



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA
MESTRADO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

DIEGO JOSÉ DA COSTA BANDEIRA

**USO DE EFLUENTE DA INDÚSTRIA SALINEIRA: DESEMPENHO FISIOLÓGICO
DO SORGO FORRAGEIRO E INTER-RELAÇÕES NOS ATRIBUTOS DOS SOLOS**

MOSSORÓ

2025

DIEGO JOSÉ DA COSTA BANDEIRA

**USO DE EFLUENTE DA INDÚSTRIA SALINEIRA: DESEMPENHO FISIOLÓGICO
DO SORGO FORRAGEIRO E INTER-RELAÇÕES NOS ATRIBUTOS DOS SOLOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Modelagem Ambiental e Manejo do Solo e Água.

Orientadora: Jeane Cruz Portela, Prof^ª. Dra.

MOSSORÓ

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

B214u Bandeira, Diego José da Costa.
 USO DE EFLUENTE DA INDÚSTRIA SALINEIRA:
 DESEMPENHO FISIOLÓGICO DO SORGO FORRAGEIRO E INTER-
 RELAÇÕES NOS ATRIBUTOS DOS SOLOS / Diego José da
 Costa Bandeira. - 2025.
 59 f. : il.

 Orientadora: Jeane Cruz Portela.
 Coorientador: Rafael Oliveira Batista.
 Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
 Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
 Manejo de Solo e Água, 2025.

 1. Sorghum bicolor (L.) Moench. 2. Economia
 Circular. 3. Multivariada. 4. Salinas solares. I.
 Cruz Portela, Jeane, orient. II. Oliveira
 Batista, Rafael, co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

DIEGO JOSÉ DA COSTA BANDEIRA

**USO DE EFLUENTE DA INDÚSTRIA SALINEIRA: DESEMPENHO FISIOLÓGICO
DO SORGO FORRAGEIRO E INTER-RELAÇÕES NOS ATRIBUTOS DOS SOLOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Modelagem Ambiental e Manejo do Solo e Água.

Defendida em: 30/04/ 2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **JEANE CRUZ PORTELA**
Data: 19/06/2025 11:39:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Jeane Cruz Portela, Prof^a. Dra. (UFERSA)
Presidente

Documento assinado digitalmente
 **RAFAEL OLIVEIRA BATISTA**
Data: 19/06/2025 17:21:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rafael Oliveira Batista, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
 **JOAQUIM EMANUEL FERNANDES GONDIM**
Data: 19/06/2025 12:55:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Joaquim Emanuel Fernandes Gondim, Prof. Dr. (UVA)
Membro Examinador Externo

Documento assinado digitalmente
 **JUSSIARA SONALLY JACOME CAVALCANTE**
Data: 19/06/2025 19:39:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Jussira Sonally Jacome Cavalcante, Pesquisadora Dra. (INSA)
Membro Examinador Externo

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus, pela minha saúde, pelas bençãos e proteção, por estar ao meu lado nos momentos mais difíceis da minha vida, e mostrando que através da fé somos mais fortes.

Ao meu pai, Paulo Arlindo Bandeira que sempre tive exemplo, obrigado pelos ensinamentos, apoio, compreensão, amor e carinho. Tenho a certeza que o senhor estar sempre ao meu lado e no meu coração, Saudades eternas.

A minha mãe, Maria das Graças da Costa Bandeira que é o meu porto seguro, obrigado pela confiança, incentivo, compreensão, apoio e amor. Sem a senhora nada disso seria possível.

A minha irmã, Patrícia Luana da Costa Bandeira, por estar sempre ao meu lado me dando apoio.

A minha avó, Zolene Marques da Costa Freitas, que sempre apoiou e incentivou nos meus estudos, sem os ensinamentos dela eu não seria o homem que sou hoje.

Aos meus tios Rozildo Junior e Rosimar que são como pais, por todo apoio e ensinamentos.

A minha prima Thycianne Suelen de Almeida Freitas, por todo apoio e incentivo durante esse período.

A toda a minha família, que é meu suporte diário, sem eles nada disso seria possível.

A minha namorada, Najila Maria Nunes de Almeida pelo apoio, companheirismo, compreensão amor e carinho. Você é uma benção que Deus colocou em minha vida.

A minha orientadora, Jeane Cruz Portela, pela paciência, incentivo, motivação, disponibilidade, dedicação e competência, sem ela eu não teria ingressado no mestrado. Uma mulher que inspira a todos ao seu redor pela profissional competente, com sua amorosidade e dedicação, agradeço toda ajuda no processo de elaboração deste trabalho.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), por fornece toda a infraestrutura, e suporte para que eu concluísse mais uma etapa importante na minha vida. A todos os docentes e discentes do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água (PPGMSA) pelos ensinamentos ao longo do mestrado. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por todo auxílio financeiro.

Ao parceiro do projeto Gustavo Sena, por toda confiança, apoio e incentivo a pesquisa.

Ao professor, Rafael Oliveira Batista, pela disponibilidade, confiança, competência e assistência prestada durante essa caminhada. Pelo exemplo de profissional, admirado por todos, agradeço a assistência prestada no decorrer do nosso projeto e na elaboração deste trabalho.

A Joaquim Emanuel Fernandes Gondim, por todo apoio, assistência e ensinamentos ao longo dessa caminhada. Você merece tudo de melhor na sua vida.

Ao professor, Blake Charles, por toda ajuda durante a condução do experimento

Aos meus colegas de trabalho, Paulo Jardel, Antonio Genilson, Geisiane Xavier, Claudeone Manoel, Davison, Rodrigo, Maria Clara, obrigado por toda ajuda durante essa caminhada.

A todos os agricultores que tive o prazer de visitar durante os trabalhos de campo, obrigado por todo carinho, gentileza e ensinamentos.

Aos técnicos de laboratório Antonio Carlos, Paula Romyne, Simone Cristina, Maria Valdete, Ana Kaline, por todo suporte, incentivo e ajuda durante a realização das minhas análises.

Agradeço a Iraneire Soares, Alfran de Souza, Ana Kelia, por toda ajuda e carinho que tiveram comigo durante esse período.

A banca examinadora pelas contribuições com objetivo de melhorar o trabalho.

RESUMO GERAL

As salinas solares geram grandes volumes de águas residuárias tendo teores expressivos de macro e micronutrientes que atendem a demanda nutricional do sorgo forrageiro. A técnica da diluição aliada ao reúso agrícola mitiga os impactos negativos nas plantas e nos atributos físico-hídricos e químicos do solo. Diante o exposto, objetivou-se com o presente trabalho analisar os efeitos de diluições da água residuária de salineira solar em água de chuva nos atributos físico-hídricos e químicos do solo e nos índices fisiológicos do sorgo forrageiro no semiárido potiguar. Os ensaios experimentais foram conduzidos na Unidade Experimental de Reúso de Água (UERA) pertencente à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) em Mossoró-RN, instalado em delineamento em blocos inteiramente casualizados, com cinco repetições, e os fatores arranjados em esquema fatorial 5 x 2. Onde os valores da condutividade elétrica da água de irrigação foram norteados pelo padrão de 3,0 dS m⁻¹ da legislação de reúso agrícola vigente. O fator 1 foi representado pelas diluições de água residuária de salineira solar em água de chuva: D1,5 - água residuária de salineira solar em água de chuva, tendo 1,5 dS m⁻¹; D3,0 - água residuária de salineira solar em água de chuva, tendo 3,0 dS m⁻¹; D4,5 - água residuária de salineira solar em água de chuva, tendo 4,5 dS m⁻¹; D6 - água residuária de salineira solar em água de chuva, tendo 6,0 dS m⁻¹; e DT - água de chuva (Testemunha). O fator 2 foi representado por duas classes de solos representativos do semiárido brasileiro (Neossolo Flúvico e o Latossolo Vermelho). O sorgo forrageiro, variedade Ponta Negra, foi cultivado em 50 vasos de 20 L, irrigados duas vezes por semana com as cinco diluições. Após 90 dias do plantio foram avaliados os atributos físico-hídricos, químicos do solo e os índices fisiológicos do sorgo forrageiro. Às análises de solo foram submetidas à análise multivariada, empregando-se a matriz de correlação de Pearson, as análises dos componentes principais e análise fatorial, e as leituras dos índices fisiológicos foram submetidos ao programa de análise estatística SISVAR. Por meio da ACP foi feita a discriminação dos atributos do solo e as diluições. As variáveis IF, PMP, macroporos, Mn, (H+Al), PST, CE, Fe, Na⁺ discriminou o Latossolo nas diluições CE 3,0 e 4,5 dS m⁻¹; silte e Mg²⁺ discriminaram o Latossolo CE 6,0 dS m⁻¹, COT, Ds; argila e ADA discriminaram o Latossolo CE 1,5 dS m⁻¹ e CC discriminou a testemunha. As variáveis pH, P, areia, Ca²⁺, K⁺, CTC discriminaram o Neossolo nas diluições CE 1,5, 3,0 e 4,5 dS m⁻¹. A microporosidade e a saturação por bases discriminaram a diluição CE 6,0 dS m⁻¹ no Neossolo. O N, Zn, Co e AD discriminaram a testemunha na classe do Neossolo. Os índices fisiológicos do sorgo forrageiro apresentaram variações nos resultados, não sendo possível afirmar que a salinidade é o único fator que está gerando variabilidade ou efeito sobre as variáveis. O Neossolo apresentou nas baixas tensões, maior retenção de água com as diluições com maior nível de salinidade. Latossolo apresentou, maior retenção de água no solo nas diluições com menor nível de salinidade.

Palavras-chaves: *Sorghum bicolor* (L.) Moench; Economia Circular; Multivariada; Salinas solares.

GENERAL ABSTRACT

Solar salt pans generate large volumes of wastewater with significant levels of macro and micronutrients that meet the nutritional demand of forage sorghum. The dilution technique combined with agricultural reuse mitigates the negative impacts on plants and on the physical-hydraulic and chemical attributes of the soil. Given the above, the objective of this research project is to analyze the effects of diluting wastewater from solar salt pans in rainwater on the physical-hydraulic and chemical attributes of the soil and on the physiological indices of forage sorghum. The experimental tests were conducted at the Experimental Unit for Water Reuse (UERA) belonging to the Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) in Mossoró-RN, installed in a completely randomized block design, with five replications, and the factors arranged in a 5 x 2 factorial scheme. Where the values of the electrical conductivity of the irrigation water will be guided by the standard of 3.0 dS m⁻¹ of the current agricultural reuse legislation. Factor 1 was represented by the dilutions of wastewater from solar saline in rainwater: a) D1.5 - wastewater from solar saline in rainwater, having 1.5 dS m⁻¹; b) D3.0 - wastewater from solar saline in rainwater, having 3.0 dS m⁻¹; c) D4.5 - wastewater from solar salt works in rainwater, with 4.5 dS m⁻¹; d) D6 - wastewater from solar salt works in rainwater, with 6.0 dS m⁻¹; and e) DT - rainwater (Control). Factor 2 was represented by two classes of soils representative of the Brazilian semiarid region (Fluvisols and Ferrasol Red). Forage sorghum, Ponta Negra variety, was grown in 50 20 L pots, irrigated twice a week with the five dilutions. 90 days after planting, the physical-hydric and chemical attributes of the soil and the physiological indices of forage sorghum were evaluated. Soil analyses were subjected to multivariate analysis, using Pearson's correlation matrix, principal component analysis and factor analysis, and the readings of physiological indices were submitted to the SISVAR statistical analysis program. Through PCA, the discrimination of soil attributes and dilutions was performed. The variables IF, PMP, macroporosity, Mn, (H+Al), PST, CE, Fe, Na⁺ discriminated the Ferrasol in the dilutions EC 3.0 and 4.5 dS m⁻¹; silt and Mg²⁺ discriminated the Ferrasol EC 6.0 dS m⁻¹; TOC, Ds, clay and ADA discriminated the Ferrasol CE 1.5 dS m⁻¹ and CC discriminated the control. The variables pH, P, sand, Ca²⁺, K⁺ and CEC discriminated the Fluvisols in the dilutions EC 1.5, 3.0 and 4.5 dS m⁻¹. Microporosity and base saturation discriminated the dilution EC 6.0 dS m⁻¹ in the Fluvisols. N, Zn, Co and AD discriminated the control in the Fluvisols class. The physiological indices of forage sorghum showed variations in the results, and it is not possible to state that salinity is the only factor generating variability or effect on the variables. The Fluvisols showed greater water retention at low tensions with dilutions with higher salinity levels. The Ferrasol showed greater water retention in the soil in dilutions with lower salinity levels.

Keywords: *Sorghum bicolor* (L.) Moench; Circular Economy; Multivariate. Solar salt pans.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa da localização do Brasil, Estado do Rio Grande do Norte, município de Mossoró e o local do experimento.	1
Figura 2. Mapa da localização do Brasil, Estado do Rio Grande do Norte, município de Mossoró e os pontos de coleta de solos utilizados no experimento.	1
Figura 3. Croqui da área experimental com a disposição dos blocos e respectivos tratamentos.	1
Figura 4. Distribuição dos vasos em campo com as respectivas classes de solos, com uso de efluente da indústria salineira.	1
Figura 5. Imagem do <i>Sorghum bicolor</i> L. Moench, irrigado com diluições de efluente da indústria salineira.	1
Figura 6. Distribuição das variáveis no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos (B) que representa a relação entre os fatores 1 e 2.	1
Figura 7. Índices fisiológicos transpiração-E(A), déficit pressão de vapor-VPD (B), condutância estomática-gs (C) e taxa de fotossíntese líquida-A (D) do sorgo forrageiro em função da condutividade elétrica.	1
Figura 8. Índices fisiológicos concentração interna de carbono – Ci (A), uso eficiente da água-EUA (B), eficiência instantânea de carboxilação - EiC (C) e eficiência instantânea no uso da água-EiUA (D) do sorgo forrageiro em função da condutividade elétrica.	1
Figura 9. Curva de retenção de água no solo do Latossolo e Neossolo.	1
Figura 10. Curvas de retenção de água no solo do Neossolo (A) e Latossolo (B) e seus respectivos tratamentos.	1
Figura 11. Curvas de retenção de água no solo das testemunhas.	1

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização dos atributos físicos e químicos	1
Tabela 2. Condução do experimento	1
Tabela 3. Médias dos atributos físico-químicos das diluições de água residuária da indústria salineira em água de chuva, Mossoró-RN.	1
Tabela 4. Matriz de correlação linear de Pearson entre os atributos físicos, químicos, estruturais e hídrico dos tratamentos aplicados nos solos.	1
Tabela 5. Eixos fatoriais extraídos e rotacionados pelo método Varimax cujas cargas fatoriais $\geq 0,70$ foram consideradas significativas.	1
Tabela 6. Análise de variância dos índices fisiológicos do sorgo Ponta Negra.	1
Tabela 7. Média dos atributos químicos do Latossolo e seus respectivos tratamentos.	1
Tabela 8. Média dos atributos químicos do Neossolo e seus respectivos tratamentos.	1
Tabela 9. Parâmetros das curvas de retenção de água no solo, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, água disponível e coeficiente de determinação da regressão dos solos utilizados no experimento, Mossoró-RN.	1
Tabela 10. Parâmetros das curvas de retenção de água no solo, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, água disponível e coeficiente de determinação da regressão dos solos utilizados no experimento, Mossoró-RN.	1

Sumário

1. INTRODUÇÃO GERAL	13
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16
2. ARTIGO 1: USO AGRÍCOLA DE ÁGUA E NUTRIENTES DO EFLUENTE DA INDÚSTRIA SALINEIRA NO SEMIÁRIDO POTIGUAR: INTER-RELAÇÕES DOS ATRIBUTOS DO SOLO E ÍNDICES FISIOLÓGICOS DO SORGO FORRAGEIRO	21
RESUMO	21
1. INTRODUÇÃO	23
2. MATERIAL E MÉTODOS	25
2.1 Descrição do local	25
2.2 Descrição dos locais de coleta dos solos utilizados nos ensaios experimentais	25
2.3 Obtenção da água residuária de salineira solar e da água de chuva utilizado no	27
experimento	27
2.4 Croqui do delineamento experimental	27
2.5 Caracterização do Latossolo Vermelho e Neossolo Flúvico	28
2.6 Montagem do experimento e manejo das irrigações	28
2.7 Condução do experimento	30
2.8 Caracterização química da água de chuva, água residuária da salineira solar, e das cinco diluições de água residuária de salineira solar em água de chuva	32
2.9 Coleta e preparo das amostras de solo	33
3. Análises físico-hídricas e estruturais	33
3.1 Análise granulométrica, argila dispersa em água e índice de floculação	33

3.1.2 Densidade do solo	34
3.1.3 Macroporosidade, microporosidade e porosidade total	34
3.1.4 Curva de retenção de água no solo	35
3.1.5 Índices fisiológicos do sorgo forrageiro	36
4. Análises químicas	37
5. Análise estatística	37
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
6.1 Matriz de correlação	37
6.2 Análise fatorial	41
6.3 Análise de Componentes Principais	43
6.5 Índices fisiológicos do sorgo forrageiro	44
6.6 Atributos químicos do solo	48
6.7 Retenção de água no solo	50
7. CONCLUSÕES	53
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

1. INTRODUÇÃO GERAL

O sal marinho obtido pela evaporação de água salgada de lagoas e do mar, formado principalmente por cloreto de sódio (NaCl), é considerado elemento indispensável para diversos setores da indústria química, metalúrgica, agrícola, farmacêutica e alimentícia, sendo, portanto, matéria-prima para múltiplas atividades econômicas (Andrade, 2018; Fernandes *et al.*, 2022; Kilic; Kilic, 2005; Nowak *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2020).

A produção mundial anual de sal-gema e sal por evaporação é estimada em 290 Mt, tendo a China como líder mundial em termos de produção de sal, com 64Mt de sal produzidas em 2022 (STATISTA, 2023). Já a produção nacional de sal-gema e sal por evaporação é estimada em 7,4Mt (1,4Mt de sal gema e 6,0Mt de sal por evaporação) responde por 2,94% da produção mundial; ressalta-se, também, que o estado do Rio Grande do Norte no cenário nacional, permanece na liderança absoluta com 5,8Mt, tendo 77% da produção total de sal do país e de 95,3% da produção brasileira de sal por evaporação (BRASIL, 2019; Camara, 2021; Diniz; Vasconcelos, 2017).

A produção do sal marinho em salinas solares é dos pilares da economia na região semiárida do estado do Rio Grande do Norte (Rocha *et al.*, 2012) que oferece condições climáticas favoráveis à indústria salineira tais como alto índice de insolação, baixa umidade relativa do ar, ventos constantes e precipitações pluviais concentradas em um curto período do ano, além da predominância de solo argiloso impermeável que favorece a permanência de grandes áreas inundadas (Diniz; Vasconcelos; Martins, 2015; Diniz; Vasconcelos, 2016; Diniz; Vasconcelos, 2017; Diniz; Vasconcelos, 2019; Silva *et al.*, 2023).

O método mais tradicional de produção de sal consiste na evaporação solar, onde a água do mar é represada em diques de argila, formando lagoas salinas que ficam expostas à ação do sol e do vento até que, gradativamente, por ação da gravidade ou através do uso de motobombas, a água com salinidade inicial de 35g L^{-1} circule entre os tanques evaporadores, concentra e cristaliza até o ponto de supersaturação do cloreto de sódio (Costa *et al.*, 2014; Fernandes *et al.*, 2020; Rocha *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2017). A produção de sal por evaporação solar é um processo econômico com pegada de carbono insignificante (Honmane *et al.*, 2018). No estado do Rio Grande do Norte, salineiras solares utilizam de 30 a 60 m³ de água do estuário para a produção de uma tonelada de sal por evaporação (Costa *et al.*, 2015).

A água residuária de salineira solar (ARSS) é uma fonte rica em muitos produtos químicos, particularmente cloretos e sulfatos de sódio, potássio e magnésio, bem como bromo,

que podem ser recuperados e utilizados como fertilizantes agrícolas, o que minimiza impactos ambientais e tem efeito positivo neste tipo de empreendimento (Bastos *et al.*, 2017; Marx *et al.*, 2019). Destaca-se que o magnésio foi listado entre as 30 matérias-primas críticas na União Europeia, e que nos últimos anos, têm sido procuradas muitas fontes alternativas verdes e sustentáveis (Battaglia *et al.*, 2022).

Os íons que se apresentam em maiores concentrações tanto na água do mar quanto na ARSS são: Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , K^+ e Br^- (Honmane *et al.*, 2018). Na ARSS, a concentração de elementos químicos aumenta de 20 a 40 vezes em relação à água do mar, nestas águas são encontrados compostos valiosos como o lítio (Li), estrôncio (Sr), rubídeo (Rb) e boro (B) e elementos traço tais como célio (Cs), cobalto (Co), índio (In), escândio (Sc), gálio (Ga) e germânio (Ge) (Valles *et al.*, 2023; Vicari *et al.*, 2022).

A adição de ARSS como fonte de magnésio em água residuária da indústria de pigmentos rica em nitrogênio e fósforo possibilita a precipitação da estruvita que dá origem ao fosfato de magnésio e amônio (Sanghavi *et al.*, 2020). Também é possível recuperar da ARSS brometo, juntamente com o cloreto de potássio, cloreto de sódio, gesso, hidróxido de magnésio e cloreto de magnésio (Dave; Ghosh, 2005).

A salinização é um dos problemas que mais contribuem para degradação do solo na região árida e semiárida do Brasil (Pessoa *et al.*, 2022). Em condições naturais ou por meio da ação antrópica, o acúmulo de sais no solo geralmente resulta da formação geológica predominante, distribuição irregular das chuvas, altas taxas de evaporação, drenagem deficiente e manejo inadequado do solo (Akça *et al.*, 2020; Castro; Santos, 2020; Pedrotti *et al.*, 2015).

O estresse salino induzido pelo NaCl é um dos fatores ambientais que mais afeta o crescimento das plantas, reduz a produtividade das culturas, diminui o potencial osmótico, provoca toxicidade e reduz a absorção de nutrientes essenciais para desenvolvimento das culturas (Ali *et al.*, 2022; Farhangi-Abriz; Ghasemi-Golezani, 2018). A falta de práticas de manejo e conservação do solo, resulta no aumento nos processos de degradação do solo, afetando diretamente a quantidade e qualidade das culturas, e promove alterações nos atributos físicos, químico e nos índices fisiológicos da cultura (Brito *et al.*, 2020; Pessoa *et al.*, 2016; Pessoa *et al.*, 2022; Vieira *et al.*, 2014).

O aproveitamento agrícola da ARSS, principalmente como fonte de nutrientes para plantas, é uma alternativa que insere a indústria salineira solar no ramo da economia circular, por mitigar impactos ambientais e potencializar o uso dos recursos hídricos e minerais (Bagastyo *et al.*, 2021; Bellver-Domingo; Hernández-Sancho, 2022; Chen *et al.*, 2021). No

Brasil, a irrigação é o setor produtivo que mais consome água (53,7%) (BRASIL, 2024) e nos últimos anos, tanto os preços dos fertilizantes agrícolas quanto a insegurança alimentar aumentaram consideravelmente (Ben Hassen; El Bilali, 2022), fatores que esses estimulam o reúso agrícola de ARSS, principalmente nas regiões áridas e semiáridas.

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) originário da África (Albuquerque *et al.*, 2017; Bhattarai *et al.*, 2019) é uma cultura que se destaca como alternativa ao milho devido a menor exigência em fertilidade do solo e maior tolerância ao déficit hídrico e aos teores de Na^+ e Cl^- (Fardin *et al.*, 2023; Getachew *et al.*, 2016). Entre os tipos de sorgo estão o granífero, forrageiro e sacarino, que diferem na altura da planta e no valor nutricional (Martinkoski; Vogel, 2013; Behling *et al.*, 2017; Kothari *et al.*, 2019; Costa *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2023).

Normalmente, o sorgo forrageiro é utilizado como feno de corte único, pastejo direto, mas principalmente como silagem, em relação à silagem de milho apresenta as seguintes vantagens: Rendimento de biomassa e teor de proteínas semelhante ao do milho, tem alta eficiência no uso da água, maior capacidade de tolerar o estresse térmico e hídrico, maior eficiência na utilização de fósforo e potássio e menor custo de semeadura; e as seguintes desvantagens: Menor quantidade de grãos, maior teor de fibra, menor digestibilidade, sorgo colhido antes da época ideal terá menor valor energético e menor qualidade (Samarappuli; Berti, 2018; Cruz *et al.*, 2025).

O sorgo forrageiro desempenha um papel fundamental no fornecimento de alimentação animal e na manutenção da segurança alimentar (Abd El-Mageed *et al.*, 2022; Ghalkhani *et al.*, 2023) fortalecendo, assim a ODS nº 2 (Un, 2015). É uma das culturas forrageiras mais importantes em regiões áridas e semiáridas, e seu rendimento e valor nutritivo podem ser afetados pela época de plantio, adubação, local de plantio e fase de colheita (Albuquerque *et al.*, 2013; Khalilian *et al.*, 2022).

Diante do exposto, foram formuladas as seguintes hipóteses: 1) As diluições de efluente de salineira, nos níveis de salinidade de CE 1,5, 3,0, 4,5 e 6,0 dS m^{-1} , permitem a produção do sorgo forrageiro, sem comprometer a funcionalidade do solo e seus atributos físico-hídricos e químicos e os índices fisiológicos do sorgo forrageiro; 2) O excesso de Na^+ e Cl^- contido no efluente de salineira solar pode provocar toxicidade as plantas, bem como reduz a absorção de nutrientes como Ca^{2+} e Mg^{2+} ; e 3) As aplicações de efluente de salineira solar diluído na água de chuva podem alterar os índices fisiológicos do sorgo forrageiro.

A partir dessas considerações os objetivos desse trabalho foram: analisar os efeitos de água residuária da indústria salineira diluída em água de chuva, nos atributos físico-hídricos e químicos do solo e nos índices fisiológicos do sorgo forrageiro no semiárido potiguar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABD EL-MAGEED, Taia A. et al. Consecutive seasonal effect on yield and water productivity of drip deficit irrigated sorghum in saline soils. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 29, n. 4, p. 2683-2690, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.12.045>.
- AKÇA, E. et al. Long-term monitoring of soil salinity in a semi-arid environment of Turkey. **Catena**, v. 193, p. 104614, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104614>.
- ALBUQUERQUE, C. J. B. et al. Características agronômicas e bromatológicas dos componentes vegetativos de genótipos de sorgo forrageiro em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 2, p. 164-182, 2013. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v12n2p164-182>.
- ALI, A. Y. A. et al. Interactive impacts of soil salinity and jasmonic acid and humic acid on growth parameters, forage yield and photosynthesis parameters of sorghum plants. **South African Journal of Botany**, v. 146, p. 293-303, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.10.027>.
- ANDRADE, Manoel Correia. O território do sal: a exploração do sal marinho e a produção do espaço geográfico do Rio Grande do Norte. **Revista GeoInterações**, v. 2, n. 2, p. 71-104, 2018. <https://periodicos.apps.uern.br/index.php/RGI/article/view/1105>.
- BAGASTYO, Arseto Yekti. et al. Resource recovery and utilization of bittern wastewater from salt production: a review of recovery technologies and their potential applications. **Environmental Technology Reviews**, v. 10, n. 1, p. 295-322, 2021. <https://doi.org/10.1080/21622515.2021.1995786>.
- BASTOS, Anne Borges de et al. Analysis of inorganic chemical composition of table salt and Himalayan pink salt by Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence (WDXRF). **The Journal of Engineering And Exact Sciences**, v. 3, n. 4, p. 678-687, 2017. <https://doi.org/10.18540/jcecvl3iss4pp0678-0687>.
- BATTAGLIA, Giuseppe. et al. Evaluation of the Purity of Magnesium Hydroxide Recovered from Saltwork Bitterns. **Water**, v. 15, n. 1, p. 29, 2022. <https://doi.org/10.3390/w15010029>.
- BEHLING, Arthur et al. Nutritional value of sorghum silage of different purposes. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, p. 288-299, 2017. <https://doi.org/10.1590/1413-70542017413038516>.
- BELLVER-DOMINGO, Águeda; HERNÁNDEZ-SANCHO, Francesc. Circular economy and payment for ecosystem services: A framework proposal based on water reuse. **Journal of Environmental Management**, v. 305, p. 114416, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114416>.

BEN HASSEN, Tarek.; EL BILALI, Hamid. Impacts of the Russia-Ukraine war on global food security: towards more sustainable and resilient food systems?. **Foods**, v. 11, n. 15, p. 2301, 2022. <https://doi.org/10.3390/foods11152301>.

BHATTARAI, Bishwoyog. et al. Forage potential of pearl millet and forage sorghum alternatives to corn under the water-limiting conditions of the Texas high plains: A review. **Crop, Forage & Turfgrass Management**, v. 5, n. 1, p. 1-12, 2019. <https://doi.org/10.2134/cftm2019.08.0058>.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2023**: informe anual/ Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Brasília: ANA, 2024. 118p. <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjunturainforme2023.pdf>.

BRASIL. Agência Nacional de Mineração. **Sumário mineral 2017**. Brasília: ANM, 2019. 201 p.

BRITO, Danila Rodrigues. et al. Salinização e degradação de solo: uma consequência da recepção com uso inadequado de tecnologia. **Diversitas Journal**, v. 5, n. 3, p. 1707-1719, 2020. <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v5i3-1100>.

CAMARA, Marcos Rogério. SALINAS: AMBIENTES EXTREMOS NO NORDESTE DO BRASIL. **DO MAR**, p. 218, 2021

CASTRO, Francelita Coelho; SANTOS, Antonio Marcos dos. Salinidade do solo e risco de desertificação na região semiárida. **Mercator (Fortaleza)**, v. 19, p. e19002, 2020. <https://doi.org/10.4215/rm2020.e19002>.

CHEN, Chia-Yang. et al. Non-conventional water reuse in agriculture: A circular water economy. **Water Research**, v. 199, p. 117193, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117193>.

COSTA, Diógenes Félix da Silva. et al. Geographical location and solar salt production. **Mercator (Fortaleza)**, v. 14, p. 91-98, 2015. <https://doi.org/10.4215/RM2015.1402.0006>.

COSTA, JOÃO PAULO NUNES. et al. Desempenho de variedades de sorgo dupla aptidão submetidas a diferentes lâminas de irrigação com água salina. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 3, p. 417-428, 2019. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v18n3p417-428>.

CRUZ, Alondra et al. Sorghum and pearl millet as sustainable alternative forage options for water limited environments: Opportunities and challenges. **Advances in Agronomy**, v. 189, p. 137-192, 2025. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2024.08.001>.

DA SILVA COSTA, Diógenes Félix. et al. Influência de macroaspectos ambientais na produção de sal marinho no Litoral Semiárido do Brasil. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 31, n. 3, 2014. www.ufpe.br/revistageografia.

DAVE, Rohit H.; GHOSH, Pushpito K. Enrichment of bromine in sea-bittern with recovery of other marine chemicals. **Industrial & engineering chemistry research**, v. 44, n. 9, p. 2903-2907, 2005. <https://doi.org/10.1021/ie049130x>.

DE MEDEIROS ROCHA, Renato et al. Brazilian solar saltworks-ancient uses and future possibilities. **Aquatic Biosystems**, v. 8, p. 1-6, 2012. <https://doi.org/10.1186/2046-9063-8-8>.

DE VASCONCELOS FERNANDES, Rogério Taygra. et al. CAPACIDADE DE DILUIÇÃO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA SALINEIRA EM ESTUÁRIOS DE REGIÕES SEMIÁRIDAS. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 217-234, 2020. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e32020217-234>.

DINIZ, Marco Túlio Mendonça.; VASCONCELOS, Fábio Perdigão.; MARTINS, Márcia Barbosa. Inovação tecnológica na produção brasileira de sal marinho e as alterações sócioterritoriais dela decorrentes: uma análise sob a ótica da teoria do empreendedorismo de Schumpeter. **Sociedade & Natureza**, v. 27, p. 421-437, 2015. <https://doi.org/10.1590/1982-451320150305>.

DINIZ, Marco Túlio Mendonça; VASCONCELOS, Fábio Perdigão. A PRODUÇÃO DE SAL MARINHO NO BRASIL E SUA CORRELAÇÃO COM A PLUVIOMETRIA ANUAL E O CRESCIMENTO ECONÔMICO NACIONAL. v. 20, n. 69, p. 20-35, 2019. <http://doi.org/10.14393/RCG206940504>.

DINIZ, Marco Túlio Mendonça; VASCONCELOS, Fabio Perdigão. Condicionantes naturais à produção de sal marinho no Brasil. **Mercator (Fortaleza)**, v. 16, p. e16013, 2017. <https://doi.org/10.4215/rm2017.e16013>.

DINIZ, Marco Túlio Mendonça; VASCONCELOS, Fabio Perdigão. Condicionantes naturais à produção de sal marinho no Brasil. **Mercator (Fortaleza)**, v. 16, p. e16013, 2017. <https://doi.org/10.4215/rm2017.e16013>.

DINIZ, Marco Túlio Mendonça; VASCONCELOS, Fábio Perdigão. Porque o nordeste produz sal marinho? Estudo analógico do potencial do clima. **Caderno de Geografia**, v. 26, n. 2, p. 355-379, 2016. <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2016v26nesp2p355>.

FARDIN, Farzad et al. Nutritional value and agronomic traits of forage sorghum under drought stress. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 48, p. 102624, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102624>.

FARHANGI-ABRIZ, Salar; GHASSEMI-GOLEZANI, Kazem. How can salicylic acid and jasmonic acid mitigate salt toxicity in soybean plants?. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 147, p. 1010-1016, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.070>.

FERNANDES, Rogério Taygra Vasconcelos et al. Estuaries Environmental Monitoring Associated with Solar Salt Production in the Brazilian Semiarid. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 65, p. e22210117, 2022. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-202210117>.

GETACHEW, Girma. et al. Potential of sorghum as an alternative to corn forage. **American Journal of Plant Sciences**, v. 7, n. 7, p. 1106-1121, 2016. <https://doi.org/10.4236/ajps.2016.77106>.

GHALKHANI, Amir. et al. Irrigation Management Strategies to Enhance Forage Yield, Feed Value, and Water-Use Efficiency of Sorghum Cultivars. **Plants**, v. 12, n. 11, p. 2154, 2023. <https://doi.org/10.3390/plants12112154>.

HONMANE, Bharat et al. Channelizing the osmotic energy of proximate sea bittern for concentration of seawater by forward osmosis under realistic conditions to conserve land requirement for solar sea salt production. **Journal of Membrane Science**, v. 567, p. 329-338, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2018.09.022>.

KHALILIAN, M. E. et al. Effect of maturity stage on yield, morphological characteristics, and feed value of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] cultivars. **Cereal Research Communications**, v. 50, n. 4, p. 1095-1104, 2022. <https://doi.org/10.1007/s42976-022-00244-7>.

KILIC, O.; KILIC, A. M. Recovery of salt co-products during the salt production from brine. **Desalination**, v. 186, n. 1-3, p. 11-19, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.05.014>.

KOTHARI, Kritika et al. Simulation of efficient irrigation management strategies for grain sorghum production over different climate variability classes. **Agricultural Systems**, v. 170, p. 49-62, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.12.011>.

MARTINKOSKI, Lais.; VOGEL, Gabriel Felipe. Utilização de sorgo como alternativa na produção de silagem. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 5, p. 23, 2013.

MARX, Heiner et al. Potassium sulfate-A precious by-product for solar salt works. **Bulletin of the Society of Sea Water Science, Japan**, v. 73, n. 2, p. 89-93, 2019. https://doi.org/10.11457/swsj.73.2_89.

NOWAK, Izabela. et al. Possibilities of using medicinal plant extracts and salt-containing raw materials from the Aral region for cosmetic purposes. **Molecules**, v. 27, n. 16, p. 5122, 2022. <https://doi.org/10.3390/molecules27165122>.

PEDROTTI, Alceu et al. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, p. 1308-1324, 2015. <https://doi.org/10.5902/2236117016544>.

PESSOA, Luiz G. M. et al. Assessment of soil salinity status under different land-use conditions in the semiarid region of Northeastern Brazil. **Ecological Indicators**, v. 141, p. 109139, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109139>.

PESSOA, Luiz G. M. et al. Assessment of soil salinity status under different land-use conditions in the semiarid region of Northeastern Brazil. **Ecological Indicators**, v. 141, p. 109139, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109139>.

PESSOA, Luiz Guilherme Medeiros et al. Spectral reflectance characteristics of soils in northeastern Brazil as influenced by salinity levels. **Environmental monitoring and assessment**, v. 188, p. 1-11, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5631-6>.

SAMARAPPULI, Dulan; BERTI, Marisol T. Intercropping forage sorghum with maize is a promising alternative to maize silage for biogas production. **Journal of Cleaner Production**, v. 194, p. 515-524, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.083>.

SANGHAVI, Rahul J. et al. Preparation of high-purity magnesium-ammonium-phosphate fertilizer using sea bittern and industrial waste streams [Erratum: March 2021, v. 28 (11), p. 14207]. 2020. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07445-4>.

SILVA, André Luís Silva et al. Um referencial teórico acerca do íon sódio e seu sal de principal ocorrência cotidiana—o cloreto de sódio—potencialmente contributivo ao ensino de química. **DI@ LOGUS**, v. 9, n. 2, p. 41-56, 2020. <https://doi.org/10.33053/dialogus.v9i2.52>.

SILVA, C. L. C. et al. Potencialidade da produção de óxido de magnésio a partir do efluente salino proveniente da produção de sal marinho no município de Grossos/RN. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 03, p. 894-905, 2017. 10.5935/1984-2295.20170059.

SILVA, Sergio Luiz Pedrosa et al. A indústria salineira do Rio Grande do Norte: análise de fatores para o desenvolvimento. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 12, n. 2, p. 292-323, 2023. <https://doi.org/10.3895/rbpd.v12n2.11914>.

STATISTA. **World salt production from 1975 to 2022 (in million metric tons)**. <https://www.statista.com/statistics/237162/worldwide-salt-production>.

VALLES, V. et al. Sustainable recovery of critical elements from seawater saltworks bitterns by integration of high selective sorbents and reactive precipitation and crystallisation: Developing the probe of concept with on-site produced chemicals and energy. **Separation and Purification Technology**, v. 306, p. 122622, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.122622>.

VICARI, Fabrizio et al. Mining minerals and critical raw materials from bittern: Understanding metal ions fate in saltwork ponds. **Science of The Total Environment**, v. 847, p. 157544, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157544>.

VIEIRA, Ranilson José et al. Efeito no solo e no cultivo do sorgo forrageiro devido aos sistemas de preparo-10.14688/1984-3801/gst.v7n1p95-106. **Global Science and Technology**, v. 7, n. 1, 2014. <https://10.14688/1984-3801/gst.v7n1p95-106>.

2. ARTIGO 1: USO AGRÍCOLA DE ÁGUA E NUTRIENTES DO EFLUENTE DA INDÚSTRIA SALINEIRA NO SEMIÁRIDO POTIGUAR: INTER-RELAÇÕES DOS ATRIBUTOS DOS SOLOS E ÍNDICES FISIOLÓGICOS DO SORGO FORRAGEIRO

RESUMO

O semiárido nordestino é caracterizado pela escassez hídrica, a técnica de diluição e reúso agrícola do efluente da indústria salineira (água mãe), é uma alternativa que mitiga os impactos ambientais e potencializar o uso dos recursos hídricos e minerais. Objetivou-se, com o presente estudo, avaliar as inter-relações dos atributos dos solos e índices fisiológicos do sorgo forrageiro produzido com diluições de água residuária da indústria salineira. O experimento foi conduzido, no delineamento em blocos inteiramente casualizados com esquema fatorial 5 x 2. O fator 1 foi representado pelas diluições de água residuária de salineira solar em água de chuva: CE 1,5 dS m⁻¹; CE 3,0 dS m⁻¹; CE 4,5 dS m⁻¹; CE 6 dS m⁻¹; e AC - água de chuva (Testemunha). O fator 2 foi representado pelo Neossolo Flúvico e o Latossolo Vermelho. O sorgo Ponta Negra, foi cultivado em 50 vasos de 20 L, irrigados duas vezes por semana com as cinco diluições. Os atributos do solo avaliados consistiram em: granulométrica, ADA, IF, Ds, N, pH, CE, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, P, K⁺, (H+Al), MO, COT, Cu, Fe, Mn, Zn, curva de retenção de água no solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total. Para interpretação dos resultados utilizou-se a estatística multivariada (Matriz de correlação de Pearson, Análise Fatorial e Componentes principais). Os índices fisiológicos, foram submetidos análise estatística SISVAR (Anova, teste de médias e análises de regressão). A interação entre Solos x Salinidades influenciou significativamente as variáveis, assim como, os diferentes níveis de salinidades e os solos, que apresentaram efeito isolado sobre os índices fisiológicos do sorgo forrageiro. O Neossolo apresentou nas baixas tensões, maior retenção de água com as diluições com maior nível de salinidade. Latossolo apresentou, maior retenção de água no solo nas diluições com menor nível de salinidade.

Palavras-chaves: Semiárido. Reúso. Gramínea. Textura. Retenção de água

PAPER 1: AGRICULTURAL USE OF WATER AND NUTRIENTS FROM THE SALINE INDUSTRY EFFLUENT IN THE SEMI-ARID REGION OF POTIGUAR: INTERRELATIONSHIPS OF SOIL ATTRIBUTES AND PHYSIOLOGICAL INDEXES OF FORAGE SORGHUM

ABSTRACT

The semiarid region of the Northeast is characterized by water scarcity. The technique of dilution and agricultural reuse of effluent from the saline industry (mother water) is an alternative that mitigates environmental impacts and enhances the use of water and mineral resources. The objective of this study was to evaluate the interrelationships of soil attributes and physiological indices of forage sorghum produced with dilutions of wastewater from the saline industry. The experiment was conducted in a completely randomized block design with a 5 x 2 factorial scheme. Factor 1 was represented by the dilutions of wastewater from solar saline in rainwater: EC 1.5 dS m⁻¹; EC 3.0 dS m⁻¹; EC 4.5 dS m⁻¹; EC 6 dS m⁻¹; and AC - rainwater (Control). Factor 2 was represented by the Fluvisols and the Red Ferrasol. Ponta Negra sorghum was grown in 50 20 L pots, irrigated twice a week with the five dilutions. The soil attributes evaluated consisted of: particle size, ADA, IF, Ds, N, pH, EC, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, P, K⁺, (H+Al), MO, TOC, Cu, Fe, Mn, Zn, soil water retention curve, macroporosity, microporosity, and total porosity. Multivariate statistics (Pearson correlation matrix, factor analysis, and principal components) were used to interpret the results. The physiological indices were subjected to SISVAR statistical analysis (ANOVA, mean test and regression analysis). The interaction between Soils x Salinities significantly influenced the variables, as well as the different levels of salinity and the soils, which presented an isolated effect on the physiological indices of forage sorghum. The Fluvisols presented greater water retention in the low tensions with the dilutions with higher salinity levels. The Ferrasol presented greater water retention in the soil in the dilutions with lower salinity levels.

Keywords: Semi-arid. Reuse. Grass. Texture. Water retention.

1. INTRODUÇÃO

Historicamente o semiárido nordestino é caracterizado pela escassez hídrica, precipitação pluvial abaixo dos 800mm e com distribuição irregular, elevada taxa de evapotranspiração, e altas temperaturas (Junior *et al.*, 2024; Paredes-Trejo *et al.*, 2023). Contudo, essas características são de suma importância para a indústria salineira, essa particularidade faz o Rio Grande do Norte se destacar como o maior produtor de sal marinho do Brasil, devido as condições climáticas que favorecem a produção (Costa *et al.*, 2015; Diniz; Vasconcelos 2017).

O sal marinho é uma importante matéria prima para diversos setores da indústria (Metwally *et al.*, 2022), além disso, a indústria salineira é um segmento importante no desenvolvimento econômico e social no estado do Rio Grande do Norte, gerando empregos diretos e indiretos, estimulando a economia local (Bezerra *et al.*, 2020).

Na agricultura, a aplicação de fertilizantes de forma excessiva (Dias *et al.*, 2023) e a irrigação com água de baixa qualidade (Hosseini; Bailey, 2024; Silva *et al.*, 2023) tem prejudicado à produção agrícola Souza *et al.*, (2025) inibindo o crescimento das plantas e diminuindo o seu rendimento (Paranychianakis; Chartzoulakis, 2005; Sagar *et al.*, 2023). Ao longo dos anos, os solos agrícolas vêm sendo cada vez mais salinizados devido ao manejo inadequado, e à falta de práticas de manejo eficiente que minimize os processos degradativos do solo (Okur; Örcen, 2020).

A salinização está entre as principais formas de degradação do solo na região árida e semiárida (Pessoa *et al.*, 2022; Umirzakov *et al.*, 2025). Em condições naturais ou por meio da ação antrópica (GHASSEMI *et al.*, 1995), o acúmulo de sais no solo geralmente resulta da formação geológica predominante, distribuição irregular das chuvas, altas taxas de evaporação, drenagem deficiente e manejo inadequado do solo e da irrigação (Akça *et al.*, 2020; Castro; Santos, 2020; Pedrotti *et al.*, 2015; Singh, Ajay 2021).

A produção agrícola no Brasil e no mundo está, diretamente, relacionada à intensa exploração dos recursos naturais e a modificações dos agroecossistemas (Costa *et al.*, 2024; Pereira *et al.*, 2018). Em uma agricultura cada vez mais dependente da água e dos fertilizantes (Alberti *et al.*, 2022; Gamage *et al.*, 2021), o manejo inadequado do solo impacta negativamente os atributos físicos, químicos e biológicos do solo (Refati *et al.*, 2023).

O uso de efluente da indústria salineira (água mãe), como fonte de nutrientes para plantas (Bagastyo *et al.*, 2021), é uma alternativa que mitiga impactos ambientais e potencializar o uso dos recursos hídricos e minerais (Bagastyo *et al.*, 2021; Bellver-Domingo;

Hernández-Sancho, 2022; Chen *et al.*, 2021;). No Brasil, a irrigação é o setor produtivo que mais consome água (Brumatti *et al.*, 2025) e nos últimos anos, o aumento expressivo nos custos de fertilizantes agrícolas e o crescimento da demanda de alimentos (Ben Hassen; El Bilali, 2022; Nachshon, 2018; Saath; Fachinello, 2018), são fatores esses estimulam o uso agrícola de água residuária da indústria salineira, principalmente nas regiões áridas e semiáridas.

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é uma planta forrageira de origem africana (Albuquerque *et al.*, 2021; Bhattarai *et al.*, 2019) que se destaca como alternativa ao milho devido a menor exigência em fertilidade do solo e maior tolerância ao déficit hídrico e ao estresse salino (Fonsêca *et al.*, 2025; Fardin *et al.*, 2023; Getachew *et al.*, 2016; Herrera *et al.*, 2024). O sorgo forrageiro desempenha um papel fundamental no fornecimento de alimentação animal e na manutenção da segurança alimentar, principalmente nos continentes africano e asiático (Abd El-Mageed *et al.*, 2022; Ghalkhani *et al.*, 2023). Devido a suas características, o sorgo forrageiro é uma das culturas forrageiras mais importantes em regiões áridas e semiáridas do Brasil (Ashoori *et al.*, 2021; Kazungu *et al.*, 2023).

Diante do exposto, foram elaboradas as seguintes hipóteses:

As diluições de efluente da indústria salineira em água de chuva, nos níveis de salinidade de 1,5, 3,0, 4,5 e 6,0 dS m⁻¹, permitem a produção do sorgo forrageiro, sem comprometer a funcionalidade do solo e seus atributos físico-hídricos e químicos e os índices fisiológicos do sorgo forrageiro.

O excesso de Na⁺ e Cl⁻ contido no efluente de salineira solar pode provocar toxicidade as plantas, bem como reduz a absorção de nutrientes como Ca²⁺, Mg²⁺.

As aplicações de efluente de salineira solar diluído na água de chuva podem alterar os índices fisiológicos do sorgo forrageiro.

A partir dessas considerações, objetivou-se com o presente trabalho estudar as inter-relações dos atributos do solo e índices fisiológicos do sorgo forrageiro produzido com diluições de efluente da indústria salineira.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição do local

Os ensaios experimentais foram conduzidos na Unidade Experimental de Reúso de Água (UERA) pertencente a Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró-RN, localizada a 5°12'30,9" de latitude Sul e 37°19'08,5" de longitude Oeste e altitude 37m, localizada na BR 110, km 47, no município de Mossoró-RN. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo BSh (quente e seco), com precipitação pluviométrica bastante irregular, com média anual inferior a 715 mm e temperatura média do ar de 26,2°C (Alvares *et al.*, 2013; Dubreuil *et al.*, 2018). Na Figura 1, apresentam-se as imagens da localização onde foram conduzidos os ensaios experimentais.



Figura 1. Mapa da localização do Brasil, Estado do Rio Grande do Norte, município de Mossoró e o local do experimento.

2.2 Descrição dos locais de coleta dos solos utilizados nos ensaios experimentais

Para o trabalho foi estabelecida 2 classes de solos representativas do semiárido brasileiro, após a caracterização dos solos e análise *in loco*, foi definido Latossolo Vermelho que representa 21% do domínio da caatinga (Jacomine, 1996) e os Neossolos (Litólico, Quartzarenico, Regolítico e Flúvico representam 35% de solos da caatinga), sendo Neossolo Flúvico = 2% (Jacomine, 1996). Localizado próximo a RN-117, no bairro Bom Jesus em Mossoró, foi coletado a classe do Neossolo Flúvico. Na zona rural de Mossoró, em Alagoinha, a 20 km da UFERSA, na Fazenda Experimental Rafael Fernandes foi o ponto de coleta do Latossolo Vermelho. Os solos foram classificados conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) e o Sistema internacional World Reference Base (WRB), (WRB, 2014; SANTOS *et al.*, 2018). Na Figura 2, estão os pontos de coletas de solos utilizados no trabalho.

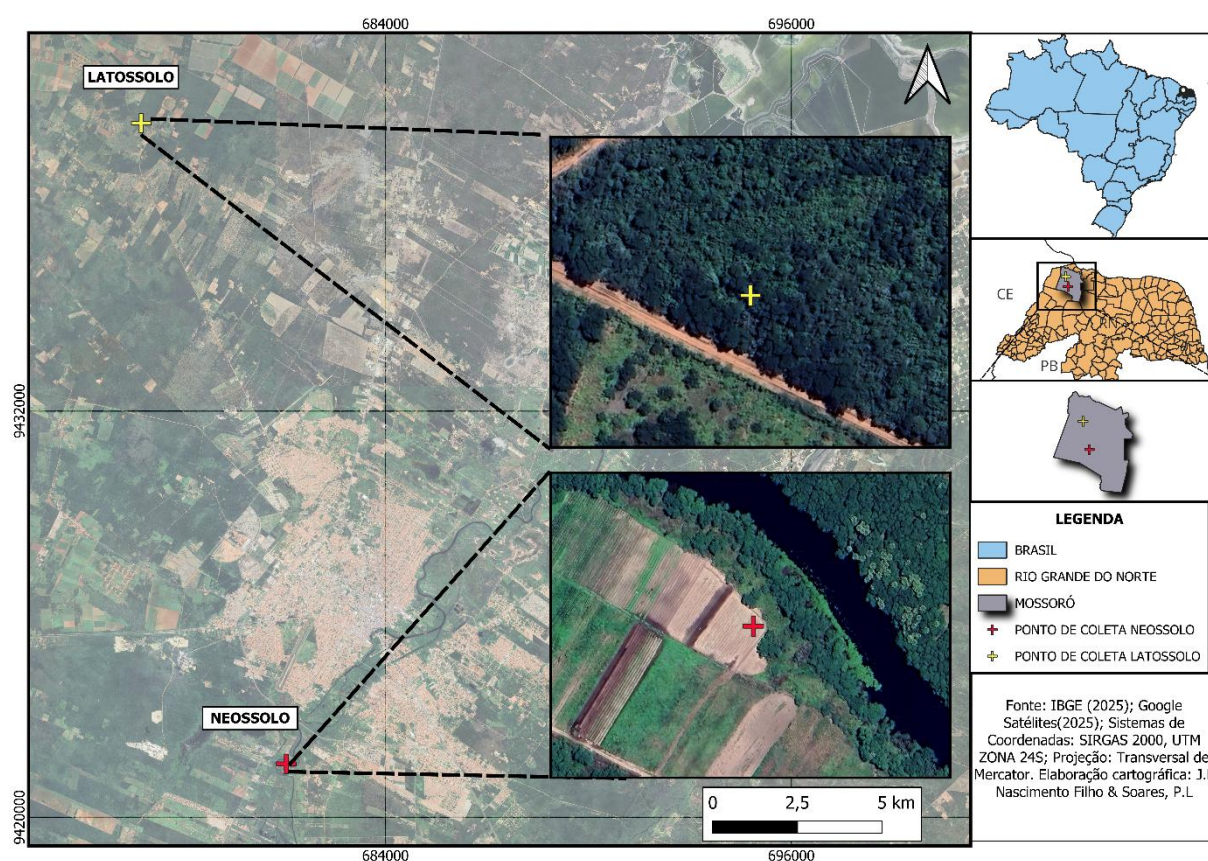


Figura 2. Mapa da localização do Brasil, Estado do Rio Grande do Norte, município de Mossoró e os pontos de coleta de solos utilizados no experimento.

2.3 Obtenção da água residuária de salineira solar e da água de chuva utilizado no experimento

A escala de medição da densidade de líquidos (Grau Baumé $^{\circ}Be$), criada pelo farmacêutico francês Antoine Baumé em 1768, foi utilizada como parâmetro para coletar o efluente de salineira solar utilizado nos ensaios experimentais. Água residuária foi retirada do tanque cristalizador de uma das salineiras solares da Costa Branca Semiárida Brasileira, com salinidade de cerca de 28,5 $^{\circ}Be$ (Costa *et al.*, 2014; Rocha *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2017). Posteriormente, a água residuária foi transportada da salineira solar até a UERA/UFERSA em reservatório plástico impermeável de 1 m³. Enquanto, a água de chuva utilizada na obtenção das diluições foi proveniente do sistema de captação de água de chuva instalado no setor de transporte da UFERSA.

2.4 Croqui do delineamento experimental

O delineamento utilizado no experimento foi em blocos inteiramente casualizados, com cinco repetições, e os fatores arranjados em esquema fatorial 5 x 2 (Figura 3). Onde os valores da condutividade elétrica da água de irrigação (CE_i) foram norteados pelo limite de 3,0 dS m⁻¹ para reúso agrícola que consta na Resolução COEMA nº 02/2017 (Ceará, 2017). O fator 1 representa as diluições de água residuária de salineira solar (ARSS) em água de chuva (AC): D1,5 - ARSS em AC tendo CE_i de 1,5 dS m⁻¹; D3 - ARSS em AC tendo CE_i de 3,0 dS m⁻¹; D4,5 - ARSS em AC tendo CE_i de 4,5 dS m⁻¹; D6 - ARSS em AC tendo CE_i de 6,0 dS m⁻¹; e DT - AC (Testemunha). O fator 2 caracteriza dois tipos de solos representativos do semiárido brasileiro (Neossolo Flúvico e Latossolo Vermelho).

Nota: Cor vermelha - Vaso com Neossolo Flúvico; Cor azul - Vaso com Latossolo Vermelho; CE – Condutividade elétrica de AM e AC; T – Testemunha; B – Blocos; F.E – Fazenda experimental; S.C – São

CE 4,5 F.E	0,20 m	CE 3,0 F.E		CE 3,0 S.C	0,20 m	CE 4,5 S.C		T S.C	0,20 m	CE 6,0 S.C		CE 4,5 F.E	0,20 m	CE 1,5 F.E		T F.E	0,20 m	CE 4,5 F.E
	1,0 m				1,0 m				1,0 m				1,0 m				1,0 m	
T S.C	0,20 m	CE 3,0 S.C		CE 6,0 S.C	0,20 m	T S.C		CE 3,0 S.C	0,20 m	CE 4,5 S.C		T F.E	0,20 m	CE 3,0 S.C		CE 3,0 S.C	0,20 m	CE 1,5 F.E
	1,0 m				1,0 m				1,0 m				1,0 m				1,0 m	
CE 6,0 F.E	0,20 m	CE 1,5 F.E		CE 1,5 S.C	0,20 m	T F.E		CE 3,0 F.E	0,20 m	CE 1,5 S.C		CE 6,0 S.C	0,20 m	CE 1,5 S.C		CE 6,0 S.C	0,20 m	CE 1,5 S.C
	1,0 m				1,0 m				1,0 m				1,0 m				1,0 m	
CE 6,0 S.C	0,20 m	T F.E		CE 1,5 F.E	0,20 m	CE 6,0 F.E		CE 1,5 F.E	0,20 m	CE 4,5 F.E		CE 3,0 F.E	0,20 m	T S.C		CE 3,0 F.E	0,20 m	CE 4,5 S.C
	1,0 m				1,0 m				1,0 m				1,0 m				1,0 m	
CE 4,5 S.C	0,20 m	CE 1,5 S.C		CE 4,5 F.E	0,20 m	CE 3,0 F.E		CE 6,0 F.E	0,20 m	T F.E		CE 6,0 F.E	0,20 m	CE 4,5 S.C		CE 6,0 F.E	0,20 m	T S.C
	1,0 m				1,0 m				1,0 m				1,0 m				1,0 m	
B5				B3				B4				B2				B1		

Camilo.

Figura 3. Croqui da área experimental com a disposição dos blocos e respectivos tratamentos.

2.5 Caracterização do Latossolo Vermelho e Neossolo Flúvico

A caracterização dos solos foi realizada antes da instalação do experimento (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização dos atributos físicos e químicos

		Areia			Teor de	Teor de	Ds	pH	CE	MO
		Grossa	Fina	Total	silte	Argila				
Camada		g/ kg					g/cm ³	H ₂ O	dS /m ⁻¹	g/kg
Latossolo	0,00-0,20	560	290	850	40	110	1,4	5,90	0,04	4,87
Neossolo	0,00-0,20	100	810	910	40	50	1,2	6,79	0,06	1,74
		N	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H+Al)	SB
		g/kg			mg/dm ³		cmol _c /dm ³			
Latossolo		0,63	2,4	58,5	7,5	1,00	1,30	0,02	2,31	2,48
Neossolo		0,42	22,3	93,6	15,4	3,75	1,51	0,00	0,26	5,57
		t	CTC	V	m	PST	Cu	Fe	Mn	Zn
		cmol _c /dm ³			%		mg/dm ³			
Latossolo		2,50	4,79	52	1	1	0,05	18,21	20,94	1,01
Neossolo		5,57	5,83	95	0	1	0,00	19,04	16,54	0,91

Nota: Ds: Densidade do solo; pH: Potencial hidrogeniônico; CE: Condutividade elétrica; MO: Matéria orgânica; N: Nitrogênio; P: Fósforo; K⁺: Potássio; Na⁺: Sódio; Ca²⁺: Cálcio; Mg²⁺: Magnésio; Al³⁺: alumínio; (H+Al): acidez potencial; SB: Soma de bases; t: CTC efetiva; CTC: Capacidade de troca catiônica; V: Saturação por bases; m: Saturação por alumínio; PST: Percentagem de sódio trocável; Cu: Cobre; Fe: Ferro; Mn: Magnésio; Zn: Zinco.

2.6 Montagem do experimento e manejo das irrigações

Foram utilizados 50 vasos de plástico com 20L de capacidade volumétrica, sendo 25 vasos preenchidos com Neossolo Flúvico e os outros 25 vasos com o Latossolo Vermelho (Figura 4). Cada vaso tinha em sua porção inferior a inserção de um pequeno dreno, para coleta de lixiviado, e uma camada drenante de brita nº 0 (0,8 kg) e de areia lavada peneirada (1,0 kg). Acima da camada drenante foi colocado o solo, passado em peneira de 5 mm até quase completar o volume do vaso (25 kg). Visando atender as demandas nutricionais do sorgo forrageiro no plantio e durante o desenvolvimento da cultura, foi realizadas adubações

seguindo as recomendações da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN 2017).



Figura 4. Distribuição dos vasos em campo com as respectivas classes de solos, com uso de efluente da indústria salineira.

A cultura utilizada foi o sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cultivar Brs Ponta Negra (Figura 5). O plantio foi realizado de forma manual, colocando-se 10 sementes por vaso, com desbaste 15 dias após a semeadura, deixando-se quatro plantas por vaso. Os vasos ficaram dispostos no espaçamento de 1,00 m entre fileiras de vasos e 0,20 m entre vasos adaptando as recomendações da EMPARN (2017).



Figura 5. Imagem do *Sorghum bicolor* L. Moench, irrigado com diluições de efluente da indústria salineira.

Quanto à aplicação das diluições da água residuária de salina solar em água de chuva, ocorreu de forma localizada, no entanto de forma manual, empregando-se regadores de 10 L, baldes graduados de 11 L e proveta de 1 L a fim de quantificar o volume correspondente a lâmina bruta de irrigação que foi calculada com base na evapotranspiração da cultura (ET_c).

As lâminas de irrigação foram estimadas pela evapotranspiração da cultura (ET_c), ajustando-se às condições de campo e operação do sistema de irrigação (SILVA *et al.*, 2023). A ET_c foi calculada, diariamente, a partir da evapotranspiração de referência diária (ET_o) estimada pelo método de Penman-Monteith (ALLEN *et al.*, 2006) e do coeficiente de cultivo diário (K_c). Como a aplicação das diluições ocorreu de forma localizada, empregando-se regadores, adotou-se uma eficiência de irrigação de 95% para o cálculo da lâmina bruta de irrigação (SILVA *et al.*, 2023). A ET_o foi estimada a partir dos dados climáticos coletados, diariamente, da Estação Meteorológica Automática (EMA), atualmente gerida pelo Centro de Engenharias (CE), da Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA)

2.7 Condução do experimento

O manejo das irrigações do sorgo forrageiro seguiu com base nas análises das diluições do efluente da indústria salineira (água-mãe) em água de chuva. Devido à alta concentração de sódio (Na) e potássio (K), foram estabelecidos dois dias na semana (terça e sexta) para aplicação dos tratamentos D1,5 - ARSS em AC tendo CE_i de 1,5 dS m⁻¹; D3 - ARSS em AC tendo CE_i de 3,0 dS m⁻¹; D4,5 - ARSS em AC tendo CE_i de 4,5 dS m⁻¹; D6 - ARSS em AC tendo CE_i de 6,0 dS m⁻¹; e DT - AC (Testemunha), onde era aplicada apenas água de chuva, assim evitando a fitotoxicidade pelo excesso de sódio e potássio. Nos demais dias da semana, todos os tratamentos receberam a água de baixa salinidade (água de chuva).

Com base nas análises químicas dos solos e seguindo as recomendações de adubação da EMPARN (2017) para solos do Rio Grande do Norte, foram calculadas as doses de adubos para o Neossolo Flúvico e Latossolo Vermelho. Na Tabela 2 estão sintetizadas as atividades realizadas ao longo do ciclo do sorgo forrageiro.

Tabela 2. Condução do experimento

Plantio	10 sementes por vaso	Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench) semente BRS Ponta Negra
---------	----------------------	---

Replântio	5 sementes em cada vaso	Sorgo <i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench) semente BRS Ponta Negra
Desbaste	15 dias após o replântio	4 plantas por vaso
Manejo das irrigações	Aplicação das diluições 2 vezes por semana (Terça e sexta)	Dose de fluente da indústria salineira (água mãe) diluído em água de chuva
Manejo das irrigações	Nos demais dias da semana irrigação com água de chuva	Água de baixa salinidade (água de chuva)
Adubação de fundação	Latossolo Vermelho Neossolo Flúvico	(MAP, superfosfato simples, ureia, FTE BR 12, KCL)
Adubação de cobertura	Latossolo Vermelho Neossolo Flúvico	(MAP, ureia, FTE BR 12, KCl)
Adubação de cobertura	Correção de deficiência	(6g/vaso) de nitrato de cálcio
Pulverização para controle da lagarta e prevenção do pulgão	Uso de inseticidas	12ml de Decis e 7ml de Premio®
Segunda pulverização para controle da lagarta e prevenção do pulgão	Uso de inseticidas	12ml de Decis e 7ml de Premio®

Nota: Fosfato monoamônico (MAP); Complexo de micronutrientes (FTE BR 12); Cloreto de potássio (KCl).

2.8 Caracterização química da água de chuva, água residuária da salineira solar, e das cinco diluições de água residuária de salineira solar em água de chuva

A cada 25 dias, durante 100 dias, foram coletadas amostras simples, da água residuária da salineira solar (uma amostra), da água de chuva (uma amostra) e das cinco diluições (cinco amostras). Após a coleta, as amostras foram acondicionadas e preservadas a 4°C, em caixa isotérmica com gelo, até a chegada ao Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (LASAP-CCA-UFERSA) campus Mossoró-RN. Os procedimentos de coleta e preservação das amostras seguiu as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Lipps; Braun-Howland; Baxter, 2023).

No Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta (LASAP/UFERSA) foram analisados os seguintes parâmetros: pH e condutividade elétrica (CE) com pHmetro e condutivímetro de bancada, respectivamente; sódio (Na^+) e potássio (K^+) por fotometria de chama; cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), cloreto (Cl^-), carbonato (CO_3^{2-}) e bicarbonato (HCO_3^-) por titulometria; Estas análises seguiram os procedimentos descritos pela Embrapa (Parron *et al.*, 2011), Matos (2012) e Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Lipps; Braun-Howland; Baxter, 2023).

Com os valores de Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} foi calculada a razão de adsorção de sódio (RAS) proposta por Richards (1954) empregando-se a equação 1.

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}} \quad (1)$$

Em que: RAS é a Razão de adsorção de sódio, em $(\text{mmol}_e \text{ L}^{-1})^{0.5}$; e Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} são concentrações de sódio, cálcio e magnésio nas diluições em $\text{mmol}_e \text{ L}^{-1}$.

Tabela 3. Médias dos atributos físico-químicos das diluições de água residuária da indústria salineira em água de chuva, Mossoró-RN.

ID	pH	CE	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	CO_3^{2-}	HCO_3^-	RAS	Dureza	Cátions	Ânions
	H_2O	dS m^{-1}	$\text{mmol}_e \text{ L}^{-1}$								mg L^{-1}	$\text{mmol}_e \text{ L}^{-1}$	
Água de chuva	8,29	0,36	0,17	2,59	0,56	0,97	2,13	0,35	2,13	2,8	77	4,3	4,6
Água mãe	7,22	214,73	169	1463	1246	2741	5750	0,12	13,18	30,53	$1,77 \times 10^5$	5621,26	5763,3
CE 1,5	8,37	1,38	0,55	6,27	1,47	5,22	8,27	0,38	2,22	3,43	334,83	13,53	10,9
CE 3,0	8,20	2,95	1,39	13,51	4,07	6,86	18,47	0,49	2,27	6,2	5,46,83	25,83	21,26

CE 4,5	8,20	4,23	1,66	11,31	6,79	12,10	31,33	0,53	2,61	4,6	944,33	31,9	34,5
CE 6,0	8,23	4,87	2,11	23,13	8,34	14,20	36,40	0,84	2,40	7,66	1127,5	47,6	40,0

Nota: ID: Identificação; pH: Potencial hidrogeniônico; CE: Condutividade elétrica; K⁺: Potássio; Na⁺: Sódio; Ca²⁺: Cálcio; Mg²⁺: Magnésio; Cl⁻: Cloreto; CO₃²⁻: Carbonato; HCO₃³⁻: Bicarbonato; RAS: Razão de adsorção de sódio; CE 1,5: Efluente da indústria salineira diluído em água de chuva tendo salinidade de 1,5 dS m⁻¹; CE 3,0: Efluente da indústria salineira diluído em água de chuva tendo salinidade de 3,0 dS m⁻¹; CE 4,5: Efluente da indústria salineira diluído em água de chuva tendo salinidade de 4,5 dS m⁻¹; e CE 6,0: Efluente da indústria salineira diluído em água de chuva tendo salinidade de 6,0 dS m⁻¹.

2.9 Coleta e preparo das amostras de solo

Foram coletadas amostras de estrutura deformada e indeformada na área de estudo para a realização das análises físicas e químicas.

As amostras de estrutura indeformada foram coletadas com a utilização de anéis volumétricos, em cada vaso foram coletados dois anéis na profundidade de 0,0-0,20 m, somando um total de 100 amostras. As amostras foram revestidas com papel alumínio, identificadas e levadas ao LASAP-CCA-UFERSA para a realização das análises: curva de retenção de água no solo e ao atributos físico-hídricos macroporosidade, microporosidade, porosidade total, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, água disponível e densidade do solo.

Em cada tratamento e suas respectivas repetições foram coletadas amostras simples que posteriormente foram homogeneizadas formando cinco amostras compostas, colocadas em sacos plásticos, identificadas e levadas ao LASAP-CCA-UFERSA. Em seguida, essas amostras foram deixadas ao ar para secar, destorroadas e passadas em uma peneira de 2 mm para se obter a terra fina seca ao ar (TFSA). Posteriormente, foram realizadas as análises químicas do solo.

As análises químicas do solo, também, foram realizadas no LASAP-CCA-UFERSA, com três repetições, seguindo as metodologias da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Teixeira *et al.*, 2017).

3. Análises físico-hídricas e estruturais

3.1 Análise granulométrica, argila dispersa em água e índice de floculação

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, utilizando dispersante químico hexametáfosfato de sódio com agitação mecânica lenta em um agitador (tipo Wagner a 50 rpm) por 16 horas. A fração argila ($< 0,002\text{mm}$) será obtida por sedimentação, a areia ($0,05$ a 2 mm) por tamisação e o silte ($0,002$ a $0,05$) por diferença (Teixeira, 2017; Gee; Bauder, 1979; Gee; Or, 2002; Lima; Luz., 2001).

A argila dispersa em água (ADA) foi determinada utilizando os mesmos procedimentos da análise granulométrica, com a diferença da não utilização do hexametáfosfato de sódio (Teixeira *et al.* 2017).

O índice de floculação (IF) foi calculado pela seguinte equação (Teixeira *et al.* 2017)

$$\text{IF} = \left[\frac{(\text{Argila total} - \text{argila dispersa em água})}{(\text{Argila total})} \right] \cdot 100$$

3.1.2 Densidade do solo

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, calculando-se a relação entre massa de solo seco a 105°C e volume total do anel (Forysthe, 1975).

$$D_s = \frac{M_s}{V_t}$$

Utilizando a expressão: D é densidade do solo (g cm^{-3}); M_s é a massa de solo seco em estufa a 105°C ; e V_t é o volume total do anel (cm^3) (Blake; Hartage, 1986; Teixeira *et al.*, 2017).

3.1.3 Macroporosidade, microporosidade e porosidade total

Para a determinação da macro, micro e porosidade total, os anéis volumétricos contendo as amostras indeformadas foram colocados em uma bandeja e saturados por 48 horas e, após esse período, pesadas para se obter a porosidade total. Em seguida, foram acondicionadas em uma mesa de tensão e saturadas com água de forma que fique sem bolhas de ar na coluna sob uma tensão de 6 kPa para se obter a microporosidade. As amostras

permaneceram sob tensão por um período entre 12 e 24 horas para entrarem em equilíbrio, ou seja, até a água parar de ser drenada (Teixeira *et al.*, 2017).

A determinação da porosidade total do solo (P_t) foi obtida pela medição da umidade de saturação das amostras, de acordo com a equação.

$$P_t = \frac{(M_{sat} - M_s)}{V_t} \cdot 100$$

Em que: M_{sat} é a massa do solo saturado (kg); M_s é a massa do solo seco (kg); e V_t é o volume da amostra (m^3).

A determinação da microporosidade do solo foi feita pelo conteúdo de água retida no solo para o valor de h igual a 60 cm de água, conforme a equação:

$$Micro = \frac{(M_{60cm} - M_s)}{V_t} \cdot 100$$

Em que: M_{60cm} é a massa das amostras para h igual a 60 cm de coluna de água (g).

A macroporosidade do solo foi obtida pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade do solo.

3.1.4 Curva de retenção de água no solo

Para determinar a curva de retenção de água no solo, foram coletadas amostras de estrutura indeformada em duas profundidades 0,00-0,10 m e 0,10-0-20 m dos locais de coleta de solo, e ao final do experimento foram coletadas amostras de cada vaso. As amostras foram submetidas a tensões de 0, 2, 6, 10, 33, 50, 100, 300, 500 e 1500 kPa sendo que para as tensões de 0, 2, 6, 10 e 33 kPa foi utilizada a mesa de tensão. Para as tensões de 50, 100 e 300 kPa foi utilizada a câmaras de média tensão e para 500 e 1500 kPa, câmaras de alta tensão. As amostras permaneceram tanto nas câmaras de pressão como na mesa de tensão até que o equilíbrio fosse atingido, ou seja, quando não houver mais drenagem de água. Para realização

do ajuste das curvas de retenção de água no solo, utilizou-se o programa RETC Van Genuchten *et al.* (2009), com base na equação de Van Genuchten (1980).

A equação considera a umidade volumétrica (θ) como variável dependente e o potencial mátrico (ϕ_m), como variável independente, como segue:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha \cdot |\phi_m|^n)]^m}$$

Em que: θ_r é a umidade volumétrica residual ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); θ_s é a umidade volumétrica saturada ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); $|\phi_m|$ é o potencial mátrico (kPa); e α , m e n são parâmetros empíricos da equação.

Por se tratar de um parâmetro teórico que tem a possibilidade de se apresentar entre 10 e 33 kPa, o valor da capacidade de campo (CC) foi definido na tensão de 10 kPa que representa a condição de solos arenosos. A obtenção do ponto de murcha permanente (PMP) foi feita sob tensão de 1500 kPa. A água disponível foi determinada pela diferença entre os dois parâmetros citados, anteriormente.

3.1.5 Índices fisiológicos do sorgo forrageiro

A avaliação das trocas gasosas foi realizada aos 72 dias após a germinação, na fase de florescimento utilizando a folha índice como referência para diagnóstico. As leituras foram realizadas por um analisador de gás infravermelho IRGA (ACD, modelo LCPro SD, Hoddesdon, UK) com fluxo de ar de 300 mL min^{-1} e fonte de luz acoplada de $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Na ocasião foram mensuradas a concentração interna de carbono - C_i ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática g_s ($\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração - E ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa de fotossíntese líquida A ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), a eficiência instantânea no uso da água (EiUA), calculada apela razão entre a fotossíntese líquida e a transpiração [$(\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}) / (\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})$] e a eficiência instantânea de carboxilação (EiC) [$(\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}) / (\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1})$] a partir da relação entre a fotossíntese líquida e a concentração interna de carbono.

4. Análises químicas

Utilizou-se Terra Fina Seca Ar (TFSA) para a realização das seguintes análises químicas das amostras dos solos: potencial hidrogeniônico (pH) em água, condutividade elétrica (CE) em água, teores de cálcio trocável (Ca^{2+}) e magnésio trocável (Mg^{2+}) utilizando extrator cloreto de potássio, sódio (Na^+) e potássio (K^+) com extrator duplo ácido e determinados por fotometria de chama, acidez potencial (H^+Al) utilizando acetato de cálcio, carbono orgânico total (COT) pelo método da digestão da matéria orgânica, nitrogênio (N) pelo método de Tedesco, fósforo (P) por colorimetria, os micronutrientes cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) foram determinados por espectrometria de absorção atômica, seguindo a metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Teixeira *et al.*, 2017).

Após todas as análises foram calculadas a capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB) e saturação por bases (V), para discussão de acordo com Teixeira *et al.* (2017) e interpretados conforme Manual de recomendações para uso de corretivos e fertilizantes de Minas Gerais (Ribeiro; Guimarães, 1999). A partir dos valores obtidos para Na^+ e CTC foi calculada a percentagem de sódio trocável (PST).

5. Análise estatística

Os atributos físico-hídricos, estruturais e químicos do solo foram submetidos à análise multivariada empregando o programa Statistica®, versão 7.0 (Statsoft Inc, 2004). Com isso, foi gerada uma matriz de correlação de Pearson ($p \leq 0,05$) e, posteriormente, foram feitas as análises dos componentes principais (ACP) e análise fatorial (AF).

Os resultados obtidos referentes as variáveis dos índices fisiológicos foram interpretadas por meio da análise da variância, teste de comparação de médias de Tukey ($p < 0,05$) e análises de regressão ($R^2 \geq 0,65$, $p \leq 0,01$ e $p \leq 0,05$ pelo teste t) e gráficas com erro padrão ($n = 5$) utilizando o software Sisvar (Ferreira, 2011) e a planilha eletrônica EXCEL.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Matriz de correlação

Com os resultados físico-hídricos, estruturais e químicos das classes de solo utilizadas no experimento, foi criada a matriz de correlação de Pearson, para avaliar as correlações entre as variáveis. A matriz apresentou um número significativo de correlações positivas e negativas, onde foi estabelecido os coeficientes com valor $\geq 0,65$ (Tabela 4).

A fração areia se correlacionou positivamente com a microporosidade, potencial hidrogeniônico (pH), fósforo (P), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V), e negativamente com silte, argila, densidade do solo (Ds), argila dispersa em água (ADA), acidez potencial ($H+Al$), carbono orgânico total (COT) e manganês (Mn) (Tabela 4). Assis Júnior e Silva (2012) encontraram correlações semelhantes aos nossos achados, onde o uso da água de irrigação com níveis de salinidade no solo com predominância de areia fina, mostrou correlações positivas da fração areia com a microporosidade, P, K^+ , Ca^{2+} , CTC e V. Bem como Bocuti *et al.*, (2020) , apresentou resultados semelhantes para as correlações negativas da fração areia com o silte, argila e COT. O silte correlacionou positivamente com argila, Ds, ADA, manganês (Mn), e negativa com pH, P, K^+ , Ca^{2+} , CTC e V.

Argila teve correlação positiva com Ds, ADA, índice de floculação (IF), ($H+Al$), COT, manganês (Mn), e correlação negativa com a microporosidade, pH, Ca^{2+} , CTC e V. O estudo desenvolvido por Lopes *et al.* (2022) apresentou correlações semelhante para a fração argila (Tabela 4).

	Areia	Silte	Argila	Ds	Macro	Micro	CC	PMP	AD	ADA	IF	N	pH	CE	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	(H+Al)	CTC	V	PST	COT	Cu	Fe	Mn	Zn
Areia	1,00																											
Silte	-1,00	1,00																										
Argila	-1,00	1,00	1,00																									
Ds	-0,67	0,67	0,67	1,00																								
Macro	-0,56	0,56	0,57	0,44	1,00																							
Micro	0,83	-0,83	-0,83	-0,75	-0,66	1,00																						
CC	-0,47	0,47	0,47	0,34	-0,35	-0,12	1,00																					
PMP	-0,62	0,62	0,62	0,36	0,55	-0,55	-0,08	1,00																				
AD	0,05	-0,05	-0,05	0,02	-0,60	0,26	0,78	-0,69	1,00																			
ADA	-0,92	0,92	0,92	0,48	0,36	-0,61	0,64	0,50	0,15	1,00																		
IF	-0,68	0,68	0,68	0,77	0,70	-0,82	-0,08	0,62	-0,45	0,36	1,00																	
N	0,01	-0,01	-0,01	0,09	-0,19	0,15	-0,04	0,15	-0,12	-0,01	0,08	1,00																
pH	0,85	-0,85	-0,85	-0,47	-0,33	0,54	-0,58	-0,66	0,00	-0,88	-0,43	-0,12	1,00															
CE	-0,51	0,51	0,51	0,18	0,28	-0,37	0,33	0,49	-0,07	0,49	0,33	-0,32	-0,72	1,00														
P	0,96	-0,96	-0,96	-0,64	-0,57	0,73	-0,54	-0,49	-0,08	-0,91	-0,59	0,12	0,87	-0,59	1,00													
K ⁺	0,92	-0,92	-0,92	-0,53	-0,56	0,64	-0,41	-0,65	0,11	-0,88	-0,56	-0,01	0,77	-0,33	0,88	1,00												
Na ⁺	-0,06	0,06	0,06	-0,11	0,13	-0,13	-0,02	0,30	-0,21	0,13	-0,10	-0,27	-0,38	0,63	-0,14	0,10	1,00											
Ca ²⁺	0,94	-0,94	-0,94	-0,74	-0,60	0,75	-0,46	-0,53	0,00	-0,87	-0,68	-0,10	0,85	-0,53	0,96	0,83	-0,08	1,00										
Mg ²⁺	-0,18	0,18	0,18	0,12	0,25	0,06	0,26	0,03	0,17	0,38	-0,16	-0,14	-0,36	0,37	-0,36	-0,14	0,36	-0,38	1,00									
(H+Al)	-0,84	0,84	0,84	0,57	0,51	-0,77	0,39	0,48	-0,02	0,67	0,66	-0,21	-0,74	0,58	-0,86	-0,74	0,22	-0,77	-0,06	1,00								
CTC	0,81	-0,81	-0,81	-0,71	-0,43	0,70	-0,29	-0,49	0,10	-0,67	-0,75	-0,44	0,59	-0,13	0,69	0,74	0,35	0,82	0,04	-0,54	1,00							
V	0,86	-0,86	-0,86	-0,59	-0,52	0,77	-0,41	-0,46	-0,01	-0,69	-0,67	0,16	0,74	-0,55	0,87	0,76	-0,17	0,80	0,05	-1,00	0,59	1,00						
PST	-0,64	0,64	0,64	0,58	0,47	-0,76	0,18	0,55	-0,22	0,57	0,49	-0,07	-0,66	0,54	-0,61	-0,41	0,67	-0,64	0,26	0,63	-0,36	-0,61	1,00					
COT	-0,89	0,89	0,88	0,47	0,45	-0,71	0,44	0,63	-0,08	0,86	0,47	-0,19	-0,73	0,36	-0,81	-0,93	0,06	-0,71	0,02	0,77	-0,59	-0,77	0,53	1,00				
Cu	0,05	-0,05	-0,05	0,16	0,01	-0,19	-0,32	0,17	-0,34	-0,08	0,09	0,29	0,30	-0,60	0,29	0,02	-0,30	0,17	-0,29	-0,36	-0,22	0,34	0,05	0,08	1,00			
Fe	-0,51	0,51	0,51	0,28	0,33	-0,50	0,24	0,37	-0,06	0,36	0,42	-0,34	-0,54	0,59	-0,57	-0,45	0,44	-0,42	-0,18	0,88	-0,13	-0,85	0,53	0,54	-0,52	1,00		
Mn	-0,90	0,90	0,90	0,42	0,51	-0,75	0,38	0,71	-0,17	0,88	0,51	-0,18	-0,88	0,73	-0,86	-0,78	0,40	-0,80	0,27	0,75	-0,56	-0,74	0,73	0,84	-0,12	0,53	1,00	
Zn	0,31	-0,31	-0,31	0,29	0,04	0,27	-0,21	-0,09	-0,10	-0,38	0,09	0,20	0,38	-0,45	0,30	0,17	-0,48	0,16	0,14	-0,43	0,01	0,42	-0,38	-0,35	0,27	-0,48	-0,53	1,00

Tabela 4. Matriz de correlação linear de Pearson entre os atributos físicos, químicos, estruturais e hídrico dos tratamentos aplicados nos solos.

Nota: Ds: Densidade do solo; Macro: Macroporos; Micro: Microporos; CC: Capacidade de campo; PMP: Ponto de murcha permanente; AD: Água disponível; ADA: Argila dispersa em água; IF: Índice de floculação; N: Nitrogênio; pH: Potencial hidrogeniônico; CE: Condutividade elétrica; ; P: Fósforo; K⁺: Potássio; Na⁺: Sódio; Ca²⁺: Cálcio; Mg²⁺: Magnésio; (H+Al): Acidez potencial; CTC: Capacidade de troca catiônica; V: Saturação por bases; PST: Percentagem de sódio trocável; COT: Carbono orgânico total; Cu: Cobre; Fe: Ferro; Mn: Manganês; Zn: Zinco.

A Ds correlacionou positivamente com o IF e negativamente com a microporosidade, Ca^{2+} e CTC. A macroporosidade apresentou correlação positiva com o IF e negativo com microporosidade. A microporosidade apresentou correlação positiva com P, Ca^{2+} , CTC, V e negativamente com o IF, (H+Al), porcentagem de sódio trocável (PST) e COT.

A capacidade de campo (CC) teve correlação positiva com a água disponível (AD). O ponto de murcha permanente (PMP) se correlacionou positivamente com Mn, e negativamente com pH e K^+ . A ADA correlacionou positivamente com (H+Al), COT, Mn, e negativamente com pH, P, K^+ , Ca^{2+} , CTC e V.

O IF teve correlação positiva com (H+Al) e negativa com CTC e V. O pH de teve correlação positiva com o P, K^+ , Ca^{2+} , V e negativamente com a CE, PST, COT e Mn.

Os atributos químicos P, K^+ e Ca^{+2} tiveram correlação positiva com a CTC e V, e negativa com (H+Al), COT e Mn. A (H+Al) apresentou correlação positiva com COT, ferro (Fe), Mn e negativa com V. A V apresentou correlação negativa com o l COT, Fe e Mn. A PST e COT tiveram correlação positiva correlação positiva com Mn.

Os resultados encontrados na análise dos componentes principais (Figura 6 A e B), ajudam a explicar os resultados da Matriz de correlação linear de Pearson (Tabela 4). Alguns Latossolos inserido no semiárido do Brasil possuem caráter eutrófico, em decorrência do padrão climático e o material de origem, os óxidos de ferro conferem maior Ds e Fe (Moreau *et al* 2006), possui baixa CTC, a proporção elevada de areia grossa favorece a formação dos macroporos, refletindo em uma menor retenção de água no solo (Karbout *et al.*, 2015).

O Neossolo Flúvico é um solo mineral, oriundo de sedimentos aluviais, que possui alta saturação por bases, a alta porcentagem de areia fina na sua granulometria que confere mais microporos ao solo, menor densidade do solo, a presença de argila de atividade coloidal alta confere maior capacidade de troca catiônica e maior retenção de água (Santos *et al.*, 2018).

6.2 Análise fatorial

A análise fatorial agrupou 28 variáveis (Tabela 5), com o conjunto de 5 fatores. O fator 1 (F1) contribuiu com 54,35% da variação total, que reuniu as variáveis inorgânicas (areia, silte, argila), físico-hídrica (Ds, ADA, IF e microporos), químicos (pH, P, K^+ , Ca^{2+} (H+AL), CTC, V, Mn), e orgânico (COT).

Tabela 5. Eixos fatoriais extraídos e rotacionados pelo método Varimax cujas cargas fatoriais $\geq 0,70$ foram consideradas significativas.

Variáveis	F1	F2	F3	F4	F5
-----------	----	----	----	----	----

Areia	-0,99	-0,06	-0,04	-0,06	-0,08
Silte	0,99	0,06	0,04	0,06	0,08
Argila	0,99	0,06	0,05	0,06	0,08
Ds	0,73	0,05	0,12	0,07	-0,49
Macro	0,51	0,22	0,67	0,16	-0,24
Micro	-0,81	-0,16	-0,37	0,15	0,03
CC	0,50	0,09	-0,79	0,17	0,11
PMP	0,60	-0,14	0,60	0,10	0,29
AD	-0,01	0,15	-0,95	0,06	-0,10
ADA	0,90	-0,05	-0,19	0,26	0,25
IF	0,70	0,13	0,51	-0,18	-0,33
N	0,08	-0,69	-0,01	-0,03	-0,05
pH	-0,83	-0,10	0,05	-0,32	-0,35
CE	0,42	0,55	0,10	0,40	0,39
P	-0,93	-0,25	0,06	-0,21	-0,03
K ⁺	-0,92	0,05	-0,02	0,00	-0,04
Na ⁺	-0,03	0,43	0,31	0,44	0,64
Ca ²⁺	-0,94	-0,09	-0,03	-0,27	0,09
Mg ²⁺	0,12	0,07	-0,10	0,96	-0,07
(H+Al)	0,82	0,50	0,06	-0,18	0,12
CTC	-0,86	0,33	-0,06	0,10	0,23
V	-0,85	-0,47	-0,03	0,19	-0,08
PST	0,60	0,21	0,36	0,25	0,31
COT	0,87	0,03	0,03	-0,11	0,25
Cu	0,00	-0,75	0,34	-0,24	-0,09
Fe	0,48	0,72	0,10	-0,25	0,28
Mn	0,83	0,15	0,16	0,21	0,42
Zn	-0,23	-0,27	0,12	0,19	-0,80
Autovalores	15,21	3,35	3,00	2,17	1,52
Variância Total (%)	54,35	11,97	10,72	7,78	5,45
Variância Total Acumulada (%)	54,35	66,33	77,05	84,83	90,29

Nota: Ds: Densidade do solo; Macro: Macroporos; Micro: Microporos; CC: Capacidade de campo; PMP: Ponto de murcha permanente; AD: Água disponível; ADA: Argila dispersa em água; IF: Índice de floculação; N: Nitrogênio; pH: Potencial hidrogeniônico; CE: Condutividade elétrica; P: Fósforo; K⁺: Potássio; Na⁺: Sódio; Ca²⁺: Cálcio; Mg²⁺: Magnésio; (H+Al): Acidez potencial; CTC: Capacidade de troca catiônica; V: Saturação por bases; PST: Percentagem de sódio trocável; COT: Carbono orgânico total; Cu: Cobre; Fe: Ferro; Mn: Manganês; Zn: Zinco.

O F2 contribuiu com 11,97% e agrupou as variáveis químicas (Cu e Fe). O F3 agrupou a CC e AD que contribuíram com 10,72% de variação. O F4 contribuiu com 7,78% de variação e teve o Magnésio (Mg²⁺) como variável, enquanto o F5 agrupou o Zinco (Zn) e contribuiu com 5,45% de variação. O somatório dos cinco fatores (F1, F2, F3, F4, F5) resultou em 90,29% da variância total acumulada.

Os resultados encontrados na análise fatorial, mostra que a textura do solo exerce influência sobre os atributos físico-hídrico e químico do solo (KLEIN *et al.*, 2015). É um dos

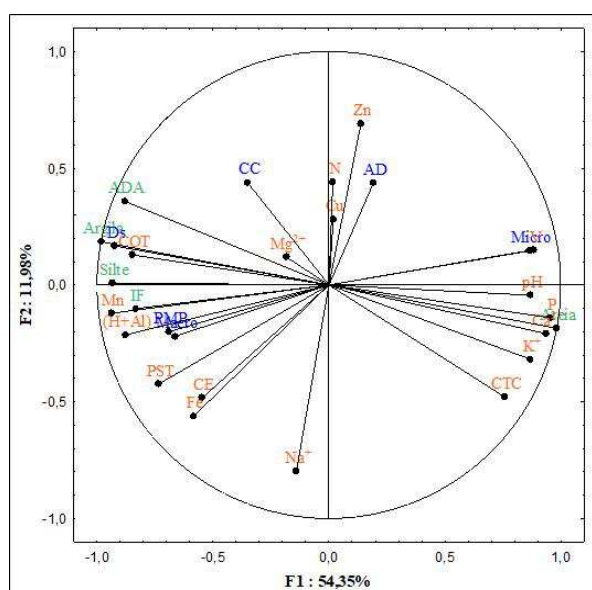
principais parâmetros para determinar a qualidade física do solo e entender as inter-relações que ocorre no solo (Centeno *et al.*, 2017; Khosravi *et al.*, 2024).

6.3 Análise de Componentes Principais

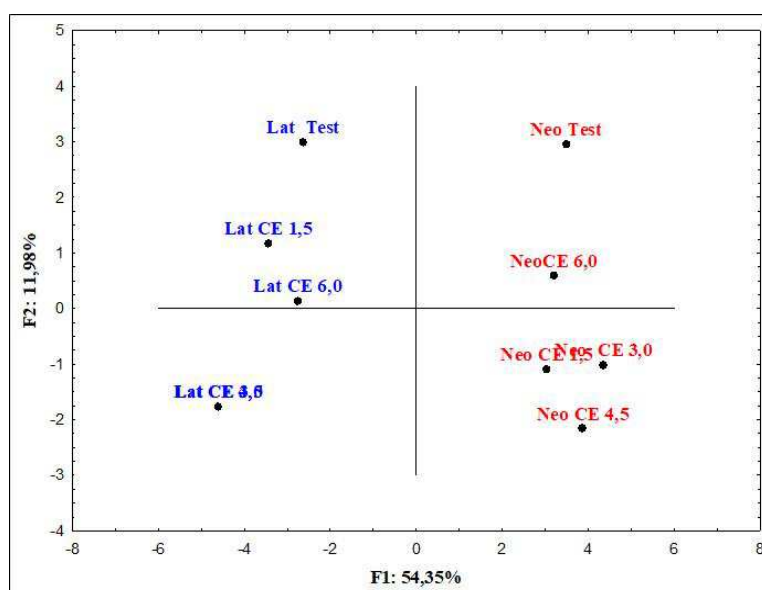
A análise de componentes principais (ACP) discriminou os atributos do solo e as classes de solo, onde as componentes 1 e 2 contribuíram com 66,33% da explicabilidade dos resultados obtidos.

As variáveis físico-hídricas IF, PMP, macroporos, e as variáveis química Mn, (H+Al), PST, CE, Fe, e Na^+ discriminou a classe do Latossolo nos tratamentos com a CE 3,0 e 4,5 dS m^{-1} . As variáveis silte e Mg^{2+} discriminaram o Latossolo na CE 6,0 dS m^{-1} . O COT, Ds, argila e ADA discriminaram o Latossolo CE 1,5 dS m^{-1} . A CC discriminou a o Latossolo testemunha (Figura 6).

A.



B.



Nota: Distribuição das variáveis físico-hídricas, estruturais, químicas e orgânicas no círculo de correlação (A) e distribuição da nuvem de pontos que representam as classes de solo e seu tratamento (B). Classe de solo: Latossolo Vermelho (Lat); Tratamentos – testemunha; CE 1,5; CE 3,0; CE 4,5; CE 6,0 dS m^{-1} . Neossolo Flúvico (Neo): Tratamentos – testemunha; CE 1,5; CE 3,0; CE 4,5; CE 6,0 dS m^{-1} .

Figura 6. Distribuição das variáveis no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos (B) que representa a relação entre os fatores 1 e 2.

As variáveis pH, P, areia, Ca^{2+} , K^{+} e CTC discriminaram a classe do Neossolo nas diluições níveis de CE de 1,5, 3,0 e 4,5 dS m^{-1} . A microporosidade e V discriminaram o Neossolo a diluição com a CE 6,0 dS m^{-1} . O N, Zn, Cu) e AD discriminaram o Neossolo testemunha.

Os resultados obtidos na análise de componentes principais, reforça a importância da distribuição das partículas no solo, bem como o fracionamento da areia total em solos arenosos. (Fidalski *et al.*, 2013). A distribuição entre as frações de areia fina e grossa é uma característica inerente ao solo, que permite entender o arranjo dos poros no solo, a movimentação de água e as inter-relações com os atributos do solo (Costa *et al.*, 2020). Destacando a importância da matéria orgânica em solos arenosos, além de aumentar a agregação, melhora a retenção e a disponibilidade de água nos solos (Viana *et al.*, 2023).

6.5 Índices fisiológicos do sorgo forrageiro

A interação entre Solos x Salinidades influenciou significativamente as variáveis: transpiração, déficit pressão de vapor, condutância estomática, taxa de fotossíntese líquida, concentração interna de carbono, e as eficiências instantânea do uso da água e de carboxilação (Tabela 6).

Tabela 6. Análise de variância dos índices fisiológicos do sorgo Ponta Negra.

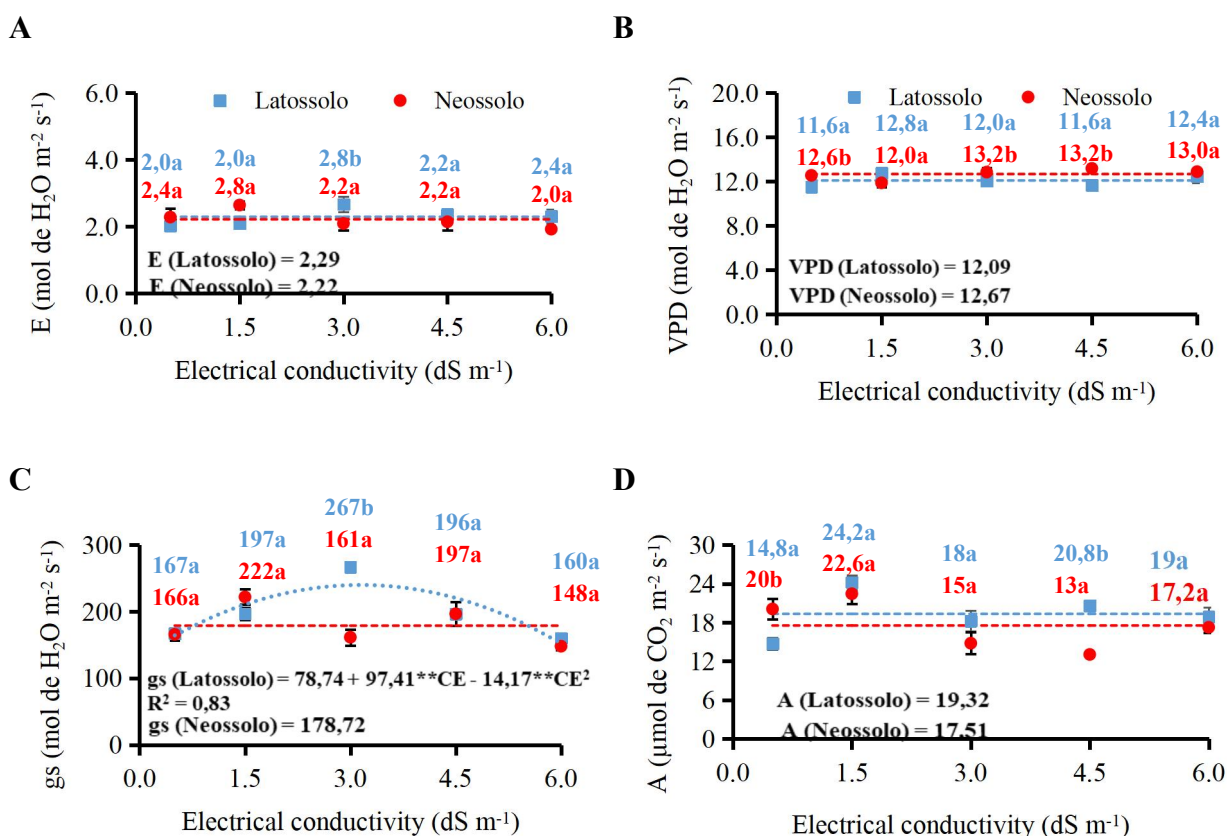
FV	GL	QM							
		E	VPD	gs	A	Ci	EUA	EiC	EiUA
Blocos	4	0,85	1,33	519	17,68	1558	11,03	0,00066	0,00028
Solos (Sol)	1	0,02 ^{ns}	6,48**	4324**	40,50*	882 ^{ns}	2,88 ^{ns}	0,00092 ^{ns}	0,00000 ^{ns}
Salinidades (Sal)	4	0,20 ^{ns}	0,53 ^{ns}	7102**	79,83**	2179**	12,53**	0,0033**	0,0026**
Sol x Sal	4	0,82**	2,13*	6332**	54,05**	4710**	11,93**	0,0017**	0,0022**
Resíduo		0,14	0,61	454	6,32	576	2,51	0,00042	0,00034
CV (%)		16,20	6,27	11,33	13,62	11,26	18,98	23,04	18,27
Média geral		2,30	12,44	188	18,46	213	8,36	0,089	0,10

Nota: Fonte de variação (FV); Graus de liberdade (GL); Quadrado médio (QM); Coeficiente de variação (CV); Transpiração (E); Déficit pressão de vapor (VPD); Condutância estomática (gs); Taxa de fotossíntese líquida (A); Concentração interna de carbono (Ci); Uso eficiente da água (EUA); Eficiência instantânea de carboxilação (EiC); Eficiência instantânea no uso da água (EiUA). **Nota:** **, * e ^{ns}, significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F e não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Ainda na análise de variância, verifica-se efeito isolado das Salinidades, que influenciaram os índices fisiológicos do sorgo forrageiro, referentes a condutância estomática, taxa de fotossíntese líquida, concentração interna de carbono, eficiência instantânea do uso da água e de carboxilação (Tabela 6). O déficit pressão de vapor, condutância estomática e taxa de fotossíntese líquida das plantas responderam aos Solos. Os coeficientes de variação foram

classificados como (Pimentel-Gomes, 2022): baixo ($CV < 10\%$) para a variável déficit de pressão de vapor; médio ($10\% \leq CV \leq 20\%$) para as variáveis transpiração, condutância estomática, taxa de fotossíntese líquida, concentração interna de carbono, uso eficiente da água e uso e eficiência instantâneo no uso da água; e alto ($20\% \leq CV \leq 30\%$) para a variável eficiência instantânea de carboxilação.

Constam, na Figura 7, os valores médios, erro padrão, comparação das médias e equações de regressão dos parâmetros fisiológicos transpiração, déficit pressão de vapor, condutância estomática e taxa de fotossíntese líquida do sorgo forrageiro em função da condutividade elétrica da fertirrigação com água mãe e água de chuva para duas classificações de solo do semiárido.



Nota: Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas não diferem estaticamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ** Significativo pelo teste t ($p \leq 0,01$).

Figura 7. Índices fisiológicos transpiração- E (A), déficit pressão de vapor- VPD (B), condutância estomática- gs (C) e taxa de fotossíntese líquida- A (D) do sorgo forrageiro em função da condutividade elétrica.

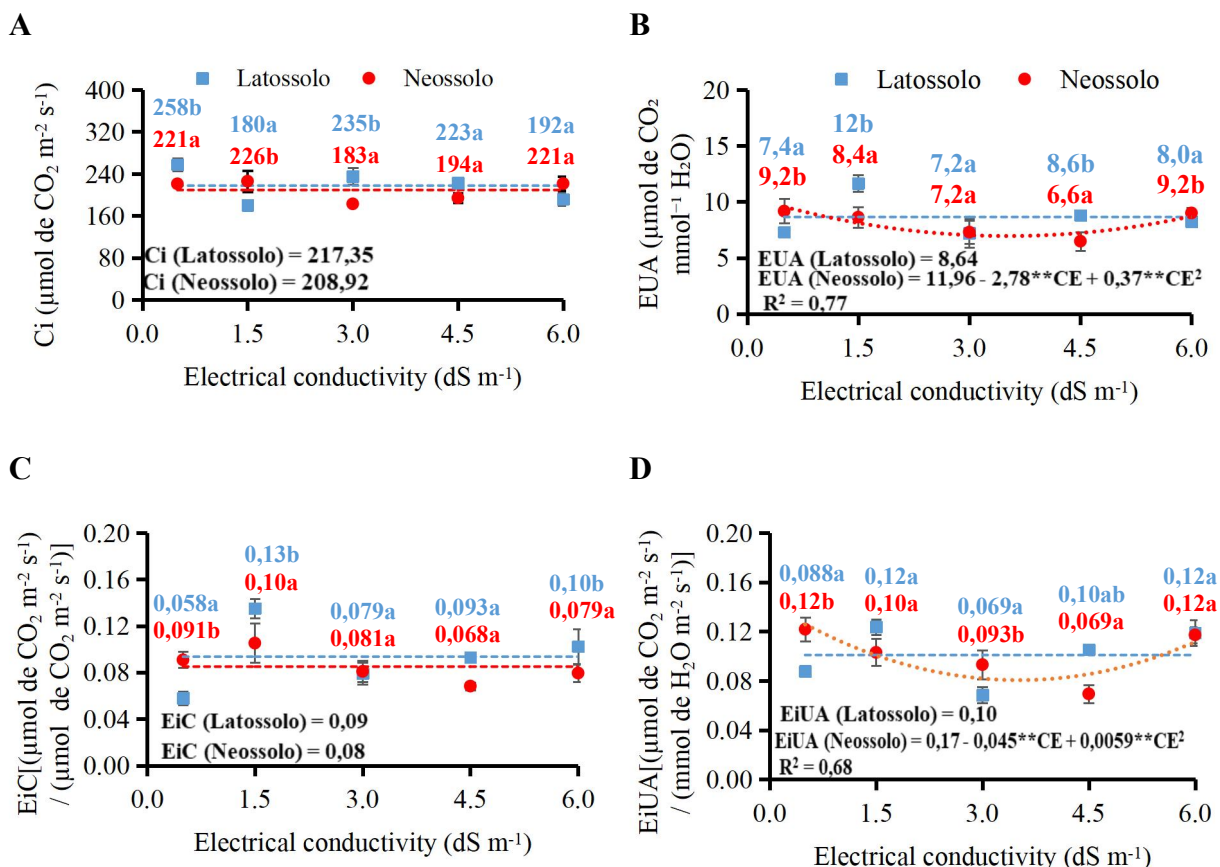
Não houve efeito significativo ($p \leq 0,05$) das Salinidades na transpiração do sorgo em nenhum dos solos, onde a melhor representação da relação transpiração em função das Salinidades foi o modelo nulo (médias). Por outro lado, quando os Solos são comparados em cada Salinidade tem diferença estatística ($p \leq 0,05$) da transpiração do sorgo no Latossolo em relação ao Neossolo apenas na Salinidade de 3,0 dS m⁻¹ (Figura 7A). No trabalho de Silva *et al.* (2019) constatou-se que transpiração de genótipos do sorgo diminuíram com o aumento da Salinidade diferentemente dos resultados apresentados no presente estudo. Esses resultados não corroboram os encontrados por Guimarães *et al.* (2022), onde houve relação quadrático entre a transpiração e salinidade e nem com os de Coelho *et al.* (2018) que encontraram relação linear.

O déficit pressão de vapor do sorgo, também, não apresentou alteração significativa ($p \leq 0,05$) com as Salinidades em nenhum dos Solos, indicação que o modelo nulo (média) é o que melhor representa essa relação. Enquanto, ao analisar os Solos em cada Salinidade tem-se diferença estatística ($p \leq 0,05$) do déficit pressão de vapor do sorgo no Latossolo em relação ao Neossolo nas Salinidades 0,5, 3,0 e 4,5 dS m⁻¹ (Figura 7B).

No Latossolo o modelo quadrático ($R^2 = 0,83$) foi o que melhor representou a relação entre condutância estomática e Salinidades (figura 7C), tendo ponto de máxima de 246,15 mol de H₂O m⁻² s⁻¹ na Salinidade de 3,44 dS m⁻¹, corroborando com o estudo de Guimarães *et al.* (2022) que também ajustaram o modelo quadrático a essa relação, mas diferindo do trabalho de Coelho *et al.* (2008) que obtiveram relação linear. Já no Neossolo não houve efeito significativo ($p \leq 0,05$) das Salinidades na condutância estomática, tendo o modelo nulo (média) como a melhor representação dessa relação. Os dados do presente trabalho não corroboram com os de Silva *et al.* (2019), onde a condutância estomática do sorgo diminuiu com o aumento da salinidade. Com relação aos Solos em cada Salinidade houve diferença estatística ($p \leq 0,05$) da condutância estomática do Latossolo em relação ao Neossolo nas Salinidades 1,5, 3,0 e 4,5 dS m⁻¹.

A taxa de fotossíntese líquida do sorgo não alterou significativamente ($p \leq 0,05$) com as Salinidades em nenhum dos Solos (Figura 7D). Assim, o modelo nulo (média) foi o que melhor se ajustou a relação fotossíntese e Salinidades nos dois Solos. Esses resultados contrariam os obtidos por Silva *et al.* (2019) que encontraram relações linear e quadrática para a relação fotossíntese e Salinidades e por Guimarães *et al.* (2022) e Coelho *et al.* (2008) que ajustaram modelo quadrático e linear, respectivamente, a essa relação. Para o fator Solos em cada nível de salinidade tem-se diferença estatística ($p \leq 0,05$) da fotossíntese do sorgo no Latossolo em relação ao Neossolo nas salinidades 0 e 4,5 dS m⁻¹.

Apresentam-se, na Figura 8, os valores médios, erro padrão, comparação das médias e equações de regressão dos parâmetros fisiológicos concentração interna de carbono, uso eficiente da água, eficiência instantânea de carboxilação e eficiência instantânea no uso da água-EiUA do sorgo forrageiro em função da condutividade elétrica da fertirrigação com água mãe e água de chuva para duas classificações de solo do semiárido.



Nota: Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas não diferem estaticamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ** Significativo pelo teste t ($p \leq 0,01$).

Figura 8. Índices fisiológicos concentração interna de carbono – Ci (A), uso eficiente da água-EUA (B), eficiência instantânea de carboxilação - EiC (C) e eficiência instantânea no uso da água-EiUA (D) do sorgo forrageiro em função da condutividade elétrica.

A concentração interna de carbono no sorgo para os dois Solos não variou significativamente ($p \leq 0,05$) com as Salinidades (Figura 8A). Indicando que o modeo nulo (média) foi o que melhor representou a relação concentração interna de carbono em função das Salinidades. Ao analisar os Solos dentro de cada nível de salinidade constata-se que houve diferença estatística ($p \leq 0,05$) da concentração interna de carbono no sorgo do Latossolo em relação ao Neossolo.

Para o Neossolo, o modelo quadrático ($R^2 = 0,77$) foi o que melhor se ajustou aos

dados de uso eficiente da água do sorgo em relação às Salinidades (Figura 8B). Com a derivada primeira do modelo quadrático tem-se o ponto de mínimo uso eficiente da água de $6,74 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ na salinidade de $3,76 \text{ dS m}^{-1}$. Nesse solo o aumento da salinidade diminuiu a eficiência do uso de água, mas na máxima salinidade de $6,0 \text{ dS m}^{-1}$ ocorre aumento do uso eficiente da água, devido as características encontradas nos atributos físicos do Neossolo, que confere maior retenção de água com o aumento da salinidade. Enquanto, no Latossolo não houve efeito significativo ($p \leq 0,05$) das Salinidades na alteração do uso eficiente da água (Figura 8B). Analisado os Solos em cada nível de salinidade, percebe-se que apenas na salinidade de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$, o uso eficiente da água do sorgo no Latossolo em relação ao Neossolo, não foi alterado significativamente ($p \leq 0,05$). Esses resultados não corroboram com os apresentados por Guimarães *et al.* (2019), onde o aumento da salinidade diminuiu a eficiência do uso de água do sorgo. Por outro lado, o resultado do estudo realizado por Guimarães *et al.* (2022) se assemelha aos nossos achados, onde o sorgo elevou o nível de eficiência no uso de água ao aplicar o tratamento com maior nível de salinidade.

Não ocorreu alteração significativa da eficiência instantânea de carboxilação ($p \leq 0,05$) do sorgo com as Salinidades nos dois Solos estudados (Figura 8C). Assim, o modelo nulo (média) foi o que melhor representou a relação eficiência instantânea de carboxilação e Salinidades. Entretanto, quando se compara os Solos dentro de cada nível de salinidade observa-se que a eficiência instantânea de carboxilação do sorgo no Latossolo difere estatisticamente do Neossolo nas Salinidade de $0,5$, $1,5$ e $6,0 \text{ dS m}^{-1}$.

No Latossolo a eficiência instantânea no uso da água não foi alterada significativamente ($p \leq 0,05$) pelas salinidades (Figura 8D). No entanto, no Neossolo o modelo quadrático ($R^2 = 0,68$) foi o que melhor se ajustou aos dados de eficiência instantânea no uso da água em função das Salinidades. Assim, o ponto de mínima eficiência instantânea no uso da água de $0,084 [(\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}) / (\text{mmol de H}_2\text{O} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1})]$ ocorreu na salinidade de $3,81 \text{ dS m}^{-1}$. Com relação ao fator Solos dentro de cada nível de salinidade, especificamente as salinidades de $1,5$ e $6,0 \text{ dS m}^{-1}$ não apresentaram diferença estatística ($p \leq 0,05$) da eficiência instantânea no uso da água do sorgo quando o Latossolo e Neossolo são comparados (Figura 8D).

6.6 Atributos químicos do solo

Os atributos químicos analisados (Tabelas 7 e 8), mostram que o uso do efluente da indústria salineira não trouxe risco de salinização aos solos (Santos *et al.*, 2018). Os valores da CTC permaneceram baixos, devido à baixa quantidade de matéria orgânica e a presença do quartzo como constituinte principal da areia encontradas nos solos (Queiroz *et al.*, 2018).

Tabela 7. Média dos atributos químicos do Latossolo e seus respectivos tratamentos.

Latossolo	N	pH	CE	M.O	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H+Al)
	G kg ⁻¹	H ₂ O	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹			mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³	
CE 1,5 dS m ⁻¹	0,27	7,00	0,07	6,76	34,6	19,0	36,6	2,12	0,07	0,00	0,91
CE 3,0 dS m ⁻¹	0,11	6,60	0,13	8,44	29,5	22,0	53,3	2,06	0,83	0,00	0,68
CE 4,5 dS m ⁻¹	0,36	6,62	0,11	7,18	31,9	35,0	54,5	1,75	0,50	0,00	0,87
CE 6,0 dS m ⁻¹	0,49	6,64	0,09	7,18	24,7	23,0	38,6	1,42	1,06	0,00	0,36
Controle	0,45	6,88	0,06	10,56	54,7	23,0	42,5	2,19	0,42	0,00	0,26

Latossolo	SB	t	CTC	V	m	PST	COT	Cu	Fe	Mn	Zn
	cmol _c dm ⁻³			%		g kg ⁻¹		mg dm ⁻³			
CE 1,5 dS m ⁻¹	2,40	2,40	3,31	73	0	5	7,5	0,4	20	26,00	1,18
CE 3,0 dS m ⁻¹	3,18	3,18	3,86	82	0	6	7,86	0,30	18,08	30,50	1,40
CE 4,5 dS m ⁻¹	2,58	2,58	3,45	75	0	7	5,64	0,32	20,59	28,35	0,09
CE 6,0 dS m ⁻¹	2,71	2,71	3,07	88	0	5	5,04	0,29	5,47	26,50	2,43
Controle	2,85	2,85	3,12	92	0	6	7,66	0,75	4,48	28,30	1,23

Nota: pH: Potencial hidrogeniônico; CE: Condutividade elétrica; MO: Matéria orgânica; N: Nitrogênio; P: Fósforo; K⁺: Potássio; Na⁺: Sódio; Ca²⁺: Cálcio; Mg²⁺: Magnésio; Al³⁺: alumínio; (H+Al): acidez potencial; SB: Soma de bases; t: CTC efetiva; CTC: Capacidade de troca catiônica; V: Saturação por bases; m: Saturação por alumínio; PST: Percentagem de sódio trocável; Cu: Cobre; Fe: Ferro; Mn: Magnésio; Zn: Zinco.

Tabela 8. Média dos atributos químicos do Neossolo e seus respectivos tratamentos.

Neossolo	N	pH	CE	M.O	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H+Al)
	g kg ⁻¹	H ₂ O	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹			mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³	
CE 1,5 dS m ⁻¹	0,49	6,98	0,07	6,76	92,1	40,0	50,5	3,30	0,48	0,00	0,13
CE 3,0 dS m ⁻¹	0,34	7,25	0,07	3,38	101,3	47,0	37,6	3,62	0,07	0,00	0,00
CE 4,5 dS m ⁻¹	0,13	7,37	0,06	2,96	81,5	47,0	46,5	3,27	0,87	0,00	0,00
CE 6,0 dS m ⁻¹	0,34	7,30	0,09	3,38	95,7	52,0	47,5	3,15	0,47	0,00	0,00
Controle	0,39	7,38	0,05	27,87	97,1	46,0	39,5	3,08	0,44	0,00	0,00

Neossolo	SB	t	CTC	V	m	PST	COT	Cu	Fe	Mn	Zn
	cmol _c dm ⁻³			%		g kg ⁻¹		mg dm ⁻³			
CE 1,5 dS m ⁻¹	4,10	4,10	4,23	97	0	5	3,63	0,35	12,24	22,82	1,31

CE 3,0 dS m⁻¹	3,97	3,97	3,97	100	0	4	3,43	0,41	6,42	22,12	1,31
CE 4,5 dS m⁻¹	4,46	4,46	4,46	100	0	5	3,43	0,39	6,14	22,41	1,38
CE 6,0 dS m⁻¹	3,96	3,96	3,96	100	0	5	1,41	0,38	6,26	23,65	1,21
Controle	3,81	3,81	3,81	100	0	5	2,42	0,55	5,69	19,95	4,64

Nota: pH: Potencial hidrogeniônico; CE: Condutividade elétrica; MO: Matéria orgânica; N: Nitrogênio; P: Fósforo; K⁺: Potássio; Na⁺: Sódio; Ca²⁺: Cálcio; Mg²⁺: Magnésio; Al³⁺ alumínio; (H+Al): acidez potencial; SB: Soma de bases; t: CTC efetiva; CTC: Capacidade de troca catiônica; V: Saturação por bases; m: Saturação por alumínio; PST: Percentagem de sódio trocável; Cu: Cobre; Fe: Ferro; Mn: Magnésio; Zn: Zinco.

O uso da água residuária da indústria salineira (água mãe) diluída em água de chuva promoveu aporte do P, Na⁺ e Ca²⁺ e reduziu a acidez potencial e os teores Mg²⁺ e K⁺.

Os valores da CE, PST e pH (Tabela 7 e 8) e RAS (Tabela 3), seguindo os critérios e limites para classificação de solos permanece normal (Pereira *et al.*, 1998; Kundu *et al.*, 2022). A saturação por bases (V) teve valores acima de 70% no Latossolo, teores de Na⁺ encontrados nos tratamentos influenciam os valores de V (Farias *et al.*, 2023).

6.7 Retenção de água no solo

A partir da determinação da curva de retenção de água no solo em laboratório, foi possível avaliar os atributos físico-hídricos dos solos utilizados no presente trabalho (Figura 9). Os resultados encontrados na curva, para as amostras coletadas antes da instalação do experimento, mostram que a textura do Neossolo, que contém na fração granulométrica 91% da areia total e 81% de areia fina, presença da argila do tipo 2:1 influenciou os parâmetros da curva. A umidade de saturação (θ_s), a capacidade de campo (-10kPa), água disponível (AD) destacaram no Neossolo, o ponto de murcha permanente destacou o Latossolo na profundidade de 0,10-0,20. Em baixas tensões, o Neossolo apresentou maior retenção de água no solo em comparação com o Latossolo (Figura 9).

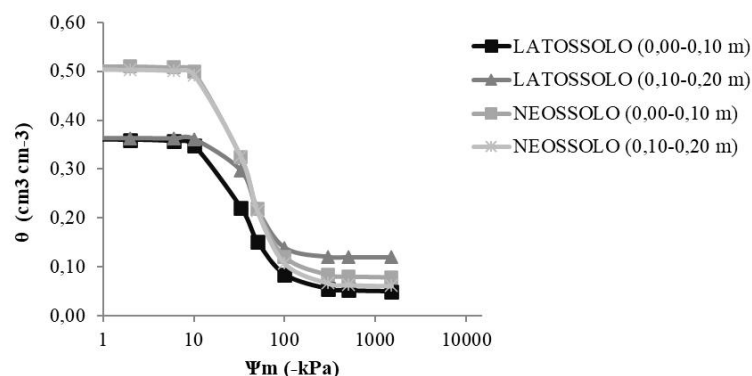


Figura 9. Curva de retenção de água no solo do Latossolo e Neossolo.

Os coeficientes de determinação (R^2) apresentaram valores a partir de 90% indicando bom ajuste das curvas de retenção de água no solo pela equação de van Genuchten (Tabela 9).

Tabela 9. Parâmetros das curvas de retenção de água no solo, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, água disponível e coeficiente de determinação da regressão dos solos utilizados no experimento, Mossoró-RN.

Solos/Camadas	θ_r	θ_s	α	n	m	CC	PMP	AD	R^2
	$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	Adimensional			$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	
LAT (0,00-0,10 m)	0,05	0,36	0,04	2,70	0,63	0,35	0,05	0,30	0,99
LAT (0,10-0,20 m)	0,12	0,36	0,03	3,65	0,73	0,36	0,12	0,24	0,95
NEO (0,00-0,10 m)	0,08	0,51	0,03	2,91	0,66	0,50	0,08	0,42	0,90
NEO (0,10-0,20 m)	0,06	0,50	0,03	2,92	0,66	0,49	0,06	0,43	0,98

Nota: θ_r : Umidade residual; θ_s : Umidade de saturação; α , n , m : Parâmetros adimensionais; CC: Capacidade de campo; PMP: Ponto de murcha permanente; AD: Água disponível; R^2 : Coeficiente da regressão; Diluições de água residuária de salineira solar (ARSS) em água de chuva (AC): D1,5 - ARSS em AC tendo CE_i de 1,5 dS m^{-1} ; D3,0 - ARSS em AC tendo CE_i de 3,0 dS m^{-1} ; c) D4,5 - ARSS em AC tendo CE_i de 4,5 dS m^{-1} ; d) D6 - ARSS em AC tendo CE_i de 6,0 dS m^{-1} ; Neo test: Neossolo (testemunha) 100% de Água de chuva; Lat test: Latossolo (testemunha) 100% de Água de chuva.

O Neossolo devido ao predomínio de areia fina em sua granulometria e argila de atividade coloidal alta, apresentou nas baixas tensões uma maior retenção de água no solo, na aplicação dos tratamentos com maior nível de salinidade sob (Figura 10 A)

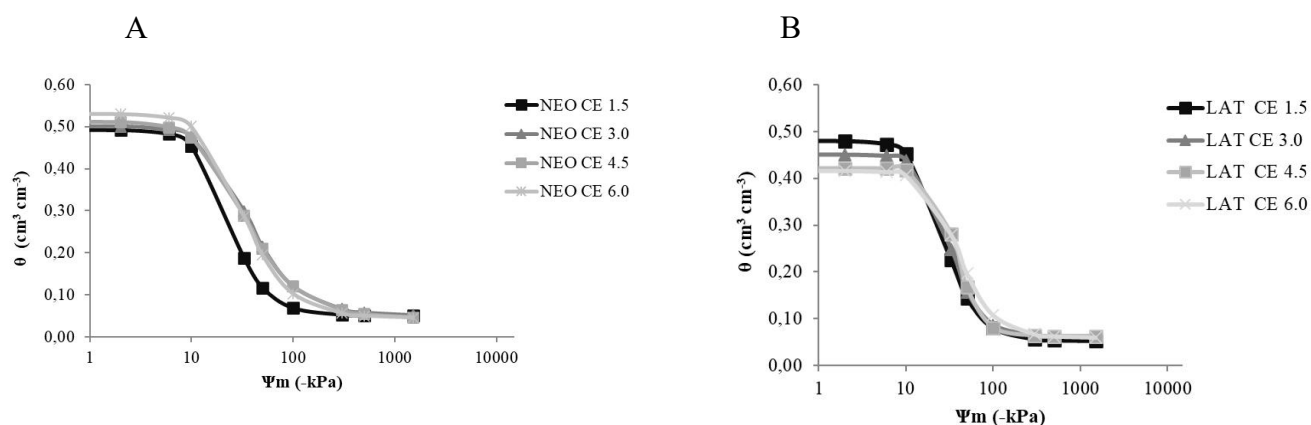


Figura 10. Curvas de retenção de água no solo do Neossolo (A) e Latossolo (B) e seus respectivos tratamentos.

O Latossolo devido ao predomínio da argila do tipo 1:1, em sua granulometria e argila de atividade coloidal baixa, apresentou nos tratamentos com maior nível de salinidade sob baixas tensões a menor retenção de água no solo (Figura 10 B).

A umidade de saturação (θ_s) destacaram o Neossolo, a umidade residual θ_r destacou o Latossolo nos tratamentos CE 3,0, 4,5 e 6,0 dS m⁻¹, a capacidade de campo (CC) destacou o Neossolo na CE 3,0, 4,5 e 6,0 dS m⁻¹, o ponto de murcha permanente (PMP) destacou o Latossolo CE 3,0, 4,5 e 6,0 dS m⁻¹, a água disponível destacou o Neossolo CE 3,0, 4,5 e 6,0 dS m⁻¹ (Figura 11). Os coeficientes de determinação (R^2) apresentaram valores acima dos 90% indicando bom ajuste das curvas de retenção de água no solo pela equação de van Genuchten (Tabela 10).

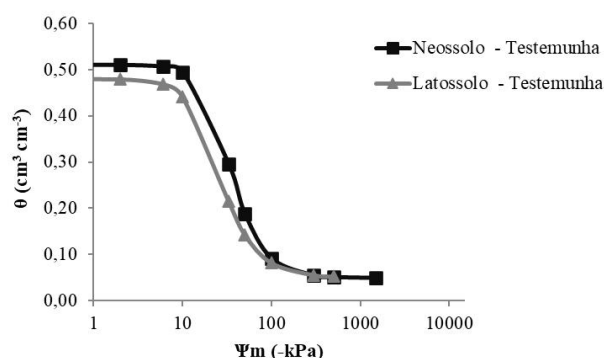


Figura 11. Curvas de retenção de água no solo das amostras controle.

A umidade de saturação (θ_s), a capacidade de campo (CC) e a água disponível (AD) destacou o Neossolo. Em baixas tensões, o Neossolo apresentou maior retenção de água em comparação com o Latossolo. Os coeficientes de determinação (R^2) apresentaram valores a partir de 90%, indicando bom ajuste das curvas de retenção de água no solo pela equação de van Genuchten (Tabela 10).

Tabela 10. Parâmetros das curvas de retenção de água no solo, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, água disponível e coeficiente de determinação da regressão dos solos utilizados no experimento, Mossoró-RN.

TRAT	Θ_r	θ_s	A	n	m	CC	PMP	AD	R ²
	cm ³	cm ⁻³	Adimensional			cm ³ cm ⁻³			
NEO - TEST	0,05	0,51	0,04	2,85	0,65	0,49	0,05	0,44	0,99
LAT - TEST	0,05	0,48	0,05	2,61	0,62	0,44	0,05	0,39	0,99
NEO (1,5 dS m ⁻¹)	0,05	0,49	0,05	2,94	0,66	0,45	0,05	0,40	0,99
NEO (3,0 dS m ⁻¹)	0,05	0,50	0,04	2,35	0,57	0,47	0,05	0,42	0,99

NEO (4,5 dS m ⁻¹)	0,04	0,51	0,04	2,20	0,55	0,47	0,04	0,43	0,98
NEO (6,0 dS m ⁻¹)	0,04	0,53	0,04	2,48	0,60	0,50	0,04	0,46	0,99
LAT (1,5 dS m ⁻¹)	0,05	0,48	0,05	2,81	0,64	0,45	0,05	0,40	0,99
LAT (3,0 dS m ⁻¹)	0,06	0,45	0,04	3,06	0,67	0,44	0,06	0,38	0,99
LAT (4,5 dS m ⁻¹)	0,06	0,42	0,03	3,67	0,73	0,42	0,06	0,36	0,98
LAT (6,0 dS m ⁻¹)	0,06	0,42	0,03	2,70	0,63	0,41	0,06	0,35	0,98

Nota: θ_r : Umidade residual; θ_s : Umidade de saturação; α , n , m : Parâmetros adimensionais; CC: Capacidade de campo; PMP: Ponto de murcha permanente; AD: Água disponível; R^2 : Coeficiente de regressão linear; Diluições de água residuária de salineira solar (ARSS) em água de chuva (AC): D1,5 - ARSS em AC tendo CE_i de 1,5 dS m⁻¹; D3,0 - ARSS em AC tendo CE_i de 3,0 dS m⁻¹; c) D4,5 - ARSS em AC tendo CE_i de 4,5 dS m⁻¹; D6 - ARSS em AC tendo CE_i de 6,0 dS m⁻¹; Neo test: Neossolo (testemunha) 100% de Água de chuva; Lat test: Latossolo (testemunha) 100% de Água de chuva.

Os resultados das curvas de retenção de água no solo apresentaram maior retenção de água nas baixas tensões, e partir da capacidade de campo (-10kPa) ocorre acentuada perda de umidade. O estudo realizado por Silva *et al.* (2020) corroboram com os nossos achados, que o predomínio de areia fina favorece a formação e microporos, permitindo a retenção de água entre as partículas do solo. Essa matriz proporciona menor perda de umidade do solo por percolação e maior retenção de água devido às altas porcentagens de partículas mais finas (Viana *et al.*, 2023).

O trabalho realizado por Fidalski *et al.* (2013) traz similaridades aos resultados encontrados nas curvas de retenção do Latossolo, o predomínio de areia grossa e macroporos está associada à disponibilidade reduzida de água.

7. CONCLUSÕES

A interação entre Solos x Salinidades influenciou significativamente as variáveis: transpiração, déficit pressão de vapor, condutância estomática, taxa de fotossíntese líquida, concentração interna de carbono, e as eficiências instantânea do uso da água e de carboxilação.

Os diferentes níveis de salinidades, apresentou efeito isolado sobre os índices fisiológicos do sorgo forrageiro, referentes a condutância estomática, taxa de fotossíntese líquida, concentração interna de carbono, eficiência instantânea do uso da água e de carboxilação. O déficit pressão de vapor, condutância estomática e taxa de fotossíntese líquida das plantas responderam aos Solos.

A aplicação de diluições da água residuária de salineira solar em água de chuva apresentou variações nos resultados dos índices fisiológicos do sorgo forrageiro. O coeficiente de determinação R^2 baixo para as variáveis analisadas, mostra que há outros fatores

influenciando a variabilidade dos resultados. Não sendo possível afirmar que a salinidade é o único fator que está gerando variabilidade ou efeito sobre as variáveis dos índices fisiológicos.

O Neossolo, em função do predomínio de areia fina e microporos, gerou maior retenção de água no solo sob baixas tensões em comparação com o Latossolo.

Nas baixas tensões, o Neossolo apresentou maior retenção de água no solo na diluição com maior nível de salinidade CE 6,0 dS m⁻¹. Enquanto no Latossolo ocorreu o contrário, maior retenção de água na diluição com menor nível de salinidade CE 1,5 dS m⁻¹.

Durante o desenvolvimento do sorgo forrageiro em campo, visualmente as aplicações das diluições não apresentaram diferenças entre os tratamentos e aspectos agrônômicos.

Vale ressaltar, a importância da realização de novos experimentos no período seco e chuvoso do ano, para confiabilidade dos resultados.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD EL-MAGEED, Taia A. et al. Consecutive seasonal effect on yield and water productivity of drip deficit irrigated sorghum in saline soils. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 29, n. 4, p. 2683-2690, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.12.045>.

AKÇA, E. et al. Long-term monitoring of soil salinity in a semi-arid environment of Turkey. **Catena**, v. 193, p. 104614, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104614>.

ALBERTI, Márcio Alexandre et al. The challenge of urban food production and sustainable water use: Current situation and future perspectives of the urban agriculture in Brazil and Italy. **Sustainable Cities and Society**, v. 83, p. 103961, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103961>.

ALBUQUERQUE, Carlos Juliano Brant; DE MENEZES, Cícero Beserra; DE FREITAS, Rogério Soares. Origem, evolução e domesticação do sorgo. **MENEZES, Cicero Beserra de (Ed.). Melhoramento genético de sorgo. Brasília, DF: Embrapa, 2021.**, 2021. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1138287>. Acesso em: 3 jan. 2024.

ALLEN, Richard G. et al. **Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, v. 298, 2006. 298p. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>. Acesso em: 12 jan. 2024.

ALVARES, Clayton Alcarde et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

ASHOORI, Naghmeh et al. Forage potential of sorghum-clover intercropping systems in semi-arid conditions. **Bragantia**, v. 80, p. e1421, 2021. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200423>.

ASSIS JÚNIOR, Raimundo Nonato de; SILVA, Edison Fernandes da. Efeito da qualidade da água de irrigação sobre os atributos físicos de um neossolo flúvico do Município de Quixeré, CE-Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1778-1786, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000600011>.

BAGASTYO, Arseto Yekti et al. Resource recovery and utilization of bittern wastewater from salt production: a review of recovery technologies and their potential applications. **Environmental Technology Reviews**, v. 10, n. 1, p. 295-322, 2021. <https://doi.org/10.1080/21622515.2021.1995786>

BELLVER-DOMINGO, Águeda; HERNÁNDEZ-SANCHO, Francesc. Circular economy and payment for ecosystem services: A framework proposal based on water reuse. **Journal of Environmental Management**, v. 305, p. 114416, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114416>.

BEN HASSEN, Tarek.; EL BILALI, Hamid. Impacts of the Russia-Ukraine war on global food security: towards more sustainable and resilient food systems?. **Foods**, v. 11, n. 15, p. 2301, 2022. <https://doi.org/10.3390/foods11152301>.

BEZERRA, Antônio Elano Firmino et al. Atributos de transação e pressupostos comportamentais à luz da teoria do custo de transação econômica: estudo multicaso no segmento salineiro do Estado do Rio Grande do Norte. **REAd. Revista Eletrônica de Administração (Porto Alegre)**, v. 26, n. 02, p. 495-523, 2020. <https://doi.org/10.1590/1413-2311.292.96905>.

BHATTARAI, Bishwoyog. et al. Forage potential of pearl millet and forage sorghum alternatives to corn under the water-limiting conditions of the Texas high plains: A review. **Crop, Forage & Turfgrass Management**, v. 5, n. 1, p. 1-12, 2019. <https://doi.org/10.2134/cftm2019.08.0058>.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: Klute, A., Ed., *Methods of Soil Analysis, Part 1—Physical and Mineralogical Methods*, 2nd Edition, Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy—Soil Science Society of America, Madison, p. 363-382, 1986. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c13>.

BOCUTI, Edwaldo D. et al. Effective hydraulic conductivity and its relationship with the other attributes of Cerrado soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 6, p. 357-363, 2020. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n6p357-363>.

BRUMATTI, Livia Maria et al. Precipitation recycling of water used for irrigation in Central Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 369, p. 110587, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2025.110587>.

CASTRO, Francelita Coelho; SANTOS, Antonio Marcos dos. Salinidade do solo e risco de desertificação na região semiárida. **Mercator (Fortaleza)**, v. 19, p. e19002, 2020. <https://doi.org/10.4215/rm2020.e19002>.

CEARÁ. Resolução COEMA nº 2 de 2 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as portarias semace nº 154, de 22 de julho de 2002 e nº 111, de 05 de abril de 2011, e altera a portaria semace nº 151, de 21 de fevereiro de 2017. Fortaleza: DOE, 2017.

CENTENO, Luana Nunes et al. Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 4, n. 1, p. 31-37, 2017.

CHEN, Chia-Yang. et al. Non-conventional water reuse in agriculture: A circular water economy. **Water Research**, v. 199, p. 117193, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117193>.

COELHO, Daniela S. et al. Gas exchange and organic solutes in forage sorghum genotypes grown under different salinity levels. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, p. 231-236, 2018. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n4p231-236>.

COSTA, Antonio Carlos Saraiva da et al. Contribuição das propriedades químicas e mineralógicas de solos tropicais franco-arenosos para a capacidade de troca catiônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. e0200019, 2020. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20200019>.

COSTA, Diógenes Félix da Silva et al. Geographical location and solar salt production. **Mercator (Fortaleza)**, v. 14, n. 2, p. 91-98, 2015. <https://doi.org/10.4215/RM2015.1402.0006>.

DA COSTA, Adriana Monteiro et al. Ecosystem services potential and soil conservation policies with emphasis on degraded pastures in Brazil. **Geography and Sustainability**, v. 5, n. 4, p. 660-672, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2024.07.010>.

DA FONSECA, Glícia Rafaela Freitas et al. Nutritional and Structural Components of Forage Sorghum Subjected to Nitrogen Fertilization and Molybdenum. **Grasses**, v. 4, n. 1, p. 1, 2025. <https://doi.org/10.3390/grasses4010001>.

DA SILVA COSTA, Diógenes Félix. et al. Influência de macroaspectos ambientais na produção de sal marinho no Litoral Semiárido do Brasil. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 31, n. 3, 2014. www.ufpe.br/revistageografia.

DA SILVA, Pedro Luan Ferreira et al. Physical-hydric characterization of sandy soils through water retention curve, s index and pore size distribution. 2020.

DA SILVA, Rodrigo Rafael et al. Ionic Response and Sorghum Production under Water and Saline Stress in a Semi-Arid Environment. **Agriculture**, v. 13, n. 6, p. 1127, 2023. <https://doi.org/10.3390/agriculture13061127>.

DAVE, Rohit H.; GHOSH, Pushpito K. Enrichment of bromine in sea-bittern with recovery of other marine chemicals. **Industrial & engineering chemistry research**, v. 44, n. 9, p. 2903-2907, 2005. <https://doi.org/10.1021/ie049130x>.

DE MEDEIROS ROCHA, Renato et al. Brazilian solar saltworks-ancient uses and future possibilities. **Aquatic Biosystems**, v. 8, p. 1-6, 2012. <https://doi.org/10.1186/2046-9063-8-8>.

DIAS, Mateus; ROCHA, Rudi; SOARES, Rodrigo R. Down the river: Glyphosate use in agriculture and birth outcomes of surrounding populations. **Review of Economic Studies**, v. 90, n. 6, p. 2943-2981, 2023. <https://doi.org/10.1093/restud/rdad011>.

DINIZ, Marco Túlio Mendonça; VASCONCELOS, Fabio Perdigão. Natural conditions for the sea salt production in Brazil. **Mercator (Fortaleza)**, v. 16, p. e16013, 2017. <https://doi.org/10.4215/rm2017.e16013>.

DONAGEMMA, G. K.; VIANA, J. H. M. Argila dispersa em água e grau de floculação. 2017.

DUBREUIL, V. *et al.* Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. **Revista Franco-Brasileira de Geografia**, n. 37, p. 1-20, 2018. <https://doi.org/10.4000/confins.15738>.

FARDIN, Farzad et al. Nutritional value and agronomic traits of forage sorghum under drought stress. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 48, p. 102624, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102624>.

FARIAS, Phâmella Kalliny Pereira et al. Characterization and Classification of Soils in Agroecosystems in a Moist Enclave in Northeastern Brazil. **Land**, v. 12, n. 10, p. 1881, 2023. <https://doi.org/10.3390/land12101881>.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>.

FIDALSKI, Jonez et al. Influência das frações de areia na retenção e disponibilidade de água em solos das formações Caiuá e Paranaíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 613-621, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000300007>.

FORSYTHE, W. Física de suelos: manual de laboratorio. San Jose: IICA, 1975. 212 p

GAMAGE, Ashoka et al. Effects of rice husk biochar coated urea and anaerobically digested rice straw compost on the soil fertility, and cyclic effect of phosphorus. **Plants**, v. 11, n. 1, p. 75, 2021. <https://doi.org/10.3390/plants11010075>.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle size analysis by hydrometer: a simplified method for routine textural analysis and a sensitivity test of measurement parameters. **Soil Science Society of America Journal**, v. 43, n. 5, p. 1004-1007, 1979. <https://doi.org/10.2136/sssaj1979.03615995004300050038x>.

GEE, GLENDON W.; OR, DANI. 2.4 Particle size analysis. **Methods of soil analysis: Part 4 physical methods**, v. 5, p. 255-293, 2002. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.4.c12>.

GETACHEW, Girma. et al. Potential of sorghum as an alternative to corn forage. **American Journal of Plant Sciences**, v. 7, n. 7, p. 1106-1121, 2016. <https://doi.org/10.4236/ajps.2016.77106>.

GHASSEMI, Fereidoun; JAKEMAN, Anthony John; NIX, Henry Allan. **Salinisation of land and water resources: human causes, extent, management and case studies**. 1995.

GUIMARÃES, Miguel JM et al. Biometrics and grain yield of sorghum varieties irrigated with salt water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 4, p. 285-290, 2019. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n4p285-290>.

GUIMARÃES, Miguel JM et al. Management for grain sorghum cultivation under saline water irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 11, p. 755-762, 2022. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n11p755-762>.

GUIMARÃES, Miguel Julio Machado et al. Biochemical, physiological, and yield parameters of grain sorghum irrigated with saline water. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 07, p. 159-168, 2022. <https://doi.org/10.24221/jeap.7.3.2022.4692.159-168>.

GUIMARÃES, Miguel Julio Machado et al. Gas exchange and enzymatic metabolism in grain sorghum varieties irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 19, p. 14-14, 2020. <https://doi.org/10.18512/rbms2020v19e1188>.

HERRERA, Dayenne M. et al. Sorghum Densification with Changes in Plant Spacing Arrangement: Productivity and Qualitative Characteristics of Silage Material. **Agronomy**, v. 14, n. 2, p. 358, 2024. <https://doi.org/10.3390/agronomy14020358>.

HOLANDA, J. S. et al. **Indicação para adubação de culturas em solos do Rio Grande do Norte**. Parnamirim, RN: EMPARN, – Emparn. Série Documentos: 46. p. 62, 2017.

HOSSEINI, Pardis; BAILEY, Ryan T. Mutual impact of salinity and climate change on crop production water footprint in a semi-arid agricultural watershed: Application of SWAT-MODFLOW-Salt. **Science of The Total Environment**, v. 955, p. 176973, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176973>.

JACOMINE, P.K.T. Distribuição geográfica, característica e classificação dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Cruz das Almas, 1996. Anais. Aracaju, EMBRAPA-CPATC & CNPMF / EAUFBFA / IGUFBA, 1996. p.13-26.

JUNIOR, C. Roberto Pinheiro et al. Shallow soils in dryland ecosystems: Drivers of C accumulation and land management implications. **Geoderma Regional**, v. 38, p. e00849, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2024.e00849>.

KARBOUT, Nissaf et al. Effect of clay amendment on physical and chemical characteristics of sandy soil in arid areas: the case of ground south-eastern Tunisian. **Appl. Sci. Reports**, v. 11, p. 43-48, 2015. 10.15192/PSCP.ASR.2015.11.2.4348

KAZUNGU, Florence Kadzo; MUINDI, Esther Mwende; MULINGE, Jackson Muema. Overview of sorghum (*Sorghum bicolor*. L), its economic importance, ecological requirements and production constraints in Kenya. **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 35, n. 1, p. 62-71, 2023. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2023/v35i12744>.

KHOSRAVI, Vahid et al. On the impact of soil texture on local scale organic carbon quantification: From airborne to spaceborne sensing domains. **Soil and Tillage Research**, v. 241, p. 106125, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106125>.

KLEIN, Claudia; KLEIN, Vilson Antonio. Estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água no solo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 21-29, 2015. <http://dx.doi.org/10.5902/2236117014990>.

KUNDU, Susanta; PERINJELIL, Susan Jacob; THAKUR, NirmlaDevi. Soil salinization and bioremediation using halophiles and halotolerant microorganisms. In: **Mitigation of Plant Abiotic Stress by Microorganisms**. Academic Press, 2022. p. 231-256. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90568-8.00011-0>.

LIMA, R. M. F.; LUZ, J. A. M. Análise granulométrica por técnicas que se baseiam na sedimentação gravitacional: Lei de Stokes. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 54, p. 155-159, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0370-44672001000200014>.

LIPPS W. C.; BRAUN-HOWLAND E. B.; BAXTER T. E. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation., eds. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 24th ed. Washington DC: APHA Press; 2023.

LOPES, Thaís Cristina de Souza et al. Clay Fraction Mineralogy and Structural Soil Attributes of Two Soil Classes under the Semi-Arid Climate of Brazil. **Land**, v. 11, n. 12, p. 2192, 2022. <https://doi.org/10.3390/land11122192>.

MATOS, A. T. **Qualidade do meio físico ambiental: prática de laboratório**. Viçosa: Ed. UFV, 2012. 150p.

METWALLY, Hussein IM; SALMAN, Salman A.; EL-SHAMY, A. M. A review on extraction processes of salts from different salt lakes and their environmental impact in industry. **Lett Appl Nano Biosci**, v. 11, n. 4, p. 4016-4039, 2022.

MOREAU, Ana Maria Souza dos Santos et al. Caracterização de solos de duas topossequências em Tabuleiros Costeiros do sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 1007-1019, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000600010>.

NACHSHON, Uri. Cropland soil salinization and associated hydrology: Trends, processes and examples. **Water**, v. 10, n. 8, p. 1030, 2018. <https://doi.org/10.3390/w10081030>.

OKUR, Bülent; ÖRÇEN, Nesrin. Soil salinization and climate change. In: **Climate change and soil interactions**. Elsevier, 2020. p. 331-350. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818032-7.00012-6>.

PARANYCHIANAKIS, N. V.; CHARTZOULAKIS, K. S. Irrigation of Mediterranean crops with saline water: from physiology to management practices. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 106, n. 2-3, p. 171-187, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.10.006>.

PAREDES-TREJO, Franklin et al. Impact of drought on land productivity and degradation in the Brazilian semiarid region. **Land**, v. 12, n. 5, p. 954, 2023. <https://doi.org/10.3390/land12050954>.

PARRON, L. M.; Muniz, D. H. F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. 1. ed. Colombo: Embrapa, 2011. 70p.

PEDROTTI, Alceu et al. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, p. 1308-1324, 2015. <https://doi.org/10.5902/2236117016544>.

PEREIRA, José Ribamar et al. Solos afetados por sais. 1998.

PESSOA, Luiz GM et al. Assessment of soil salinity status under different land-use conditions in the semiarid region of Northeastern Brazil. **Ecological Indicators**, v. 141, p. 109139, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109139>.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALq, 2022. 451p.

QUEIROZ, ALEXSANDRA F. et al. Potentialities and limitations of agricultural use in soils of semi-arid region of the state of Bahia. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, p. 3373-3387, 2018. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820180029>.

Umirzakov, Serikbay et al. Modeling the Process of Crop Yield Management in Hydroagro-Landscape Saline Soils. **Sustainability**, p. 17, 4214. 2025. <https://doi.org/10.3390/su17094214>.

REFATI, Daiana Caroline et al. Influence of drought and anthropogenic pressures on land use and land cover change in the brazilian semiarid region. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 126, p. 104362, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104362>.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais—CFSEMG. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a Aproximação. Viçosa, MG, Embrapa/UFV/SBCS, Cap. 5, p. 25-32. 1999.

RICHARDS, L.A. (Ed.). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. US Government Printing Office, 1954.

SAATH, Kleverton Clovis de Oliveira; FACHINELLO, Arlei Luiz. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 56, p. 195-212, 2018. <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790560201>.

SAGAR, Ashaduzzaman et al. Genotypic divergence, photosynthetic efficiency, sodium extrusion, and osmoprotectant regulation conferred salt tolerance in sorghum. **Phyton (Buenos Aires)**, v. 92, n. 8, p. 2349-2368, 2023. <https://doi.org/10.32604/phyton.2023.028974>

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356 p.

SILVA, C. L. C. et al. Potencialidade da produção de óxido de magnésio a partir do efluente salino proveniente da produção de sal marinho no município de Grossos/RN. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 03, p. 894-905, 2017. 10.5935/1984-2295.20170059.

SILVA, Fábio Cesar et al. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2009. 627p.

SILVA, José Orlando Nunes da et al. Effects of silicon alone and combined with organic matter and *Trichoderma harzianum* on sorghum yield, ions accumulation and soil properties under saline irrigation. *Agriculture*, v. 13, n. 11, p. 2146, 2023. <https://doi.org/10.3390/agriculture13112146>.

SILVA, M. L. D. S.; SOUSA, H. G.; SILVA, M. L. D. S.; LACERDA, C. F.; GOMES-FILHO, E. Growth and photosynthetic parameters of saccharine sorghum plants subjected to salinity. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.41, n.1, 42607, 2019. <https://doi.org/doi:10.4025/actasciagron.v41i1.4260>

SILVA, Sergio Luiz Pedrosa et al. A indústria salineira do Rio Grande do Norte: análise de fatores para o desenvolvimento. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 12, n. 2, p. 292-323, 2023. <https://doi.org/10.3895/rbpd.v12n2.11914>.

SINGH, Ajay. Soil salinization management for sustainable development: A review. **Journal of environmental management**, v. 277, p. 111383, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111383>.

SOUZA, Tayron Juliano et al. Strategies for water salinity management in alluvial aquifer in a multilevel crop planning. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 28, p. 101392, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101392>.

STATISTICA (data analysis software system), versão 7.0, StatSoft (www.statsoft.com), 2004.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA G. K.; WENCESLAU, A.F.; TEIXEIRA, G. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2017, 573 p.

VAN GENUCHTEN M.T.; LEIJ, F. J. AND YATES, S. R. RETC, Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils: Version 6.02. University of California, Riverside, 2009.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, v. 44, p. 892-898, 1980.

VIANA, Jessica Lima et al. Water dynamics and hydraulic functions in sandy soils: Limitations to sugarcane cultivation in Southern Brazil. **Sustainability**, v. 15, n. 9, p. 7456, 2023. <https://doi.org/10.3390/su15097456>.

WRB, W.R.B. for S.R., 2014. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps.