agg2.70072>
- Ding, B., Bai, Y., Guo, S., He, Z., Wang, B., Liu, H., Zhai, J., Cao, Y., Li, Z., Ma, L., Zhang, Z., Zhao, Y., & Wei, T. (2023). Effect of irrigation water salinity on soil characteristics and microbial communities in cotton fields in southern Xinjiang, China. *Agronomy*, 13(7), 1679. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071679>

- El-Ramady, H., Prokisch, J., Mansour, H., Bayoumi, Y. A., Shalaby, T. A., Szczygłowska, M., Piotrowski, K., Gohari, G., Mohamadi, A. A., Fawzy, Z. F., Brevik, E. C., & Solberg, S. Ø. (2024). Review of crop response to soil salinity stress: Possible approaches from leaching to nano-management. *Soil Systems*, 8(1), 11. <https://doi.org/10.3390/soilsystems8010011>
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2011). *Manual de métodos de análise de solo* (2^a ed.). Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos.
- Flowers, T. J., & Colmer, T. D. (2008). Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist*, 179(4), 945-963. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02531.x>
- Flowers, T. J., & Colmer, T. D. (2015). Plant salt tolerance: adaptations in halophytes. *Annals of Botany*, 115(3), 327-331. <https://doi.org/10.1093/aob/mcu267>
- Gabr, A. A., Farag, M. E., Shahin, G. F., Gado, H. M., & Salem, A. Z. M. (2023). Impact of protein supply on the productive performance of growing lambs drinking natural saline water and fed low-quality forage under semi-arid conditions. *Tropical Animal Health and Production*, 55(1), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03462-1>
- Glenn, E. P., Brown, J. J., & Blumwald, E. (1999). Salt tolerance and crop potential of halophytes. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 18(2), 227-255. <https://doi.org/10.1080/07352689991309207>
- Goff, J. P. (2018). Invited review: Mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid-base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. *Journal of Dairy Science*, 101(4), 2763-2813. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13112>
- Grattan, S. R., & Grieve, C. M. (1998). Salinity–mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 78(1-4), 127-157. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(98\)00192-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(98)00192-7)
- Grieve, C. M., Grattan, S. R., & Maas, E. V. (2012). Plant salt tolerance. *Agricultural Salinity Assessment and Management*, 405-459. <https://doi.org/10.1061/9780784411698.ch13>
- Grimoldi, A. A., & Di Bella, C. E. (2024). Forage plant ecophysiology under different stress conditions. *Plants*, 13(10), 1302. <https://doi.org/10.3390/plants13101302>
- Gullap, M. K., Karabacak, T., Severoglu, S., Ekinci, M., & Yildirim, E. (2024). Biochar derived from olive oil pomace mitigates salt stress on seedling growth of forage pea. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1398846. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1398846>
- Hasnain, M., Abideen, Z., Ali, F., Hasanuzzaman, M., Zulfiqar, F., Alam, M. M., ... & Nielsen, B. L. (2023). Potential of halophytes as sustainable fodder production by using saline resources: A review of current knowledge and future directions. *Plants*, 12(11), 2150. <https://doi.org/10.3390/plants12112150>

- Iritz, A., Espinoza, D., Taye, M. G., Salhab, F., Portnik, Y., Moallem, U., & Ben Meir, Y. A. (2025). Effect of drinking water salinity on lactating cows' water and feed intake, milk yield, and rumen physiology. *Animal*, 19(2), 101389. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101389>
- Khondoker, M., Mandal, S., Gurav, R., & Hwang, S. (2023). Freshwater shortage, salinity increase, and global food production: A need for sustainable irrigation water desalination—A scoping review. *Earth*, 4(2), 12. <https://doi.org/10.3390/earth4020012>
- Kisekka, I. (2024). *Developing a New Foundational Understanding of SAR-Soil Structure Interactions for Improved Management of Agricultural Recycled Water Use*. eScholarship, University of California. Recuperado de <https://escholarship.org/content/qt7ds618gn/qt7ds618gn.pdf>
- Kumar, P., & Sharma, P. K. (2020). Soil salinity and food security in India. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 533781. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.533781>
- Li, J., Li, W., Feng, X., Liu, X., Guo, K., Fan, F., Liu, S., & Jia, S. (2024). Soil organic matter input promotes coastal topsoil desalinization by altering the salt distribution in the soil profile. *Agronomy*, 14(5), 942. <https://doi.org/10.3390/agronomy14050942>
- Li, Y., Li, W., Jiang, L., Li, E., Yang, X., & Yang, J. (2024). Salinity affects microbial function genes related to nutrient cycling in arid regions. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1407760. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1407760>
- López, A., Arroquy, J. I., Hernández, O., Wall, E. H., & DiCostanzo, A. (2021). A meta-analytical evaluation of the effects of high-salt water intake on beef cattle. *Journal of Animal Science*, 99(8), skab215. <https://doi.org/10.1093/jas/skab215>
- Ma, L., Li, Y., Zeng, T., Feng, S., & Abuduwaili, J. (2024). Assessing surface water quality for sustainable irrigation in Tarim Basin: A study in the summer irrigation period. *Applied Water Science*, 14(8), 162. <https://doi.org/10.1007/s13201-024-02216-0>
- Mahdee, H. S. (2025). Assessment of Hydraulic conductivity in Iraqi soils (Articular review). *Dijlah Journal of Agricultural Sciences*, 1(1), 15-29. Recuperado de <https://djas.uowasit.edu.iq/index.php/djas/article/download/163/143>
- Masters, D. G., Benes, S. E., & Norman, H. C. (2007). Biosaline agriculture for forage and livestock production. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 119(3-4), 234-248.
- Mishra, U. N., Chauhan, J., Singhal, R. K., Anuragi, H., Dey, P., Lal, D., Pandey, S., Gupta, N. K., Nayak, J. K., & Sajeevan, R. S. (2025). Abiotic stress responses in forage crops and grasses: the role of secondary metabolites and biotechnological interventions. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1542519. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1542519>
- Moradi, F., Amirinejad, A. A., & Ranjbar, F. (2024). Impacts of Different Amendments and Water Qualities on Soluble and Exchangeable Phases and Hydraulic Conductivity of a

- Calcareous Soil. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 21, 7087-7102. <https://doi.org/10.1007/s41742-024-00600-x>
- 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>
- National Research Council. (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle*. National Academies Press.
- Norman, H. C., Masters, D. G., & Barrett-Lennard, E. G. (2013). Halophytes as forages in saline landscapes: Interactions between plant genotype and environment change their feeding value to ruminants. *Environmental and Experimental Botany*, 92, 96-109. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.07.003>
- Nunes Filho, J., Sá, V. A. L., Sousa, A. R., Ferraz, L. G. B., Tabosa, J. N., Santos, V. F., Silva, A. B. (2008). Gramíneas forrageiras tropicais em solo salino-sódico, sob irrigação no vale do rio Moxotó - Pernambuco. *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*, 14 (especial), 19-24.
- Omar, M. M., Massawe, B. H. J., Shitindi, M. J., Mpanda, M. M., Kimaro, D. N., Kihupi, N. I., ... & Wickama, J. M. (2024). Assessment of salt-affected soil in selected rice irrigation schemes in Tanzania: Understanding salt types for optimizing management approaches. *Frontiers in Soil Science*, 4, 1372838. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2024.1372838>
- Omuto, C. T., Kome, G. K., Ramakhnna, S. J., Muzira, N. M., Ruley, J. A., Jayeoba, O. J., Raharimanana, V., Ansah, A. O., Khamis, N. A. ... & Nyamai, N. (2024). Trend of soil salinization in Africa and implications for agro-chemical use in semi-arid croplands. *Science of The Total Environment*, 951, 175503. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175503>
- Pannell, D. J. & Ewing, M. A. (2006). Managing secondary dryland salinity: Options and challenges. *Agricultural Water Management*, 80(1-3), 132-146. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.003>
- Qadir, M., Quillérou, E., Nangia, V., Murtaza, G., Singh, M., Thomas, R. J., Drechsel, P., & Noble, A. D. (2014). Economics of salt-induced land degradation and restoration. *Natural Resources Forum*, 38(4), 282-295. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12054>
- Saffan, M. M., El-Henawy, A. S., Agezo, N. A., & Abd El-Hakeem, S. S. (2024). Effect of irrigation water quality on chemical and physical properties of soils. *Egyptian Journal of Soil Science*, 64(1). Disponível em: https://journals.ekb.eg/article_367086.html
- Shabala, S., & Munns, R. (2022). Salinity stress: physiological constraints and adaptive mechanisms. *Plant Stress Physiology*, 59-93. <https://doi.org/10.1079/9781845939953.0059>

- Shokri, N., Hassani, A., & Sahimi, M. (2024). Multi-scale soil salinization dynamics from global to pore scale: A review. *Reviews of Geophysics*, 62(1), e2023RG000804. <https://doi.org/10.1029/2023RG000804>
- Silva, J. L. de A., Medeiros, J. F. de, Alves, S. S. V., Oliveira, F. 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(Suplemento), 66–72.
- Slama, I., Abdelly, C., Bouchereau, A., Flowers, T., & Savouré, A. (2015). Diversity, distribution and roles of osmoprotective compounds accumulated in halophytes under abiotic stress. *Annals of Botany*, 115(3), 433–447. <https://doi.org/10.1093/aob/mcu239>
- Stavi, I., Thevs, N., & Priori, S. (2021). Soil salinity and sodicity in drylands: A review of causes, effects, monitoring, and restoration measures. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 712831. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.712831>
- Tulu, D., Hundessa, F., Gadissa, S., Eshetu, M., & Muleta, D. (2024). Review on the influence of water quality on livestock production in the era of climate change: perspectives from dryland regions. *Cogent Food & Agriculture*, 10(1), 2306726. <https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2306726>
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant*. Cornell University Press.
- Vranešević, M., Zemunac, R., Grabić, J., & Salvai, A. (2024). Hydrochemical characteristics and suitability assessment of groundwater quality for irrigation. *Applied Sciences*, 14(2), 615. <https://doi.org/10.3390/app14020615>
- Yirga, H., Urge, M., Goetsch, A. L., Tolera, A., Puchala, R., Tsukahara, Y., ... & Sahlu, T. (2024). Effects of salinity levels of drinking water on water intake and loss, feed utilization, body weight, thermoregulatory traits, and blood constituents in growing and mature Blackhead Ogaden sheep and Somali goats. *Animals*, 14(11), 1565. <https://doi.org/10.3390/ani14111565>