



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO FITOTECNIA
DOUTORADO EM FITOTECNIA

FAGNER NOGUEIRA FERREIRA

**MANEJO DA IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALOBRA E SEUS EFEITOS NO
CULTIVO DA PINHEIRA NO SEMIÁRIDO POTIGUAR**

MOSSORÓ

2026

FAGNER NOGUEIRA FERREIRA

**MANEJO DA IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALOBRA E SEUS EFEITOS NO
CULTIVO DA PINHEIRA NO SEMIÁRIDO POTIGUAR**

Tese apresentada ao Doutorado em Fitotecnia
do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia
da Universidade Federal Rural do Semi-
Árido, como requisito para obtenção do título
de Doutor em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Nutrição e irrigação
Orientador: Prof. Dr. José Francismar de Medeiros

MOSSORÓ

2026

©Todos os direitos estão reservados à 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 tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência (SIR)

FF383 Ferreira, Fagner Nogueira .
m MANEJO DA IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALOBRA E SEUS
EFEITOS NO CULTIVO DA PINHEIRA NO SEMIÁRIDO
POTIGUAR / Fagner Nogueira Ferreira. - 2026.
98 f. : il.

Orientador: José Francismar de Medeiros .
Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural
do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Fitotecnia, 2026.

1. Lâminas de irrigação. 2. frutos do conde. 3.
estresse salino. 4. estresse abiótico, . 5.
evapotranspiração. I. Medeiros , José Francismar
de , orient. II. Título.

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

FAGNER NOGUEIRA FERREIRA

**MANEJO DA IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALOBRA E SEUS EFEITOS NO
CULTIVO DA PINHEIRA NO SEMIÁRIDO POTIGUAR**

Tese apresentada ao Doutorado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como requisito para obtenção do título de Doutor em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Nutrição e irrigação

Defendida em: 26 / 02 / 2026.

BANCA EXAMINADORA

José Francismar de Medeiros, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

João Everthon da Silva Ribeiro, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Maria Valdigleza de Mesquita Arruda, Prof^a. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

Luderlano de Andrade Silva, Prof. Dr. (UFCG)
Membro Examinador

Hans Raj Ghayi, Prof. Dr. (UFCG)
Membro Examinador

*A Deus, pela oportunidade de concretizar
este sonho, pela proteção, saúde e força.*

*À minha família, pelo amor, apoio e
incentivo nos momentos difíceis.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, que em nenhum momento me deixou fraquejar ou desistir de concretizar meu sonho, guiando-me sempre na direção certa e sendo meu alicerce em todos os momentos desta jornada.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos que tornou possível a realização deste doutorado. Ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia e ao seu corpo docente, dedico meu reconhecimento e gratidão pelas lições que foram fundamentais para meu crescimento acadêmico e profissional.

Um agradecimento especial e reverente ao Prof. Dr. José Francismar de Medeiros, pela orientação dedicada, pelas oportunidades oferecidas, pelos ensinamentos transmitidos, pela amizade construída e pelo apoio constante, que foram fundamentais para o êxito deste trabalho.

À Dra. Dolores Angela Bustos e ao Dr. Dario Fernando Luna, bem como aos técnicos dos laboratórios do Centro de Investigações Agropecuárias (CIAP) do Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária (INTA), pela acolhida calorosa e pelo generoso compartilhamento de conhecimentos durante meu período de intercâmbio.

Aos membros da banca examinadora, expresso minha profunda gratidão pelas inestimáveis contribuições e pela sabedoria com que enriqueceram este trabalho.

À equipe da Fazenda Cumarú, pela valiosa parceria e pelo apoio indispensável na condução dos experimentos em campo.

Ao meu pai, José Vicente Ferreira Neto, e à minha mãe, Maria do Carmo Nogueira Ferreira, pelo amor incondicional, pelo apoio inabalável, pelo incentivo constante e pela motivação nos momentos mais difíceis desta caminhada.

Aos meus irmãos Iolanda, Fabiana, Maria José, Kezia, Katia Maysa, Ingrid, Kaiki e Iordan, pelo carinho, pelo apoio e por estarem sempre ao meu lado.

Aos colegas da pós-graduação e do LASAPSA, em especial a Alcigerio, Rodrigo Rafael, Isabela, Baltazar, Maik, Amanda, Carla, Gabi, Jessica, Darcio, Cherlyson, Mateus, Rita, Wedson e Patrycia, pelas inestimáveis contribuições na condução e nas análises do experimento com pinheira em campo.

A todos os amigos e familiares que, de alguma forma, contribuíram para esta conquista, meus mais sinceros agradecimentos.

Resumo geral

O aumento da demanda por água, aliado às mudanças climáticas, tem intensificado a escassez hídrica, sobretudo em regiões semiáridas, impactando diretamente a agricultura. Nesse cenário, a irrigação com água salina surge como alternativa, desde que manejada de forma adequada, o que pode manter tanto a produtividade quanto a eficiência no uso da água. Contudo, o uso de água salina impõe estresse osmótico e toxicidade iônica às plantas, afetando processos fisiológicos e bioquímicos e limitando seu crescimento. A *Annona squamosa* L. apresenta relevância socioeconômica no Nordeste brasileiro, mas possui baixa tolerância à salinidade. Assim, avaliar os efeitos de diferentes lâminas de irrigação com água salina é essencial para o manejo sustentável e a qualidade dos frutos. O experimento foi conduzido em pomar de pinheira (*Annona squamosa* L.), localizado na zona rural de Upanema-RN, entre 2022 e 2025. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições, seis plantas por parcela, em esquema fatorial $3 \times 3 + 1$, combinando três níveis de salinidade da água de irrigação (1,5; 3,0 e 4,5 dS m^{-1}) e três lâminas de irrigação (33, 66 e 100% da evapotranspiração da cultura - ETc), além de uma testemunha sem irrigação. Em 2024, as lâminas foram ajustadas para 37, 70 e 100% da ETc. O aumento das lâminas de irrigação promoveu crescimento linear da *Annona squamosa*, com destaque para altura, área foliar e diâmetro do caule, sendo 100% da ETc a mais eficiente. A salinidade moderada (3,0 dS m^{-1}) da água não prejudicou o crescimento e a maior produtividade (11.218,85 kg ha^{-1}) foi atingida com 100% da ETc e 4,5 dS m^{-1} . Altos níveis salinos aumentaram o teor de Na^+ e Cl^- e reduziram o K^+ , N e clorofilas, enquanto lâminas intermediárias (66% da ETc) com água até 3,0 dS m^{-1} mantiveram variáveis fisiológicas e bioquímicas sem prejuízo. Assim, o uso de águas salobras na irrigação suplementar da pinheira é viável no semiárido, desde que associadas a lâminas adequadas e manejo criterioso do solo.

Palavras chaves: Lâminas de irrigação, frutos do conde, estresse salino, estresse abiótico, evapotranspiração.

General Abstract

The growing demand for water, coupled with climate change, has intensified water scarcity, particularly in semiarid regions, directly impacting agriculture. In this context, irrigation with saline water emerges as a viable alternative, provided it is properly managed, which can sustain both productivity and water use efficiency. However, the use of saline water imposes osmotic stress and ionic toxicity on plants, affecting physiological and biochemical processes and limiting their growth. *Annona squamosa* L. holds considerable socioeconomic relevance in the Brazilian Northeast, yet exhibits low salinity tolerance. Therefore, evaluating the effects of different irrigation depths using saline water is essential for sustainable crop management and fruit quality. The experiment was conducted in a sugar apple (*Annona squamosa* L.) orchard located in the rural area of Upanema, Rio Grande do Norte, Brazil, between 2022 and 2025. A randomized complete block design was adopted, with four replications and six plants per plot, arranged in a $3 \times 3 + 1$ factorial scheme, combining three irrigation water salinity levels (1.5, 3.0, and 4.5 dS m⁻¹) and three irrigation depths (33, 66, and 100% of crop evapotranspiration — ETC), along with a non-irrigated control treatment. In 2024, the irrigation depths were adjusted to 37, 70, and 100% of ETC. Increasing irrigation depths promoted linear growth of *Annona squamosa*, with notable gains in plant height, leaf area, and stem diameter, with 100% ETC proving the most efficient. Moderate salinity (3.0 dS m⁻¹) did not impair plant growth, and the highest yield (11,218.85 kg ha⁻¹) was achieved at 100% ETC combined with 4.5 dS m⁻¹. High salinity levels increased Na⁺ and Cl⁻ content while reducing K⁺, N, and chlorophyll concentrations, whereas intermediate irrigation depths (66% ETC) with water up to 3.0 dS m⁻¹ maintained physiological and biochemical variables without significant impairment. Therefore, the use of brackish water for supplemental irrigation of sugar apple is feasible in semiarid environments, provided it is associated with appropriate irrigation depths and careful soil management.

Keywords: Irrigation depths; sugar apple; salt stress; abiotic stress; evapotranspiration.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figure 1. Localização geográfica do sítio Cumaru, Upanema, Rio Grande do Norte, Brasil.....	30
Figura 2. Dados coletados pela estação meteorológica na área estudada.....	31
Figura 3. Croquis da área experimental.....	31
Figura 4. Irrigação e chuva acumuladas durante o período experimental de 2022 a 2025.	35
Figura 5. Evapotranspiração da cultura (ETc) e lâmina diária de irrigação aplicada ao longo do período experimental.	36
Figura 6. Evapotranspiração de referência (ETo), expressas em mm d ⁻¹ , ao longo do período experimental com pinheira.	37
Figura 7. Porcentagem de Sódio Trocável (PST), Relação de Adsorção de Sódio (RAS) condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes), em função dos tratamentos experimentais, avaliada nas profundidades de 0–20 cm, nos períodos de novembro de 2022, maio de 2023 e dezembro de 2023. T0: tratamento sem irrigação; lâminas de irrigação: L1 = 33%, L2 = 66% e L3 = 100% da necessidade hídrica da cultura; níveis de salinidade da água de irrigação: S1 = 1,5 dS m ⁻¹ , S2 = 3,0 dS m ⁻¹ e S3 = 4,5 dS m ⁻¹	37
Figura 8. Porcentagem de Sódio Trocável (PST), Relação de Adsorção de Sódio (RAS) condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes), em função dos tratamentos experimentais, avaliada nas profundidades de 20–40 cm, nos períodos de novembro de 2022, maio de 2023 e dezembro de 2023. T0: tratamento sem irrigação; lâminas de irrigação: L1 = 33%, L2 = 66% e L3 = 100% da necessidade hídrica da cultura; níveis de salinidade da água de irrigação: S1 = 1,5 dS m ⁻¹ , S2 = 3,0 dS m ⁻¹ e S3 = 4,5 dS m ⁻¹	39
Figura 9. Altura de plantas (A), área foliar total (B), diâmetro do caule (C) e número de folha de pinheira em função das lâminas de irrigação (%ETc), aos 200 dias após o transplantio.	43
Figura 10. Altura de plantas (A) e diâmetro do caule (B) de pinheira em função das lâminas de irrigação (%ETc), aos 500 dias após o transplantio.	44
Figura 11. Altura de plantas (A), diâmetro do caule (B), perímetro da copa (C) e diâmetro da copa (D) de pinheira em função das lâminas de irrigação (%ETc), aos 870 dias após o transplantio.	46

CAPÍTULO II

Figura 1. Localização geográfica do sítio Cumaru, Upanema, Rio Grande do Norte, Brasil.	54
Figura 2. Dados coletados pela estação meteorológica na área estudada.	55
Figura 3. Croquis da área experimental.	56
Figura 4. Teores de sódio (A) e cloro (B) em folhas de pinheira, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação (dS m^{-1}).	63
Figura 5. Teores de sódio (A) e potássio (B) em ramo de pinheira, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação (dS m^{-1}).	64
Figura 6. Teores de sódio em raiz de pinheira, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação (dS m^{-1}).	68

CAPÍTULO III

Figura 1. Localização geográfica do sítio Cumaru, Upanema, Rio Grande do Norte, Brasil.	83
Figura 2. Umidade relativa do ar (%) e condições climáticas de temperatura (°C) durante o período de condução dos experimentos.	84
Figura 5. Diâmetro longitudinal (A), diâmetro transversal (B), massa média dos frutos (C) de pinheira em função das lâminas de irrigação (%ETc). Avaliação aos 870 dias após o transplântio.	89
Figura 6. Rendimento (A), número de fruto por planta (B) de pinheira em função das lâminas de irrigação e níveis salinos. Avaliação aos 870 dias após o transplântio.	91
Figura 7. Volume de fruto de pinheira em função das lâminas de irrigação (%ETc). Avaliação aos 870 dias após o transplântio.	93

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental na camada 0 – 20 cm.	32
Tabela 2. Composição química das águas usadas no experimento.	32
Tabela 3. Lâminas de irrigação aplicadas e precipitação pluviométrica acumulada nos diferentes períodos do experimento com <i>Annona squamosa L.</i>	35
Tabela 4. Valores de F da análise de variância para as variáveis de crescimento de Altura de planta (AP), área foliar Total (ART), diâmetro de caule (DC) e número de folha (NF) da pinheira em função da salinidade da água de irrigação e das lâminas de irrigação, em duas épocas de avaliação (200 e 500 DAT).	41
Tabela 5. Médias da altura de plantas (AP), área foliar total (AFT), diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF) da pinheira, avaliadas em duas épocas (1 - 200 e 2 – 500 DAT), em função das lâminas de irrigação.	42
Tabela 6. Valores de F da análise de variância para as variáveis de crescimento Altura de planta (AP), diâmetro de caule (DC), perímetro da copa (PC) e diâmetro da copa (DCp) da pinheira em função da salinidade da água de irrigação e das lâminas de irrigação, avaliação (870 DAT).	44
Tabela 7. Médias da altura de plantas (AP), diâmetro do caule (DC), perímetro da copa (PC) e diâmetro da copa (DCp) da pinheira em função das lâminas de irrigação aos 870 DAT.	45

CAPÍTULO II

Tabela 3. Identificação da nomenclatura dos tratamentos aplicados.	33
Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental na camada 0 – 20 cm.	56
Tabela 2. Composição química das águas usados no experimento.	57
Tabela 3. Identificação da nomenclatura dos tratamentos aplicados.	57
Tabela 4. Resumo da análise de variância (quadrados médios) para temperatura da folha (TF), déficit de pressão de vapor (DPV), condutância estomática (gs), taxa de transpiração (E), taxa de assimilação de CO ₂ (A), eficiência do uso da água (EUA) e eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) em função das lâminas de irrigação e dos níveis de salinidade da água de irrigação na cultura da pinheira (<i>Annona squamosa L.</i>).....	61
Tabela 5. Resumo da análise de variância (quadrados médios) para os variáveis íons de sódio (Na), cloro (Cl), potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e nitrogênio (N) na folha, em função das lâminas de irrigação e dos níveis de salinidade da água de irrigação na cultura da pinheira (<i>Annona squamosa L.</i>).	62
Tabela 6. Resumo da análise de variância (quadrado médio) para as variáveis de íons de sódio (Na), cloro (Cl), potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e nitrogênio (N) no ramo, em função das lâminas de irrigação e dos níveis salinos da água de irrigação na cultura da pinheira (<i>Annona squamosa L.</i>).	63
Tabela 7. Teste de média para os variáveis íons de sódio (Na), cloro (Cl), nitrogênio (N) e potássio (K) na folha e ramo em plantas de pinheira sob níveis de salinidade.....	65
Tabela 8. Teste de médias para concentração de íons de fósforo (mg g ⁻¹) no ramo da pinheira sob água salobra e lâmina de irrigação.	67
Tabela 9. Resumo da análise de variância (quadrado médio) para as variáveis de íons de sódio (Na), cloro (Cl), potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e nitrogênio (N) na raiz, em função das lâminas de irrigação e dos níveis salinos da água de irrigação na cultura da pinheira (<i>Annona squamosa L.</i>).	67
Tabela 10. Teste de média para as variáveis de íons de sódio (Na), potássio (K), cloro (Cl) e fósforo (P) na raiz em plantas de pinheira sob níveis de salinidade.....	69
Tabela 11. Teste de média para as variáveis dos elementos potássio (K), cloro (Cl) e fósforo (P) na raiz e nitrogênio (N) no ramo e folha em plantas de pinheira sob lâmina de irrigação.	70

Tabela 12. Resumo da análise de variância (quadrado médio) para as variáveis dano de membrana (%D), clorofila a (Cl a), clorofila b (Cl b), clorofila total (Cl t), carotenoides (Car) açúcares redutores totais (ART) e açúcares total (AT) em função das lâminas de na cultura da pinheira (*Annona squamosa L.*). 71

Tabela 13. Teste de média para as variáveis dano de membrana (%D), clorofila a (Cl a), clorofila b (Cl b), clorofila total (Cl t) e açúcares redutores totais (ART) e açúcares total (AT) em pinheira sob níveis de salinidade e lâminas de irrigação. 72

CAPÍTULO III

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental na camada 0 – 20 e 20 –40 cm.	84
Tabela 2. Composição química das águas usadas no experimento.	85
Tabela 3. Identificação da nomenclatura dos tratamentos aplicados.....	85
Tabela 4. Resumo da análise de variância para as variáveis diâmetro longitudinal (DL) diâmetro transversal (DT), massa média dos frutos (MMFR), número de fruto por planta (NFPL), razão diâmetro e comprimento do fruto (D/C) e volume de polpa (VP) de pinheira sob níveis de salinidade e lâminas de irrigação.	87
Tabela 5. Teste de média para as variáveis diâmetro longitudinal (DL), diâmetro transversal(DT), massa média dos frutos (MMFR) e volume de polpa (VP) de pinheira sob lâmina de irrigação, avaliação aos 870 DAT.....	88
Tabela 6. Teste de média para as variáveis número de frutos por plantas (NFPL) e rendimento (Rend) interação do nível salino e lâmina de irrigação em pinheira avaliação ao 870 DAT.	90
Tabela 7. Resumo da análise de variância para as variáveis rendimento da polpa (RDPL), volume de fruto (VF), Vitamina C (Vit.C) e sólidos solúveis (SS), Acidez titulável (AT) e ratio (SS/AT) de pinheira sob níveis de salinidade e lâminas de irrigação.	92
Tabela 8. Teste de média para as variáveis rendimento de polpa (RDPL) e sólidos solúveis (SS) de pinheira sob níveis de salinidade, avaliação aos 870 DAT.....	92

Sumário

INTRODUÇÃO GERAL	19
REFERÊNCIAS:	22
CAPÍTULO I - CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA PINHEIRA SOB LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALOBRA NO SEMIÁRIDO	26
RESUMO:	26
CHAPTER I – GROWTH AND DEVELOPMENT OF SUGAR APPLE UNDER IRRIGATION DEPTHS WITH BRACKISH WATER IN THE SEMIARID REGION	27
INTRODUÇÃO.....	28
MATERIAL E MÉTODOS	29
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS:	48
ARTIGO II - ASPECTOS FISIOLÓGICOS E NUTRICIONAL DA <i>Annona squamosa</i> L. IRRIGADA COM ÁGUAS SALOBRAS SOB LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO NO SEMIÁRIDO POTIGUAR	50
RESUMO.....	50
ARTICLE II – PHYSIOLOGICAL AND NUTRITIONAL ASPECTS OF <i>Annona squamosa</i> L. IRRIGATED WITH BRACKISH WATER UNDER DIFFERENT IRRIGATION DEPTHS IN THE SEMIARID REGION OF RIO GRANDE DO NORTE	51
ABSTRACT.....	51
INTRODUÇÃO.....	52
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	60
CONCLUSÕES	74
REFERÊNCIAS:	75

ARTIGO III - EFEITO DA ÁGUA SALOBRA E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO NA PRODUÇÃO E QUALIDADE DE <i>Annona squamosa</i> L. EM REGIÃO SEMIÁRIDA.....	79
RESUMO.....	79
ARTICLE III – EFFECT OF BRACKISH WATER AND IRRIGATION DEPTHS ON THE YIELD AND QUALITY OF <i>Annona squamosa</i> L. IN A SEMIARID REGION	80
ABSTRACT.....	80
INTRODUÇÃO.....	81
MATERIAL E MÉTODOS	82
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	87
CONCLUSÃO	94
REFERÊNCIAS:	95

INTRODUÇÃO GERAL

Nas últimas décadas, o crescimento demográfico, aliado à intensificação das atividades industriais e ao acelerado processo de desenvolvimento econômico, tem ampliado significativamente a demanda por recursos naturais, especialmente água (UN, 2020). Estima-se que a população mundial exposta a condições de escassez hídrica aumente de 4,4 bilhões de pessoas em 2020 para aproximadamente 6,68 bilhões até 2050 (Connor, Uhlenbrook & Koncagül, 2019; Altaf & Goetzke, 2025). Esse cenário é agravado pelas mudanças climáticas, que vêm alterando os padrões de precipitação, intensificando eventos extremos e comprometendo a disponibilidade hídrica em diversas regiões do planeta (Dias & Matos, 2023).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) tem reiteradamente alertado para os impactos dessas alterações sobre a agricultura, setor reconhecidamente vulnerável às variações climáticas. Regiões historicamente úmidas podem enfrentar secas prolongadas, enquanto áreas áridas podem registrar eventos de chuvas intensas e irregulares, afetando diretamente a segurança hídrica e alimentar (Jones et al., 2020; Moraes, 2025). Nesse contexto, a agricultura destaca-se como a principal usuária de água doce, sendo responsável por aproximadamente 70% da captação global (Ridoutt et al., 2021), o que intensifica a pressão sobre os recursos hídricos, especialmente em regiões semiáridas.

Diante da crescente escassez de água de boa qualidade, a utilização de águas salinas ou salobras para irrigação tem emergido como alternativa viável em regiões onde esses recursos são abundantes (Cucci et al., 2015; Panta et al., 2016). Quando manejada de forma adequada, a irrigação com água salina pode contribuir para a manutenção da produtividade agrícola e para o aumento da eficiência do uso da água (Sang et al., 2020; Gao et al., 2023). No entanto, a qualidade da água de irrigação constitui fator determinante para o desempenho das culturas, uma vez que o uso contínuo de águas com elevada salinidade pode comprometer as propriedades físicas e químicas do solo, além de reduzir a produtividade das plantas (Abadi et al., 2025; Tarolli et al., 2024).

O acúmulo de sais no solo promove alterações na composição iônica da solução do solo, com aumento das concentrações de Na^+ e Cl^- e desequilíbrio de nutrientes essenciais como K^+ e Ca^{2+} (Chen et al., 2018). Esse processo desencadeia estresse salino, caracterizado por efeitos osmóticos e tóxicos que reduzem a absorção de água e nutrientes, comprometendo o crescimento e o metabolismo vegetal (Aslam et al., 2017; Heng et al., 2024). Além disso, a salinidade induz estresse oxidativo, intensificando a

produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), que provocam danos às membranas celulares, à síntese proteica e ao metabolismo energético (Hamani et al., 2020; Khattabi et al., 2020; He et al., 2024; Peng et al., 2025).

Do ponto de vista fisiológico, a irrigação com água salina pode reduzir a condutância estomática, a transpiração e a eficiência fotossintética, além de diminuir os teores de clorofila e a área foliar, refletindo-se em menor crescimento e produtividade (Azeem et al., 2017; Rezzouk et al., 2020; Hussain et al., 2022; Soliman et al., 2020; Abeer et al., 2023; Wang et al., 2025). Embora a maioria das culturas apresente redução de rendimento sob aumento da condutividade elétrica da água, níveis moderados de salinidade podem, em algumas frutíferas, melhorar atributos qualitativos dos frutos, como teor de açúcares e firmeza (Shrivastava et al., 2014; Iglesias et al., 2007).

A irrigação tem por finalidade proporcionar água de modo que atenda as exigências hídricas das culturas, possibilitando a obtenção de altas produtividades e produtos de qualidade (Bernardo et al., 2019). A necessidade de água varia em função do desenvolvimento das plantas e da época do ano, sendo fundamental conhecer os dados meteorológicos da região e as informações da cultura para estabelecer o turno de rega adequado (Martelleto & Ide, 2008).

Nesse contexto, o conhecimento da evapotranspiração é essencial para o estudo das mudanças climáticas globais, a gestão dos recursos hídricos, a otimização do manejo da irrigação e da produtividade da água, a pesquisa agrícola e a dinâmica do ciclo hidrológico (Dias et al., 2013; Valipour, 2015).

A região semiárida é caracterizada por períodos prolongados de estiagem, com ocorrência de insuficiência hídrica tanto em aspectos quantitativos quanto qualitativos especialmente no que diz respeito à presença de sais nos recursos hídricos, decorrente das características climáticas e geológicas locais (Medeiros et al., 2003).

As altas temperaturas e a elevada taxa de evapotranspiração características da região agravam essa situação, podendo favorecer riscos de salinização, sodicidade e toxidez em casos de manejo inadequado. Por isso, o uso das águas para irrigação no semiárido deve ser racional, contemplando a aplicação de uma lâmina de lixiviação adequada (Holanda et al., 2016).

Entre as frutíferas cultivadas em regiões tropicais e semiáridas destaca-se a pinha (*Annona squamosa* L.), pertencente à família Annonaceae. Sua origem é controversa, havendo relatos que indicam a América Tropical, as Antilhas ou a Índia como possíveis centros de origem (Cavalcante, 1972; Oliveira, 1991; Kavati, 1992; Meletti, 2000; Simão,

1998). No Brasil, a espécie apresenta elevada importância socioeconômica, com produção concentrada principalmente na região Nordeste, responsável pela maior parcela das 8.753 toneladas registradas no Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2017).

A pinha é amplamente comercializada para consumo *in natura*, destacando-se por suas características sensoriais e pelo valor nutricional da polpa, rica em vitaminas, compostos antioxidantes e minerais essenciais (Senthil & Silambarasan, 2015). Entretanto, o cultivo da espécie no Brasil ainda é predominantemente realizado a partir de plantas oriundas de sementes, resultando em elevada variabilidade genética e desuniformidade dos pomares (Lederman, 2019). Apesar de sua adaptação às condições edafoclimáticas do semiárido, a pinheira apresenta tolerância moderada à salinidade, manifestando sintomas como necrose foliar, queda de folhas, declínio vegetativo e, em casos severos, morte da planta (Lederman, 2019).

Diante da crescente escassez hídrica nas regiões semiáridas e da necessidade de utilização de águas de qualidade inferior para irrigação, torna-se essencial compreender os efeitos da salinidade associada ao manejo da irrigação sobre o desempenho fisiológico, bioquímico e produtivo da pinheira. Apesar de sua importância regional, ainda são limitadas as informações sobre a resposta da *Annona squamosa* L. à irrigação com água salina sob diferentes lâminas de irrigação. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da salinidade da água e das lâminas de irrigação sobre o crescimento, as respostas fisiológicas e a produtividade da cultura. Diante disso, a presente pesquisa parte da hipótese de que a irrigação com água salina associada a diferentes lâminas de irrigação altera significativamente o desempenho fisiológico, bioquímico, produtivo e crescimento da *Annona squamosa* L, podendo níveis moderados de salinidade da água? Quando manejados adequadamente, minimizar perdas produtivas e influenciar atributos de qualidade dos frutos.

REFERÊNCIAS:

ABADI, H. T.; ALEMAYEHU, T.; BERHE, B. A.. Assessing the suitability of water for irrigation purposes using irrigation water quality indices in the Irob catchment, Tigray, Northern Ethiopia. **Water Quality Research Journal**, v. 60, n. 1, p. 177-195, 2025.

ABEED, Amany HA et al. Calcium nanoparticles mitigate severe salt stress in *Solanum lycopersicon* by instigating the antioxidant defense system and renovating the protein profile. **South African Journal of Botany**, v. 161, p. 36-52, 2023.

ALTAF, S.; GOETZKE, F. “Community-led water utility governance and corruption: the case of Faisalabad, Pakistan”. **Ecology and Society**, vol. 30, n. 2, 2025.

ASLAM, M. et al. Salinity stress in crop plants: effects of stress, tolerance mechanisms and breeding strategies for improvement. **Journal of agriculture and basic sciences**, v. 2, n. 1, p. 2518-4210, 2017.

BERNARDO, S. MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de irrigação**. Viçosa: Editora UFV, 9. ed. 2019. 545 p.

CAVALCANTE, P. B. Fruta comestível da Amazônia 1. Belém: INPA, n. 17, p. 23-29, 1972.

Censo Agropecuário. IBGE, 2017. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.htm>. Acesso em: 10 de fev. 2026.

CHEN, W. et al. Spatial distribution of soil moisture, soil salinity, and root density beneath a cotton field under mulched drip irrigation with brackish and fresh water. **Field Crops Research**, v. 215, p. 207-221, 2018.

CONNOR, R.; UHLENBROOK, S.; KONCAGÜL, E. relatório mundial das nações unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2019: não deixar ninguém para trás. New York: ONU, 2019.

CUCCI, G. et al. Effect of reclamation on the structure of silty-clay soils irrigated with saline-sodic waters. **International agrophysics**, v. 29, n. 1, p. 23-30, 2015.

DE MORAES, J. D. S. et al. Efeitos das mudanças climáticas na agricultura: uma abordagem bibliográfica. **Revista Acadêmica Online**, v. 11, n. 56, e1397, 2025.

DE SANTOS ROCHA, O.; GUIMARÃES, C. R. R.; DE OLIVEIRA, Rosângela Aparecida Pereira. Exploração do uso eficiente de recursos hídricos na agricultura: Investigação de técnicas de irrigação e tecnologias para a minimização do desperdício de água. **Revista Foco**, v. 17, n. 4, p. e4950-e4950, 2024.

DIAS, N. O. et al. Desempenho vegetativo e reprodutivo da pinheira (*Annona squamosa* L.) em função de diferentes comprimentos de ramos podados. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 3, p. 389-391, 2004.

DIAS, R; MATOS, F. Impactos das mudanças climáticas nos recursos hídricos: desafios e implicações para a humanidade. **Revista Sociedade Científica**, v. 6, n. 1, p. 1571-1603, 2023.

GUO, H. et al. Long-term irrigation with saline water decreases soil nutrients, diversity of bacterial communities, and cotton yields in a gray desert soil in china. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 29, n. 6, 2020.

HAMANI, A. K. M. et al. Responses of leaf gas exchange attributes, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes in NaCl-stressed cotton (*Gossypium hirsutum* L.) seedlings to exogenous glycine betaine and salicylic acid. **BMC Plant Biology**, v. 20, n. 1, p. 434, 2020.

HE, L. et al. Prediction of bedload transport inside vegetation canopies with natural morphology. **Journal of Hydrodynamics**, v. 36, n. 3, p. 556-569, 2024.

HENG, T. et al. The effects of soil salt stress on the nitrogen uptake, yield response and nitrogen use efficiency of cotton in arid areas. **Agronomy**, v. 14, n. 1, p. 229, 2024.

Holanda, J. S.; Amorim, J. R. A.; Ferreira Neto, M.; Holanda, A. C; Sá, F.V.S. (2016). Qualidade da água para irrigação. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F; Gomes Filho, E. (Ed). Manejo da salinidade na agricultura: **Estudos básicos e aplicados**. INCT Sal: Fortaleza, CE, 35-47.

HUSSAIN, M. I. et al. Morpho-physiological response of barley to assess genotypic differences of salinity tolerance under hyper arid climate. **Agricultural Water Management**, v. 272, p. 107832, 2022.

IGLESIAS, D. J. et al. Physiology of citrus fruiting. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, p. 333-362, 2007.

- JAMALI, M. et al. Nexo água-agricultura: uma abordagem de dinâmica de sistemas para as próximas três décadas. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 5946, 2025.
- JONES, J. W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C. H.; PRUEGER, J. H.; BASSO, B. The DSSAT cropping system model. **European Journal of Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 1-10, 2020.
- KAVATI, R. O cultivo da atemóia. In: DONADIO, L. C.; MARTINS, D. B. G.; VALERTO, J. P. **Fruticultura tropical**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. p.39-70.
- KHATTABI, D.; S., E. H.; L, S. Flag leaf tolerance study in Moroccan barley (*Hordeum vulgare* L.) varieties submitted to a severe salt stress. **Biointerface Research in Applied Chemistry**, v. 12, n. 3, p. 2787-2799, 2022.
- LEDERMAN, I. E. Técnicas de cultivo da pinheira (fruta-do-conde, ata) *Annona squamosa* L. Toda fruta-artigo técnico, n. 8, 2019.
- MEDEIROS, J. F. de et al. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, p. 469-472, 2003.
- MELETTI, L. M. M. Anonáceas (*Annona* spp). In: MELETTI, L. M. M. (Coord.). Propagação de frutíferas tropicais. Guaíba: Agropecuária, 2000. p. 85-103.
- OLIVEIRA, Z.P. de. A cultura da pinha: práticas de cultivo. Maceió, AL: EPEAL, 1991. (Circular Técnica, 3).
- PANTA, S et al. Growth responses of *Atriplex lentiformis* and *Medicago arborea* in three soil types treated with saline water irrigation. **Environmental and experimental botany**, v. 128, p. 39-50, 2016.
- PENG, C. et al. Alginate oligosaccharides trigger multiple defense responses in tobacco and induce resistance to *Phytophthora infestans*. **Frontiers in Plant Science**, v. 16, p. 1506873, 2025.
- REZZOUK, F. Z. et al. Agronomic performance of irrigated quinoa in desert areas: Comparing different approaches for early assessment of salinity stress. **Agricultural Water Management**, v. 240, p. 106205, 2020.

- RIDOUTT, B G. et al. An assessment of the water use associated with Australian diets using a planetary boundary framework. **Public Health Nutrition**, v. 24, n. 6, p. 1570-1575, 2021.
- ROSA, L. et al. Global agricultural economic water scarcity. **Science Advances**, v. 6, n. 18, p. eaaz6031, 2020.
- SANG, H. et al. Effects of alternating fresh and saline water irrigation on soil salinity and chlorophyll fluorescence of summer maize. **Water**, v. 12, n. 11, p. 3054, 2020.
- SENTHIL, R.; SILAMBARASAN, R. Annona: A new biodiesel for diesel engine: A comparative experimental investigation. **Journal of the Energy Institute**, v. 88, p. 459-469, 2015.
- SHRIVASTAVA, P.; KUMAR, R.. Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. **Saudi journal of biological sciences**, v. 22, n. 2, p. 123, 2014.
- SOLIMAN, M. H. et al. Saponin biopriming positively stimulates antioxidants defense, osmolytes metabolism and ionic status to confer salt stress tolerance in soybean. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 42, n. 7, p. 114, 2020.
- TAROLLI, P. et al. Soil salinization in agriculture: Mitigation and adaptation strategies combining nature-based solutions and bioengineering. **Iscience**, v. 27, n. 2, 2024.
- UN. World water development report 2022: Groundwater: Making the invisible visible. The United Nations world water development report (2022).
- VALIPOUR, M. Temperature analysis of reference evapotranspiration models. **Meteorological Applications**, Amsterdam, v. 22, n. 3, pag. 385-394, 2015.
- WANG, Z. et al. Response of ornamental plants to salinity: impact on species-specific growth, visual quality, photosynthetic parameters, and ion uptake. **Frontiers in Plant Science**, v. 16, p. 1611767, 2025.

CAPÍTULO I - CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA PINHEIRA SOB LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALOBRA NO SEMIÁRIDO

RESUMO:

A *Annona squamosa* L. é uma frutífera bem adaptada às condições edafoclimáticas do Nordeste brasileiro, região marcada por baixo regime hídrico e chuvas concentradas em poucos meses do ano, o que limita a disponibilidade de água de boa qualidade para irrigação. Nesse contexto, o uso de águas salobras surge como alternativa para a produção agrícola, contudo, sua aplicação pode causar degradação do solo e prejuízos ao desenvolvimento e à produção das plantas, em função da elevada concentração de sais. Assim, o uso desse tipo de água é viável desde que sejam considerados a espécie cultivada, a condutividade elétrica da água, o manejo do solo e o sistema de irrigação adotado. Diante disso, objetivou-se avaliar o crescimento da pinheira em relação ao consumo hídrico, sob lâminas de irrigação com água salobra. O experimento foi conduzido em pomar de pinheira (*Annona squamosa* L.), localizado na zona rural de Upanema-RN, em clima semiárido quente (BSh), entre 2022 e 2025. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial $3 \times 3 + 1$, combinando três níveis de salinidade da água de irrigação (1,5; 3,0 e 4,5 dS m⁻¹) e três lâminas de irrigação (33, 66 e 100% da ETc), além de uma testemunha sem irrigação. Em 2024, as lâminas foram ajustadas para 37, 70 e 100% da ETc. Avaliaram-se variáveis número de folhas, área foliar, o diâmetro caulinar, perímetro do caule, altura da planta e perímetro e diâmetro da copa da planta aos 200, 500 e 870 DAT. O aumento das lâminas de irrigação promoveu crescimento linear da pinheira, com maiores incrementos sob lâmina de 100% da ETc. A salinidade da água, nas condições estudadas, não limitou o crescimento, indicando tolerância da cultura a níveis moderados de salinidade quando associada a manejo hídrico adequado, tornando viável o uso de águas salobras na irrigação da pinheira no semiárido.

Palavras chave: Evapotranspiração da cultura, Irrigação deficitária, Fruta do conde.

CHAPTER I – GROWTH AND DEVELOPMENT OF SUGAR APPLE UNDER IRRIGATION DEPTHS WITH BRACKISH WATER IN THE SEMIARID REGION

ABSTRACT

Annona squamosa L. is a fruit crop well adapted to the edaphoclimatic conditions of the Brazilian Northeast, a region characterized by low rainfall and precipitation concentrated over only a few months of the year, which limits the availability of good-quality water for irrigation. In this context, the use of brackish water emerges as an alternative for agricultural production; however, its application may cause soil degradation and impair plant development and yield due to elevated salt concentrations. Therefore, the use of such water is viable only when the cultivated species, irrigation water electrical conductivity, soil management, and the irrigation system adopted are carefully considered. Given this, the objective of this study was to evaluate the growth of sugar apple in relation to water consumption under different irrigation depths using brackish water. The experiment was conducted in a sugar apple (*Annona squamosa* L.) orchard located in the rural area of Upanema, Rio Grande do Norte, Brazil, under a hot semiarid climate (BSh, Köppen classification), from 2022 to 2025. A randomized complete block design was used, with four replications, arranged in a $3 \times 3 + 1$ factorial scheme, combining three irrigation water salinity levels (1.5, 3.0, and 4.5 dS m⁻¹) and three irrigation depths (33, 66, and 100% of ET_c), along with a non-irrigated control treatment. In 2024, the irrigation depths were adjusted to 37, 70, and 100% of ET_c. The following variables were assessed: number of leaves, leaf area, stem diameter, stem perimeter, plant height, and canopy perimeter and diameter, at 200, 500, and 870 days after transplanting (DAT). Increasing irrigation depths promoted linear growth of sugar apple, with the greatest increments observed under the 100% ET_c depth. Under the conditions studied, irrigation water salinity did not limit plant growth, indicating the crop's tolerance to moderate salinity levels when associated with appropriate water management. These findings demonstrate the feasibility of using brackish water for supplemental irrigation of sugar apple in semiarid environments.

Keywords: Crop evapotranspiration; deficit irrigation; sugar apple.

INTRODUÇÃO

A *Annona squamosa* L., conhecida como ata, fruta-do-conde e pinha, é uma importante representante da família das Annonaceae, amplamente distribuída no Nordeste brasileiro, com destaque para Alagoas, Bahia, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe. (Araújo Filho et al., 1998; Araújo et al., 2002). Seu cultivo destina-se principalmente ao consumo *in natura*, embora também seja empregada na produção de purês, sorvetes, mousses, iogurtes e sucos; entretanto, sua industrialização ainda é limitada devido ao rápido escurecimento da polpa causado pela ação da enzima polifenoloxidase (Lederman, 2019).

A expansão do consumo da pinha está relacionada às suas propriedades nutricionais e medicinais e às características sensoriais da polpa, que é doce e cremosa, atribuídas à presença de vitaminas A, B, C, E e K₁, compostos antioxidantes, ácidos graxos poliinsaturados e minerais essenciais, os quais contribuem para a prevenção e o combate a doenças cardíacas, diabetes, hipertireoidismo e câncer (Senthil & Silambarasan, 2015). Além disso, as raízes da planta constituem fontes ricas de compostos bioativos, como acetogeninas, alcaloides e flavonoides, amplamente utilizados na medicina tradicional por apresentarem expressivas atividades antimicrobianas e citotóxicas (Jagtap & Bapat, 2018). Diante desse potencial nutricional, medicinal e econômico da cultura, torna-se fundamental compreender os fatores que condicionam sua produção agrícola, especialmente aqueles relacionados ao uso eficiente dos recursos naturais, como a água.

A produção de alimentos pelo setor agrícola é responsável pelo maior consumo de água no mundo. Entretanto, esse setor apresenta uma eficiência média de uso da água de apenas 45%, com perdas superiores a 50%, o que evidencia um cenário de uso ineficiente e potencial ampliação da pressão sobre os recursos hídricos (Ingrao et al., 2023). O aumento da demanda hídrica, aliado à degradação das águas doces decorrente da urbanização, da intensificação agrícola e das mudanças climáticas, tem se tornado uma preocupação crescente, especialmente em regiões semiáridas (Saraiva et al., 2019; 2020). Estima-se que mais de 25% da população mundial e cerca de 40% da produção agrícola global dependam da extração insustentável de águas subterrâneas (Levintal et al., 2023).

O semiárido do Nordeste brasileiro é caracterizado pelo desbalanço entre a pluviosidade anual e a taxa de evaporativa, resultando em déficit hídrico na maior parte dos meses do ano, e também contribui para o acúmulo de sais não dissolvidos na superfície do solo (Bezerra et al., 2018; Pinheiro et al., 2022). Segundo Medeiros et al.,

(2003), uso de água utilizada na irrigação nessa região apresenta em grande parte alto teor de sais, tanto em águas superficiais como subterrâneas como nos açudes de pequeno e médio porte (superficiais) e poços (água subterrâneas).

Entre os aspectos que determinam a qualidade da água utilizada nos sistemas de irrigação, a concentração de sais solúveis, expressa pela salinidade, tem se destacado como um dos principais fatores limitantes ao adequado crescimento e desenvolvimento das culturas agrícolas, por potencializar a degradação dos solos por salinidade e sodicidade em diversas regiões brasileiras (Bezerra et al., 2010).

O estresse salino, provocado pelo excesso de íons Na^+ e Cl^- na solução do solo, compromete a absorção de água pelas raízes por meio do efeito osmótico, resultando em reduções significativas na altura de plantas, diâmetro do caule, número de folhas e área foliar (TAIZ et al., 2024; MUNNS; TESTER, 2008). Estudos evidenciam que o incremento da condutividade elétrica da água de irrigação acima de $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ promove efeitos deletérios sobre o crescimento vegetativo da espécie, com reduções progressivas na biomassa fresca e seca da parte aérea e do sistema radicular (CAVALCANTE et al., 2010; SOUSA et al., 2016).

De acordo com Mehta (2023), o estresse salino, causado por elevadas concentrações de sais no solo, representa um desafio significativo para as plantas, ao comprometer a absorção de água, o equilíbrio iônico e o metabolismo celular. Como mecanismo de adaptação, as plantas acumulam metabólitos compatíveis, como prolina e glicina betaína, visando à manutenção do equilíbrio osmótico e a integridade celular (Singh et al., 2022).

Diante desse contexto, parte-se da hipótese de que a aplicação de lâminas de irrigação adequadas pode atenuar os efeitos do estresse salino, favorecendo o crescimento da pinheira, mesmo sob irrigação com água salobra. Assim, objetivou-se avaliar o crescimento vegetativo da pinheira em relação ao consumo hídrico, sob diferentes lâminas de irrigação com água salobra.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em área experimental localizada na zona rural do município de Upanema-RN, no sítio Cumaru, região Oeste do Rio Grande do Norte cujas coordenadas são $5^\circ 33' 33''$ de latitude sul e longitude $37^\circ 11' 56''$ Oeste com 108 metros de altitude, em um pomar com dois anos de idade. A pesquisa ocorreu numa região de clima BSh (Dubreuil et al., 2018), ou seja, semiárido e quente, com precipitação

pluviométrica bastante irregular ao longo do ano, sendo o trimestre mais chuvoso entre os meses fevereiro e abril e o período mais seco os meses de setembro a novembro.

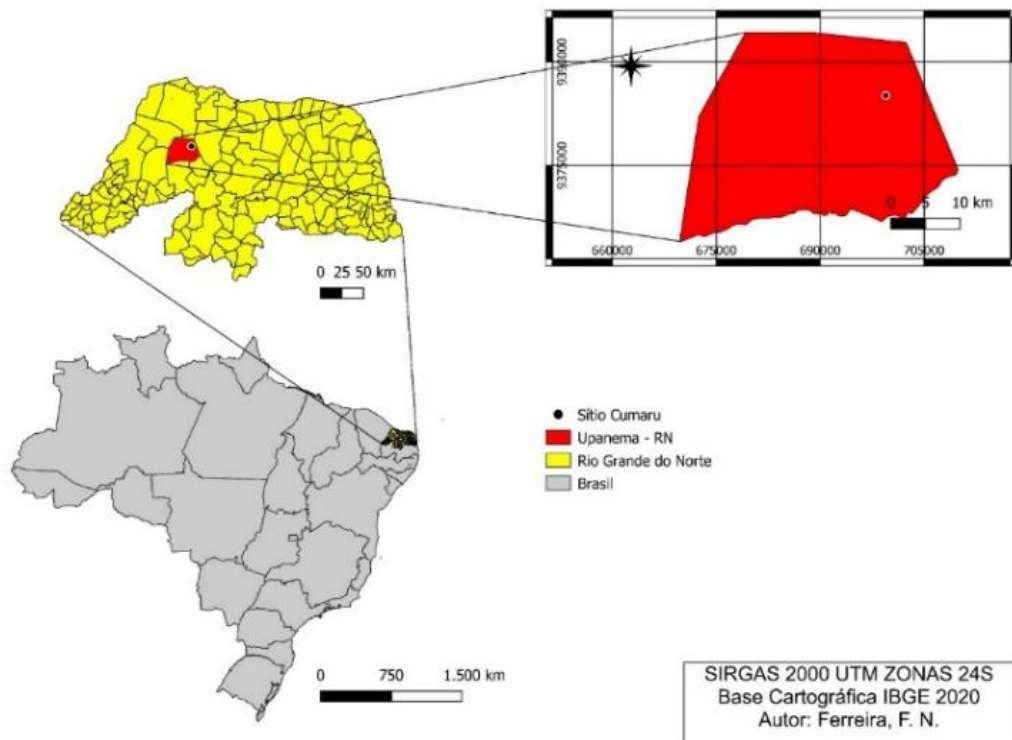


Figure 1. Localização geográfica do sítio Cumaru, Upanema, Rio Grande do Norte, Brasil.

Os dados registrados pela estação meteorológica instalada podem ser observados no Figura 2. A pesquisa ocorreu no período 2022 a 2025, em que a temperatura oscilou entre 16,60 e 36,67 °C, sendo a média de 27,43 °C e a umidade relativa média de aproximadamente 59,74%. Foram registradas 2,427 mm de chuva no período estudado, e a radiação global diária variou bastante, entre 14,4 e 23,61 MJ/m², sendo a média de 20,72 MJ/m².

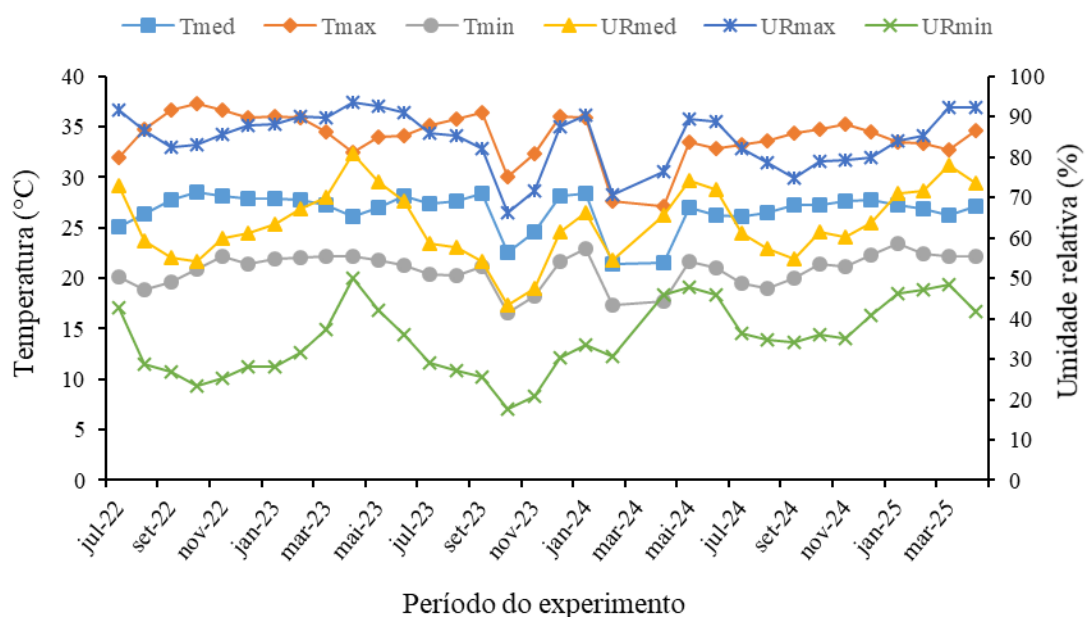


Figura 2. Dados coletados pela estação meteorológica na área estudada.

O estudo foi conduzido em blocos casualizados, com 4 repetições em esquema fatorial $3 \times 3 + 1$, onde os fatores foram constituídos por três níveis de salinidade da água de irrigação, expressos em termos de condutividade elétrica da água de irrigação (1,5; 3,0 e 4,5 dS m^{-1}) e três lâminas de irrigação (33%; 66% e 100% da ETc estimada para a cultura) com um tratamento adicional como testemunha, sem irrigação, cujas parcelas foram constituídas de 6 plantas, perfazendo um total de 42 unidades experimentais. Ao longo do experimento foram reajustadas a lâminas de irrigação (37%, 70% e 100% da ETc estimada para a cultura) para o ano de 2024 e 2025. O croquis da área Figura 3.

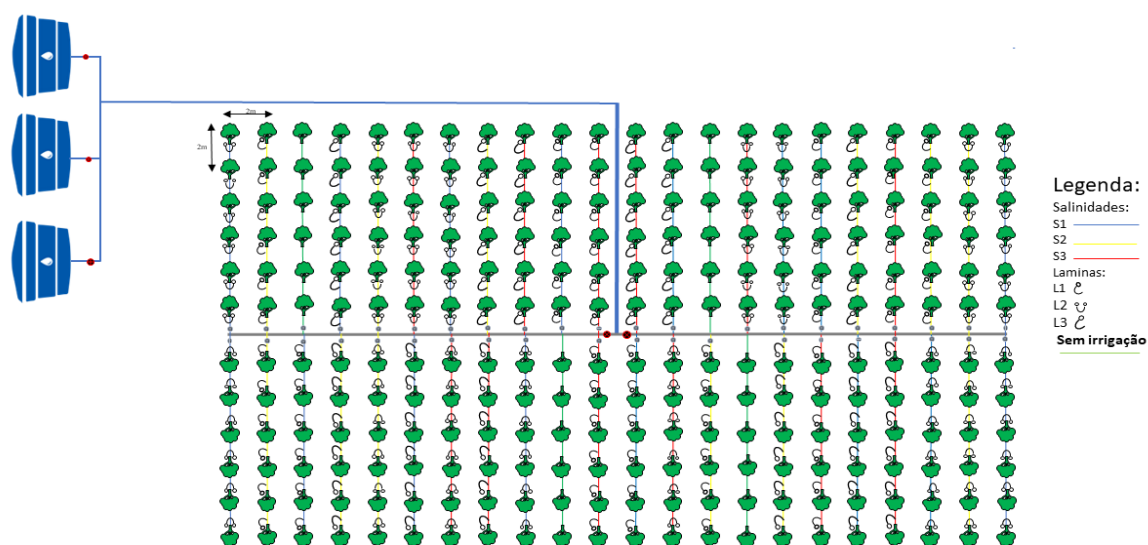


Figura 3. Croquis da área experimental

O experimento foi conduzido em uma área cujo solo é classificado como Cambissolo, em que a caracterização química do solo na camada 0 – 20 cm pode ser observada na Tabela 1. Além disso, a composição química das águas de irrigação está descrita na Tabela 2.

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental na camada 0 – 20 cm.

pH	CEes	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al	H+Al	SB	t	CTC	V	m	PST
(H ₂ O)	(dS m ⁻¹)	-----mg dm ⁻³ -----	-----cmol _c dm ⁻³ -----								-----%------			
7,73	0,35	13,4	325,0	12,9	3,70	1,08	0,0	0,0	5,67	5,67	5,67	100	0	1

pH: potencial hidrogeniônico, CE: condutividade elétrica, P: fósforo, K: potássio, Na: sódio, Ca: cálcio, M: magnésio, Al: Alumínio, H+Al: acidez potencial, SB: soma de bases, CTC: capacidade de trocas catiônicas, V: saturação por bases, m: saturação por alumínio e PST: porcentagem de sódio trocável.

A água de 1,5 dS m⁻¹ foi proveniente de um poço que explora o aquífero arenito calcífero, similar ao calcário Jandaíra. Enquanto as demais (3,0 e 4,5 dS m⁻¹) foram preparadas soluções estoque na concentração de 200 g L⁻¹ de NaCl (3,42 M), CaCl₂·2H₂O (1,36 M) e MgSO₄·7H₂O (0,81 M) e quantidades adicionadas da solução estoque, de modo que a proporção final foi de 7:3:1 de Na, Ca e Mg, o que representa a composição média das águas mais salinas da região de exploração do Aquífero Calcário Jandaíra (Silva Júnior et al., 1999) (Tabela 2).

Tabela 2. Composição química das águas usadas no experimento.

CEes	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
(dS m ⁻¹)	-----mmol _c dm ⁻³ -----						
1,5	3,0	1,0	7,0	0,12	8,1	7,0	0,3
3,0	4,5	1,5	10,5	0,12	22,1	6,8	0,8
4,5	6,9	2,3	16,1	0,12	35,6	6,9	1,4

CE: condutividade elétrica da água de irrigação; K⁺: potássio; Na⁺: sódio; Ca²⁺: cálcio; Mg²⁺: magnésio; SO₄²⁻: sulfatos; HCO₃⁻: bicarbonatos; Cl⁻: cloro.

Tabela 1. Identificação da nomenclatura dos tratamentos aplicados.

Tratamento	Lâmina de irrigação	Condutividade elétrica
	(% ETc)	(dS m ⁻¹)
T0	-	-
L1S1	33	1,5
L1S2	33	3,0
L1S3	33	4,5
L2S1	66	1,5
L2S2	66	3,0
L2S3	66	4,5
L3S1	100	1,5
L3S2	100	3,0
L3S3	100	4,5

T0: tratamento sem irrigação.

A irrigação deu-se por um sistema localizado usando microtubos como emissores, usando um por planta, dimensionados para proporcionar uma vazão proporcional as lâminas de irrigação desejada (30, 56 e 81 L h⁻¹). A lâmina máxima de irrigação para atender 100% da ETc se baseou no monitoramento da umidade do solo por tensiometria, de modo a manter o potencial matricial da água no solo entre -8 e -20 kPa.

As mudas de pinha foram produzidas a partir de sementes coletadas em um pomar comercial em Quixeré/CE. As plantas quando atingiram 30 cm de altura, foram transplantadas para o campo em covas de 30 x 30 x 30 cm, com um espaçamento de 2,0 x 2,0 m. Cada muda recebeu 2 kg de esterco bovino e 80 g de MAP.

As atividades de manejo do pomar no período de 6/2022 a 06/2025 incluíram limpeza da área, manutenção do sistema de irrigação e a adubação suplementar com NPK (150 g por planta de 16:16:16), Sulfato de Amônio (100 g por planta) e 3 kg de esterco em todos os tratamentos, com o objetivo de incentivar a emissão de folhas e a floração. Foi feita polinizações artificiais devido a falta do besouro polinizador.

Durante o período do experimento foram realizadas podas nos ramos deixando a uma altura entre 1,0 e 1,5 m, conforme o tamanho da planta e realizou-se desfolha de parte dos ramos. Antes da poda as plantas ficaram 15 dias com lâmina de irrigação reduzida a 50% em todas os tratamentos.

As avaliações biométricas das plantas úteis de cada parcela foram realizadas aos 200, 500 e 900 dias após o transplântio (DAT), ao final do período seco (novembro). Foram mensurados o número de folhas por planta, a área foliar, o diâmetro caulinar (a 10 cm da superfície do solo), a altura máxima da planta e o perímetro e diâmetro da copa. O diâmetro caulinar foi obtido a partir do perímetro do caule, medido com trena métrica. A

área foliar total foi estimada de forma não destrutiva utilizando-se folhas completamente expandidas das plantas avaliadas. Inicialmente, foram mensurados o comprimento máximo (C) e a largura máxima (L) de quatro folhas por planta, com auxílio de régua graduada em centímetros. Posteriormente, a área foliar individual (AF) foi determinada pela equação:

$$AF = C \times L \times 0,777$$

Em que: AF = área foliar individual (cm²); C = comprimento da folha (cm); L = largura da folha (cm); 0,777 = fator de correção da espécie.

Após o cálculo da área de cada folha, determinou-se a área foliar média por meio da soma das áreas individuais dividida pelo número de folhas avaliadas. Em seguida, a área foliar total (AFT) foi obtida multiplicando-se a área foliar média pelo número total de folhas presentes na planta, conforme a equação:

$$AFT = \text{Área foliar média} \times \text{Número total de folhas}$$

Os resultados foram expressos em cm² por planta.

Realizou-se análise estatística usando análise de variância, teste de média de Tukey a 5% de probabilidade, teste de Dunnett a 5% para comparar os tratamentos que receberam complementação hídrica com as plantas não irrigadas, e análise de regressão linear para estudar o efeito quantitativo das lâminas de irrigação e da CE das águas. Foi usado o programa Rstudio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 3, observa-se distribuição das chuvas e as irrigações feitas durante o período experimental, evidenciando as elevadas irregularidades, características de uma região de clima semiárido.

Tabela 3. Lâminas de irrigação aplicadas e precipitação pluviométrica acumulada nos diferentes períodos do experimento com *Annona squamosa* L.

Períodos	Irrigação (mm)	Chuva (mm)
09-12/2022	204	40
01-06/2023	295	758
07-12/2023	447	56
01-06/2024	69	974
07-12/2024	800	-
01-06/2025	100	599
Total	1915	2427

Observa-se (Tabela 3), que teve um volume aplicado de 1.915 mm em todo o período experimental, as chuvas neste período contribuem com 2.427 mm. Significado que, ao longo do experimento, a cultura recebeu um total de 4.342 mm de água, ou seja, 4.342 litros por m². De modo, que a chuva foi maior fonte de água no período, cerca de 56% do total. Todavia, a cultura precisou de irrigação, visto que nos períodos 09-12/2022, 07-12/2023 e 07-12/2024, foi registrada baixa ou nenhuma precipitação.

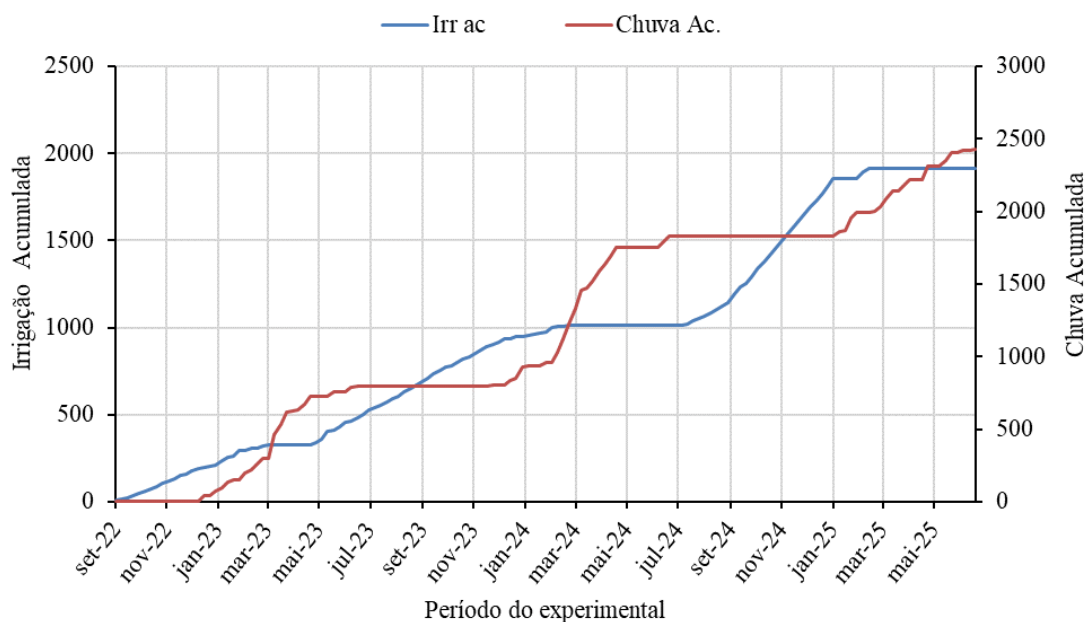


Figura 4. Irrigação e chuva acumuladas durante o período experimental de 2022 a 2025.

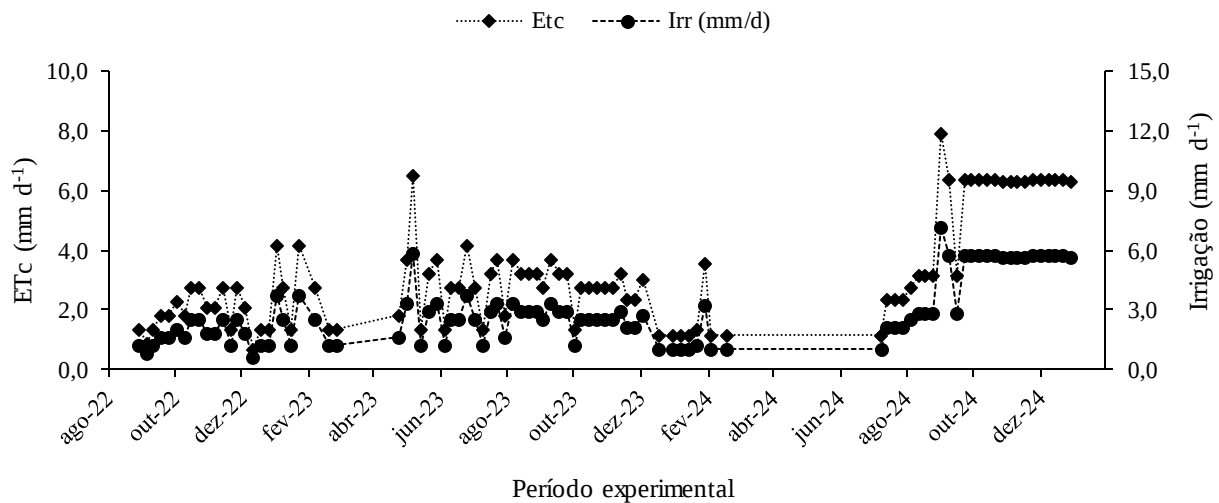


Figura 5. Evapotranspiração da cultura (ETc) e lâmina diária de irrigação aplicada ao longo do período experimental.

Na fase inicial do experimento (2022- 01/2023), a menor ETc pode estar relacionado ao estágio inicial de desenvolvimento da cultura e a menor área foliar, resultando em menor demanda hídrica e, conseqüentemente, as menores lâminas de irrigação aplicadas. A partir da metade de 2023 e início de 2024, observa-se o aumento e a variabilidade da ETc reflexo do avanço do desenvolvimento da cultura, podas realizadas e as oscilações das condições climáticas, ao passo que o manejo de irrigação foi ajustado para atender a demanda hídrica da cultura. No segundo semestre de 2024, observou-se um aumento da lâmina de irrigação, relacionados ao maior porte das plantas e a maior taxa evaporativa, refletindo pelos aumentos dos valores da ETc e nestes períodos houve a necessidade de ajustes das lâminas de irrigação para suprir a demanda hídrica das plantas.

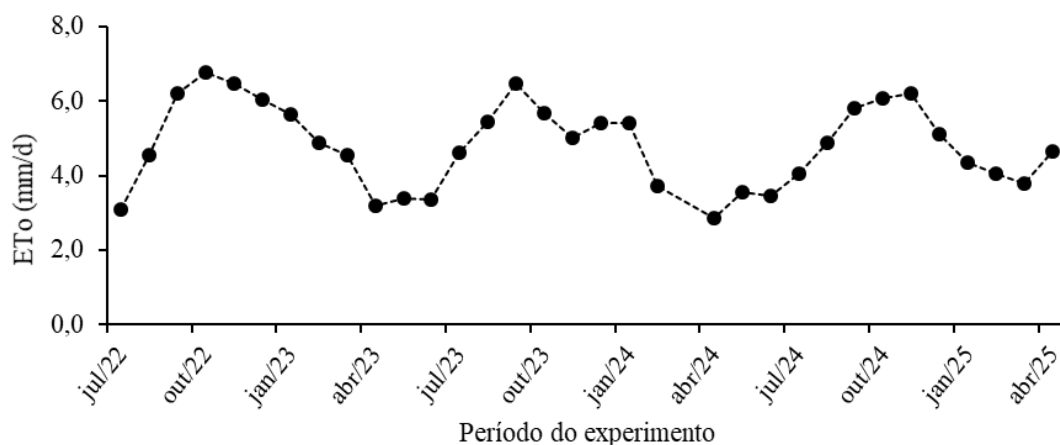


Figura 6. Evapotranspiração de referência (ET_o), expressas em mm d⁻¹, ao longo do período experimental com pinheira.

A evapotranspiração de referência (ET_o) apresentou variação ao longo do período experimental, com valores mais elevados nos períodos mais seco e quentes do ano, atingindo as maiores médias em 10/2022, 09/2023, 10/2024 e 11/2024, valores 6,78, 6,47, 6,08 e 6,21 mm d⁻¹, respectivamente. Os valores reduzem em períodos de menor demanda atmosférica. As variações da ET_o, estão associadas diretamente as condições climáticas locais.

Na Figura 7 são apresentados os valores da percentagem de sódio trocável (PST), da razão de adsorção de sódio (RAS) e da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes), avaliados em três datas, na profundidade de 0–20 cm. Em 2022, a coleta foi realizada ao término das análises referentes a esse ano. Observa-se que, nas salinidades de 3,5 e 4,5 dS m⁻¹ associadas às lâminas de 33% e 66% da ET_c, os maiores valores de PST foram registrados nos tratamentos S2L1 (6,76), S3L1 (7,14) e S3L2 (7,27). Para RAS, os valores máximos foram 5,03, 4,96 e 6,42, respectivamente. Já para CEes, os maiores valores observados foram 3,31, 3,39 e 3,12 dS m⁻¹.

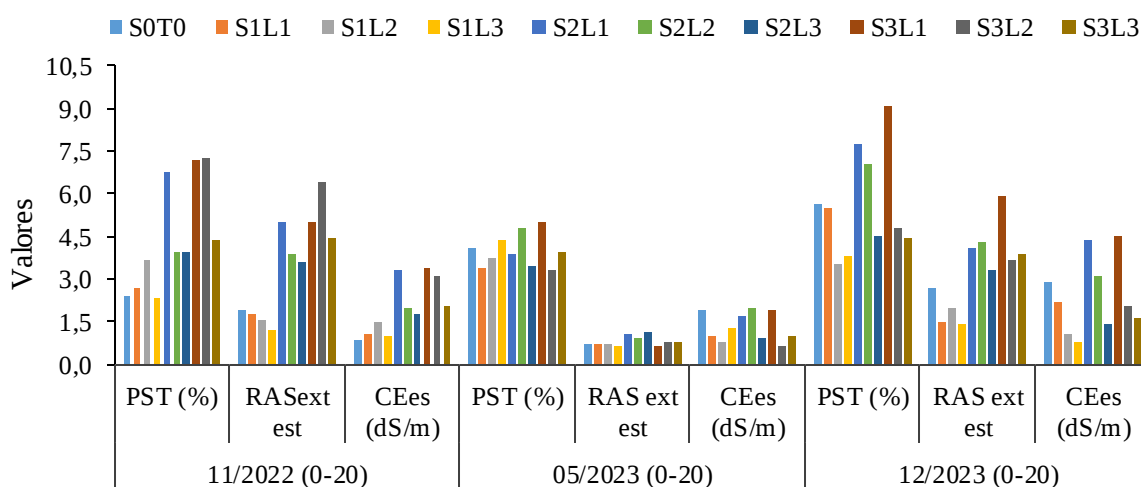


Figura 7. Porcentagem de Sódio Trocável (PST), Relação de Adsorção de Sódio (RAS) condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes), em função dos tratamentos experimentais, avaliada nas profundidades de 0–20 cm, nos períodos de novembro de 2022, maio de 2023 e dezembro de 2023. T0: tratamento sem irrigação; lâminas de irrigação: L1 = 33%, L2 = 66% e L3 = 100% da necessidade hídrica da cultura; níveis de salinidade da água de irrigação: S1 = 1,5 dS m⁻¹, S2 = 3,0 dS m⁻¹ e S3 = 4,5 dS m⁻¹.

A coleta realizada em maio de 2023, após o período chuvoso e antes da reaplicação dos tratamentos, revelou que os valores médios de PST variaram de 3,30% a 5,02% entre os tratamentos, indicando um processo incipiente de sodificação do solo.

Ao final de 2023, observou-se incremento expressivo desses valores, com destaque para os tratamentos que receberam a menor lâmina de irrigação (L1): S1L1 (5,48%), S2L1 (7,71%) e S3L1 (9,07%). Ressalta-se ainda que, mesmo no tratamento controle (S0T0), a PST elevou-se de 2,37% para 5,61% entre os anos de 2022 e 2023, evidenciando uma tendência de sodificação ao longo do ciclo de cultivo, independentemente do nível de salinidade da água aplicada.

No período de maio de 2023, os valores médios de RAS foram de 0,80, refletindo ainda uma condição de baixo risco de sodificação na solução do solo. Contudo, ao final de 2023, verificou-se aumento considerável da RAS, especialmente nos tratamentos com lâmina L1: S1L1 (1,48), S2L1 (4,09) e S3L1 (5,89). O progressivo aumento da RAS ao longo do ciclo indica maior concentração relativa de sódio em solução, o que, ao longo do tempo, tende a se refletir no aumento do PST, comprometendo a estrutura do solo.

A CEes média registrada em maio de 2023 foi de 1,31 dS m⁻¹, sugerindo salinidade ainda moderada no período pós-chuvas. Ao final de 2023, os valores também apresentaram elevação, sendo os maiores registrados nos tratamentos S1L1 (2,17), S2L1 (4,35) e S3L1 (4,47 dS m⁻¹). No tratamento S0T0, a CEes passou de 0,83 para 2,88 dS m⁻¹ entre 2022 e 2023, sinalizando acúmulo de sais mesmo na ausência de água salina, possivelmente em função da lâmina insuficiente para promover a lixiviação dos sais.

A interação entre relação de absorção de sódio e condutividade elétrica do extrato de saturação é crucial para entender os problemas de infiltração. Em águas com baixo RAS e alta CE, a presença de sais totais ajuda a manter a floculação das partículas de argila, favorecendo a infiltração. Por outro lado, águas com alto RAS e baixa CE são particularmente prejudiciais, pois a baixa concentração de sais não é suficiente para neutralizar o efeito dispersivo do sódio, levando a problemas severos de infiltração (Ayers & Westcot 1985).

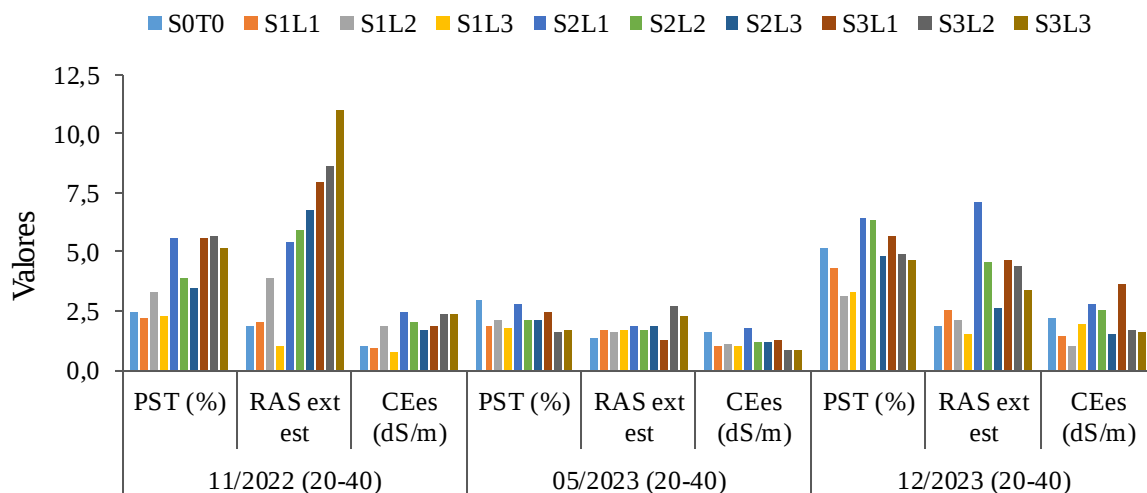


Figura 8. Porcentagem de Sódio Trocável (PST), Relação de Adsorção de Sódio (RAS) condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes), em função dos tratamentos experimentais, avaliada nas profundidades de 20–40 cm, nos períodos de novembro de 2022, maio de 2023 e dezembro de 2023. T0: tratamento sem irrigação; lâminas de irrigação: L1 = 33%, L2 = 66% e L3 = 100% da necessidade hídrica da cultura; níveis de salinidade da água de irrigação: S1 = 1,5 dS m⁻¹, S2 = 3,0 dS m⁻¹ e S3 = 4,5 dS m⁻¹.

Porcentagem de Sódio Trocável (PST), Relação de Adsorção de Sódio (RAS) condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes), em função dos tratamentos experimentais, avaliada nas profundidades de 20–40 cm, nos períodos de novembro de 2022, maio de 2023 e dezembro de 2023 estão apresentados na Figura 8. Os resultados evidenciam uma dinâmica sazonal da salinidade e da sodicidade do solo em três períodos de avaliação, na profundidade de 20–40 cm.

Em novembro de 2022, a maioria dos tratamentos apresentou valores de CEes entre 0,75 e 2,46 dS m⁻¹, indicando condição de salinidade de ligeira a moderada. Os maiores valores foram registrados nos tratamentos S2L1 (2,46 dS m⁻¹), S3L2 (2,34 dS m⁻¹), S3L3 (2,35 dS m⁻¹) e S2L2 (2,03 dS m⁻¹). Em maio de 2023, após o período chuvoso, observou-se redução generalizada da CEes, comportamento associado à lixiviação dos sais promovida pelas chuvas. Ao final de 2023, verificou-se nova elevação dos valores, com destaque para os tratamentos S2L1 (2,78 dS m⁻¹), S3L1 (3,64 dS m⁻¹) e S1L3 (1,94 dS m⁻¹), evidenciando acúmulo progressivo de sais no solo ao longo do período seco e sob irrigação com água de maior salinidade. O aumento da CEes ao longo do ciclo indica incremento na concentração de sais na solução do solo, constituindo fator predisponente ao aumento da RAS e, conseqüentemente, do PST.

Em novembro de 2022, alguns tratamentos já apresentaram valores elevados de RAS, com destaque para S2L3 (6,74), S3L1 (7,99), S3L2 (8,65) e S3L3 (11,03). O

tratamento S3L3 registrou o maior valor de RAS (11,03), mantendo-se superior aos demais nos três períodos avaliados. De acordo com Ayers e Westcot (1985), esse valor supera o limite de $9,0 \text{ me L}^{-1}$ estabelecido pela FAO 29 como de restrição severa quanto à toxicidade de sódio para sistemas de irrigação por superfície.

Em maio de 2023, a RAS apresentou redução associada ao efeito diluidor das chuvas sobre a solução do solo. Contudo, em dezembro de 2023, observou-se elevação expressiva nos tratamentos com menor lâmina de irrigação, especialmente S1L1 (2,57), S2L1 (7,11) e S3L1 (4,66), reforçando que lâminas reduzidas são insuficientes para promover a lixiviação do sódio solúvel e mitigar o risco de sodificação. O aumento progressivo da RAS ao longo do ciclo reflete o incremento da concentração relativa de sódio na solução do solo, favorecendo sua adsorção aos colóides e, conseqüentemente, a elevação do PST.

Em novembro de 2022, os maiores valores de PST foram registrados nos tratamentos S2L1 (5,57%), S3L1 (5,61%), S3L2 (5,66%) e S3L3 (5,18%), indicando processo inicial de sodificação do solo nesses tratamentos. Em maio de 2023, verificou-se redução dos valores de PST, comportamento coerente com a lixiviação promovida pelo período chuvoso, que favoreceu a remoção parcial do sódio trocável do perfil do solo. Em dezembro de 2023, os valores voltaram a se elevar, com destaque para os tratamentos S2L1 (6,47%), S3L1 (5,67%) e S1L1 (4,30%), evidenciando que o acúmulo de sódio no complexo sortivo do solo se intensificou ao longo do ciclo de cultivo.

Esse comportamento é consistente com o aumento observado na RAS e na CEes, confirmando que o maior risco de sodificação está associado aos tratamentos submetidos à menor lâmina de irrigação (L1), independentemente do nível de salinidade da água utilizada, uma vez que a reposição hídrica insuficiente não promove a lixiviação adequada dos sais e do sódio acumulados no perfil do solo. No tratamento S0T0, de forma semelhante ao observado na camada de 0–20 cm, verificou-se aumento progressivo da PST e da CEes ao longo dos três períodos avaliados. A PST passou de 2,43% para 3,00% e 5,17%, enquanto a CEes aumentou de 1,02 para 1,58 e 2,24 dS m^{-1} .

A análise de variância apresentada na Tabela 4, aos 200 dias após o transplante, indica que não houve interação significativa entre os fatores plantas não irrigado e irrigado, níveis de salinidade e a interação entre níveis salinos e lâminas de irrigação para nenhuma das variáveis avaliadas. Observou-se efeito significativo apenas da lâmina de irrigação, com $p < 0,01$, para as variáveis altura de planta, área foliar e diâmetro do caule, enquanto o número de folhas apresentou significância a $p < 0,05$.

Tabela 4. Valores de F da análise de variância para as variáveis de crescimento de Altura de planta (AP), área foliar Total (ART), diâmetro de caule (DC) e número de folha (NF) da pinheira em função da salinidade da água de irrigação e das lâminas de irrigação, em duas épocas de avaliação (200 e 500 DAT).

Valor de F									
FV	GL	200 DAT				500 DAT			
		AP1	ART1	DC1	NF1	AP2	ART2	DC2	NF2
Bloco	3	27,19	0,40	31,02	15,30	2,51	0,50	2,76	0,52
T0 x Ft	1	0,069 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,018 ^{ns}	15,95**	0,15 ^{ns}	24,93**	1,70 ^{ns}
Sal	2	0,63 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,52 ^{ns}
R. Linear	1	0,28 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,23 ^{ns}
Lam	2	5,75**	4,92**	5,68**	4,26*	8,53**	2,07 ^{ns}	6,54**	0,89 ^{ns}
R. Linear	1	11,4**	9,82**	11,0**	7,92**	17,0**	4,02*	12,7**	1,66 ^{ns}
Sal x Lam	4	1,44 ^{ns}	0,38 ^{ns}	1,55 ^{ns}	1,18 ^{ns}	1,03 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,65 ^{ns}
Erro	27								
CV (%)		16,01	21,0	11,78	8,78	13,15	26,3	16,27	40,68

**significativo ($p \leq 0,01$); * significativo ($p \leq 0,05$); ns não significativo ($p > 0,05$); FV= fontes de variação; CV = coeficiente de variação. T0 x Ft = tratamentos que receberam complementação hídrica com as plantas não irrigadas. Sal= nível salinos. Lam = lâminas de irrigação.

Na avaliação realizada aos 500 dias após o transplante, verificou-se efeito significativo do fator plantas não irrigado e irrigado para as variáveis altura de planta e diâmetro do caule, com significância de $p < 0,01$. Para o fator lâmina de irrigação, também foi observado efeito significativo a $p < 0,01$ para altura de planta, área foliar e diâmetro do caule. Não foram constatados efeitos significativos dos níveis salinos, nem da interação entre níveis salinos e lâminas de irrigação, para nenhuma das variáveis analisadas.

Para a avaliação aos 200 dias após o transplante (Tabela 5), observou-se que as plantas submetidas à lâmina de 100% da ETc apresentaram maiores valores de altura, área foliar, diâmetro do caule e número de folhas, diferindo significativamente das lâminas de 33% e 66% da ETc. A lâmina de 100% da ETc promoveu um incremento na biometria das plantas de pinheira quando comparada à lâmina de 33% da ETc, com aumentos de 24,5% na altura de planta, 19,2% na área foliar, 17,4% no diâmetro do caule e 11,0% no número de folhas, isso demonstra o efeito positivo da maior disponibilidade hídrica sobre o crescimento da pinheira.

Para a avaliação aos 500 dias após o transplante, verificou-se um comportamento semelhante ao observado aos 200 DAT, com exceção do número de folhas, que não diferiu estatisticamente entre as lâminas de irrigação. Foi observado que a lâmina de 100% da ETc proporcionou maior altura de planta, diferindo estatisticamente das lâminas

de 33% e 66% da ETc. Quanto à área foliar, esta não diferiu estatisticamente entre as três lâminas de irrigação estudada (66% e 100% da ETc). Já para diâmetro do caule, as lâminas de irrigação 66% e 100% da ETc não diferiram estatisticamente entre si, mas ambas diferiram da menor lâmina (33%). Além disso, houve diferença significativa entre a testemunha e cada tratamento para a altura de planta sob as lâminas de 66% e 100% da ETc, e para o diâmetro do caule nas três lâminas estudadas.

Tabela 5. Médias da altura de plantas (AP), área foliar total (AFT), diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF) da pinheira, avaliadas em duas épocas (1 - 200 e 2 - 500 DAT), em função das lâminas de irrigação.

Tratamentos	AP1 (cm)	AFT1 (cm ²)	DC1 (mm)	NF1	AP2 (cm)	AFT2 (cm ²)	DC2 (mm)	NF2
Testemunha	51,04	823,9	9,48	23,5	122,42	946,4	20,9	88,75
ETc 33%	44,90B	661,3B	8,56B	22,44B	149,45C	874,8A	30,89*B	107,00A
ETc 66%	48,99B	815,5A	9,11B	23,58AB	167,64*B	1049,8A	36,74*A	131,91A
ETc 100%	55,89A	865,8A	10,05A	24,91A	185,64*A	1073,0A	38,76*A	126,91A
Média	49,92	780,8	9,24	23,64	167,57	999,2	35,46	121,94

*Indica diferença significativa entre a testemunha e tratamento. Letras diferentes na coluna indicam diferença estatística pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Entre tratamentos de lâminas de irrigação (ETc).

Wang et al. (2024), estudando os efeitos da interação entre água, fertilizantes e calor nas condições hidrotérmicas do solo e na produtividade e qualidade da *Annona squamosa*, observaram durante os dois anos de experimento, incremento no diâmetro do caule e nos valores médios da área foliar, segundo os autores os tratamentos com irrigados com 75% e 85% da capacidade de campo foram que apresentaram melhores resultado no crescimento, aumentando a produtividade e melhorando a qualidade da planta. Em contrapartida SILVA et al. (2020) utilizando lâmina de irrigação variando 60 a 140% da evapotranspiração real não observou aumento significativo para as variáveis de biometrias em mudas de pinha.

Na avaliação realizada 200 dias após o transplântio, observou-se um aumento linear na altura da planta, na área foliar, no diâmetro do caule e no número de folhas, à medida que a lâmina de irrigação aumentou. Este aumento resultou em incrementos percentuais significativos: 24,50% na altura da planta, 30,92% na área foliar total, 17,44% no diâmetro do caule e 11,16% no número de folhas. Durante o período avaliado, foram aplicados 204 mm de irrigação e houve registro de 40 mm de chuva, totalizando 244 mm.

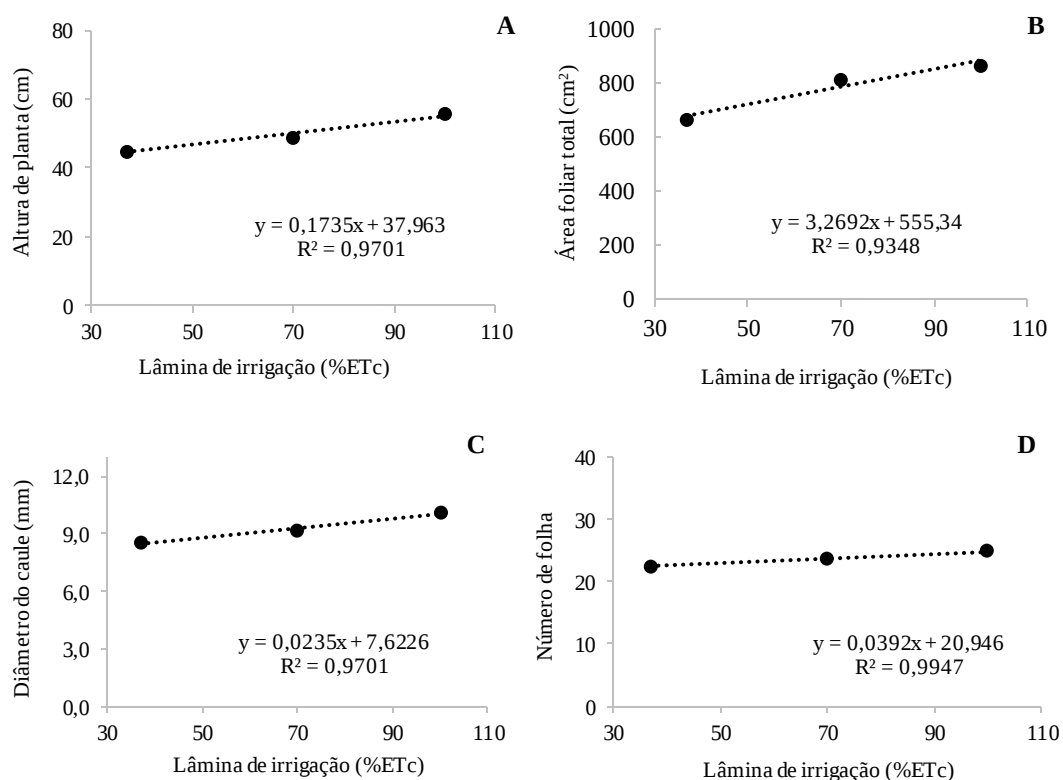


Figura 9. Altura de plantas (A), área foliar total (B), diâmetro do caule (C) e número de folha de pinheira em função das lâminas de irrigação (%ETc), aos 200 dias após o transplantio.

A irrigação deve atuar de forma aliada e complementar à precipitação pluvial, especialmente em regiões onde o volume de chuva natural é suficiente para permitir o desenvolvimento e a produção das culturas. Nesses contextos, a irrigação possibilita melhor aproveitamento da água da chuva, aumentando a eficiência do uso da água disponível no sistema produtivo. A complementação hídrica realizada nos momentos adequados favorece o uso racional da precipitação, resultando em maior eficiência produtiva e em produção efetiva das culturas. (Das neves et al., 2024).

Na avaliação aos 500 dias após o transplantio, as variáveis estudadas apresentaram respostas semelhantes às observadas aos 200 DAT, evidenciando comportamento linear. Observou-se incremento nos valores à medida que aumentaram as lâminas de irrigação, resultando em aumento total de 24,14% na altura de plantas, 24,56% no diâmetro do caule. No período de julho a dezembro de 2023, foi aplicada lâmina de irrigação de 447 mm, acrescida de 56 mm provenientes da precipitação registrada nesse intervalo de tempo. Cavalcante et al. (2016) e Silva et al. (2013), em estudo da produção de graviola sob condições de irrigação e cobertura do solo, constataram que a irrigação exerce efeito positivo sobre a biometria das plantas de graviola.

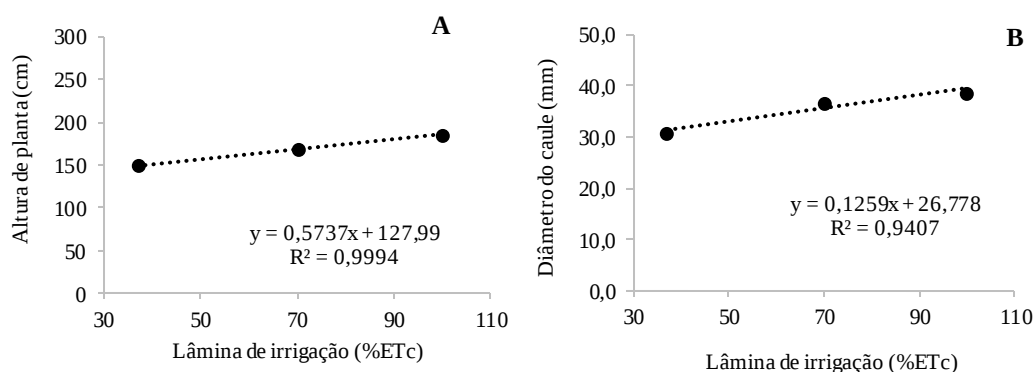


Figura 10. Altura de plantas (A) e diâmetro do caule (B) de pinheira em função das lâminas de irrigação (%ETc), aos 500 dias após o transplântio.

Considerando a biometria das plantas, observou-se efeito positivo e significativo da irrigação complementar em relação às plantas não irrigadas, bem como da lâmina de irrigação, com significância de $p < 0,05$ para altura de planta, perímetro de copa e diâmetro de copa, e de $p < 0,01$ para o diâmetro do caule. Não foi verificado efeito significativo da salinidade da água de irrigação, indicando que os níveis salinos avaliados não comprometeram o crescimento vegetativo das plantas (Tabela 6).

Também se constatou efeito significativo da lâmina de irrigação, com $p < 0,05$ para altura de planta e $p < 0,01$ para diâmetro do caule, perímetro de copa e diâmetro de copa. Não houve efeito significativo da interação entre níveis salinos e lâminas de irrigação para nenhuma das variáveis analisadas (Tabela 6).

Tabela 6. Valores de F da análise de variância para as variáveis de crescimento Altura de planta (AP), diâmetro de caule (DC), perímetro da copa (PC) e diâmetro da copa (DCp) da pinheira em função da salinidade da água de irrigação e das lâminas de irrigação, avaliação (870 DAT).

Fv	Gl	AP3	DC3	PC	DCp
Bloco	3	1,5 ^{ns}	1,5 ^{ns}	1,7 ^{ns}	1,7 ^{ns}
T0 x Ft	1	5,69*	13,48**	5,55*	5,55*
Sal	2	0,96 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,52 ^{ns}
Reg. Linear	1	0,42 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,23 ^{ns}
Lam	2	7,24*	8,33**	10,99**	10,99**
Reg. Linear	1	14,46**	16,22**	20,42**	20,42**
Sal x Lam	4	0,44 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,17 ^{ns}
Erro	27				
CV (%)		13,1	13,6	17,6	17,6

**significativo ($p \leq 0,01$); * significativo ($p \leq 0,05$); ns não significativo ($p > 0,05$); FV= fontes de variação; CV = coeficiente de variação. T0 x Ft = tratamentos que receberam complementação hídrica com as plantas não irrigadas. Sal= nível salino, Lam= lâminas de irrigação.

A altura de plantas foi influenciada pelas lâminas de irrigação, sendo que o déficit hídrico correspondente a 37% da ETc promoveu redução de 19% em relação à lâmina

plena de 100% da ETc. O diâmetro do caule também foi negativamente afetado, registrando a menor média (46,7 mm) sob a menor lâmina de irrigação. O perímetro e o diâmetro da copa foram as variáveis mais sensíveis à redução hídrica, apresentando decréscimos de 39% e 38%, respectivamente, em comparação à lâmina de 100% da ETc. Em todas as variáveis biométricas avaliadas, a redução da lâmina de irrigação resultou em queda significativa do crescimento, com diferença estatística observada entre a testemunha e a lâmina de 100% da ETc (Tabela 7).

Tabela 7. Médias da altura de plantas (AP), diâmetro do caule (DC), perímetro da copa (PC) e diâmetro da copa (DCp) da pinheira em função das lâminas de irrigação aos 870 DAT.

Tratamentos	AP3 (m)	DC3 (mm)	PC (m)	DCp (m)
Testemunha	1,58	38,57	3,77	1,20
ETc 37%	1,7 AB	46,7 B	4,1 B	1,3 B
ETc 70%	1,9 A	51,0*B	4,6 B	1,5 B
ETc 100%	2,1* A	58,0*A	5,7*A	1,8*A
Média	1,9	51,9	4,8	1,5

*Indica diferença significativa entre a testemunha e cada tratamento. Letras diferentes na coluna indicam diferença estatística pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Na Figura 11, observa-se que o aumento da lâmina de irrigação proporcionou incrementos positivos em todas as variáveis biométricas avaliadas, incluindo altura de planta, diâmetro do caule, diâmetro da copa e perímetro da copa. O aumento da lâmina de irrigação de 37% para 100% da ETc resultou em ganhos expressivos nessas variáveis, com destaque para o perímetro da copa (39,0%) e o diâmetro da copa (38,5%), seguidos da altura de planta (23,5%) e do diâmetro do caule (24,2%).

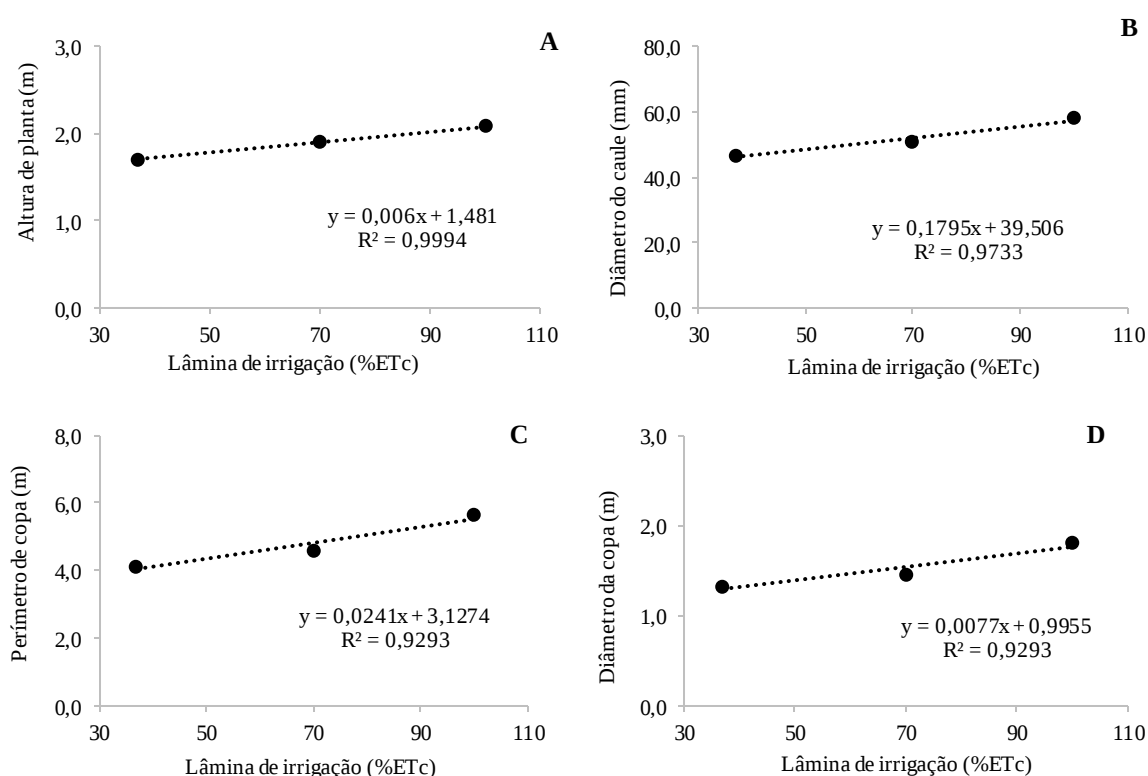


Figura 11. Altura de plantas (A), diâmetro do caule (B), perímetro da copa (C) e diâmetro da copa (D) de pinheira em função das lâminas de irrigação (%ETc), aos 870 dias após o transplântio.

Santos (2024), em estudo conduzido com a cultura da pinheira, destaca que a lâmina total (irrigação mais precipitação) constitui o parâmetro mais adequado para avaliar o desenvolvimento da cultura. No período avaliado, foi aplicado volume de 800 mm de irrigação; entretanto, não houve registro de precipitação pluvial no intervalo compreendido entre julho e dezembro de 2024. Nas Figuras 5 e 6, observou-se aumento da evapotranspiração da cultura (ETc) e da evapotranspiração de referência (ETo), o que contribuiu para a maior demanda hídrica e para o desenvolvimento da cultura.

A lâmina de irrigação proporcionou, para cada incremento de um milímetro aplicado, aumentos de 0,006, 0,179, 0,024 e 0,0077 unidades na altura de planta, no diâmetro do caule, no diâmetro da copa e no perímetro da copa, respectivamente. Moreira et al. (2019), em pesquisa, salientam que a lâmina correspondente a 100% da ETr é a mais adequada para a produção de mudas de *Annona squamosa*; entretanto, a lâmina de 80% da ETr pode ser utilizada, admitindo-se pequenas perdas no crescimento.

CONCLUSÃO

O aumento das lâminas de irrigação promoveu crescimento linear da pinheira, com incrementos significativos na altura de plantas, área foliar, diâmetro do caule e dimensões da copa ao longo do período experimental. As lâminas correspondentes a 100% da evapotranspiração da cultura (ETc) proporcionaram os maiores valores de crescimento.

A salinidade da água de irrigação, nas condições avaliadas, não limitou o crescimento vegetativo da pinheira, indicando tolerância da cultura a níveis moderados de salinidade quando associada a manejo hídrico adequado.

O uso de águas salobras mostra-se viável para a irrigação da pinheira no semiárido, quando associado a precipitações médias da região, desde que sejam adotadas lâminas de irrigação adequadas e manejo criterioso do solo.

REFERÊNCIAS:

ARAÚJO FILHO, G. C. et al. Instruções técnicas para o cultivo da ateira. Circ. téc. - EMBRAPA, Fortaleza., 1998.9p

ARAÚJO, J. F. et al. Implantação do banco ativo de germoplasma de pinheira (*Annona squamosa* L.) na região do Submédio São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA., 17. Belém. Anais. Belém: SBF, 2002.

BEZERRA, A.K.P. et al. Rotação cultural feijão caupi/milho utilizando-se águas de salinidades diferentes. **Revista Ciência Rural**, v. 40, n. 5, p. 1075-1082, 2010.

BEZERRA, I. L. et al. Interaction between soil salinity and nitrogen on growth and gaseous exchanges in guava. **Ambiente & Água**, v.13, e 2130, 2018.

CAVALCANTE, L. F. et al. Água salina e esterco bovino líquido na formação de mudas de pinheira. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 2, p. 161–167, 2010.

CAVALCANTE, L. F. et al. Produção e qualidade da graviola sob irrigação e cobertura do solo com resíduo de sisal. **Magistra**, V. 28, N.1, pag.91-101, 2016.

DAS NEVES, E.; SANTOS, T. Martinez; CAMPOS, Jr. C. A importância do manejo sustentável na irrigação. **Observatório de la economía latinoamericana**, v. 22, n. 11, p. e7868-e7868, 2024.

INGRAO, C. et al. Water scarcity in agriculture: An overview of causes, impacts and approaches for reducing the risks. **Heliyon**, v. 9, n. 8, 2023.

LEVINTAL, E. et al. Agricultural managed aquifer recharge (Ag-MAR) a method for sustainable groundwater management: a review. **Critical reviews in environmental science and technology**, v. 53, n. 3, p. 291-314, 2023.

MEHTA, D.; VYAS, S. Comparative bio-accumulation of osmoprotectants in saline stress tolerating plants: **A review. Plant Stress**, v. 9, p. 100177, 2023.

MOREIRA, R. C. L. et al. Growth and physiology of *Annona squamosa* L. under different irrigation depths and phosphate fertilization. **Bioscience Journal**, v. 35, p. 389-397, 2019.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 59, p. 651–681, 2008.

PINHEIRO, F. W. A. et al. Gas exchange and yellow passion fruit production under irrigation strategies using brackish water and potassium. **Revista Ciência Agronômica**, v.53, e20217816, p.1-11, 2022.

SARAIVA, A. et al. O impacto do sistema de tratamento de águas residuais da vinícola na pegada hídrica da vinícola. **Water Science and Technology**, v. 80, n. 10, p. 1823-1831, 2019.

SARAIVA, A. et al. Water footprint sustainability as a tool to address climate change in the wine sector: A methodological approach applied to a Portuguese case study. **Atmosphere**, v. 11, n. 9, p. 934, 2020.

SENTHIL, R.; SILAMBARASAN, R. Annona: Um novo biodiesel para motor diesel: Uma investigação experimental comparativa. **Journal of the Energy Institute**, v. 88, n. 4, p. 459-469, 2015.

SILVA, F. A. et al. Ecofisiologia de mudas de pinheira (*Annona squamosa* L.) sob doses de esterco bovino e lâminas de irrigação. **Research. Social Development**, v. 9, n. 7, p. e305974175, 2020.

SOUSA, G. G. et al. Salinidade da água de irrigação no crescimento e produção de anonáceas. **Irriga, Botucatu**, v. 21, n. 2, p. 310–323, 2016.

WANG, W; BAI, T; LIU, X. Effects of Water, Fertilizer and Heat Coupling on Soil Hydrothermal Conditions and Yield and Quality of *Annona squamosa*. **Agronomy**, v. 14, n. 10, p. 2189, 2024.

ARTIGO II - ASPECTOS FISIOLÓGICOS E NUTRICIONAL DA *Annona squamosa* L. IRRIGADA COM ÁGUAS SALOBRAS SOB LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO NO SEMIÁRIDO POTIGUAR

RESUMO

A pinha (*Annona squamosa* L.) é uma fruteira tropical de importância econômica no Brasil, especialmente na região Nordeste. Nessa região, a escassez hídrica representa um dos principais estresses abióticos, tornando a irrigação com água salina uma alternativa potencialmente viável. No entanto, sem manejo adequado, o excesso de sais pode comprometer o desenvolvimento vegetal, afetar a fisiologia, induzir citotoxicidade e reduzir a fotossíntese quando bem manejada, contudo, pode se tornar uma alternativa viável ao cultivo. A adoção da fração de lixiviação constitui uma estratégia para minimizar os efeitos da salinidade na rizosfera. Diante disso, objetivou-se avaliar aspectos fisiológicos e iônicos na cultura da pinheira irrigada com água salobra sob diferentes lâminas de irrigação. O experimento foi conduzido em pomar de pinheira com dois anos de idade, localizado na zona rural de Upanema-RN, no final do período seco de 2023. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial $3 \times 3 + 1$, combinando três níveis de salinidade da água de irrigação (1,5; 3,0 e 4,5 dS m⁻¹) e três lâminas de irrigação (33%, 66% e 100% da ETc), além de uma testemunha sem irrigação. Foram avaliadas trocas gasosas, danos de membrana, pigmentos fotossintéticos, açúcares redutores e totais, além da composição mineral dos tecidos vegetais. O aumento da salinidade da água de irrigação elevou o acúmulo de Na⁺ e Cl⁻ e reduziu os teores de nutrientes e clorofilas na pinheira. Contudo, a cultura apresentou tolerância ao uso de água salobra com condutividade elétrica de até 3,0 dS m⁻¹, associada à lâmina intermediária de irrigação (66% da ETc), sem prejuízos severos às variáveis bioquímicas e fisiológicas avaliadas.

Palavra-chave: Estresse salino-hídrico; trocas gasosas; manejo de irrigação.

ARTICLE II – PHYSIOLOGICAL AND NUTRITIONAL ASPECTS OF *Annona squamosa* L. IRRIGATED WITH BRACKISH WATER UNDER DIFFERENT IRRIGATION DEPTHS IN THE SEMIARID REGION OF RIO GRANDE DO NORTE

ABSTRACT

Sugar apple (*Annona squamosa* L.) is a tropical fruit crop of economic importance in Brazil, particularly in the Northeast region. In this region, water scarcity represents one of the primary abiotic stresses, making irrigation with saline water a potentially viable alternative. However, without proper management, excessive salt accumulation can compromise plant development, impair physiological processes, induce cytotoxicity, and reduce photosynthesis. When adequately managed, nonetheless, saline irrigation can become a feasible option for crop production. The adoption of a leaching fraction constitutes a key strategy to minimize the effects of salinity in the rhizosphere. Given this, the objective of this study was to evaluate physiological and ionic aspects of sugar apple irrigated with brackish water under different irrigation depths. The experiment was conducted in a two-year-old sugar apple (*Annona squamosa* L.) orchard located in the rural area of Upanema, Rio Grande do Norte, Brazil, at the end of the dry season of 2023. A randomized complete block design was used, with four replications, arranged in a $3 \times 3 + 1$ factorial scheme, combining three irrigation water salinity levels (1.5, 3.0, and 4.5 dS m⁻¹) and three irrigation depths (33, 66, and 100% of ET_c), along with a non-irrigated control treatment. The following variables were assessed: gas exchange, membrane damage, photosynthetic pigments, reducing and total sugars, and mineral composition of plant tissues. Increasing irrigation water salinity promoted greater accumulation of Na⁺ and Cl⁻ and reduced nutrient and chlorophyll contents in sugar apple plants. Nevertheless, the crop demonstrated tolerance to brackish water with electrical conductivity of up to 3.0 dS m⁻¹, when combined with an intermediate irrigation depth (66% of ET_c), without severe impairment to the biochemical and physiological variables evaluated.

Keywords: Saline-water stress; gas exchange; irrigation management.

INTRODUÇÃO

A água de irrigação é um fator limitante e indispensável para a produção agrícola no semiárido nordestino. Essa região caracteriza-se por apresentar elevada variabilidade temporal e espacial no regime hídrico. Além disso, as altas temperaturas típicas da região promovem o aumento da evapotranspiração, o que resulta no agravamento da escassez hídrica, na salinização do solo e em baixas taxas de sobrevivência das culturas, comprometendo o crescimento e o desenvolvimento da agricultura no semiárido (Rebouças, 1997; Soares & Campos, 2013). Nesse contexto, uma alternativa para garantir a continuidade da produção agrícola no semiárido do Nordeste brasileiro é a implementação da irrigação em áreas cultivadas, prática que pode contribuir para a sustentabilidade econômica e social dessas regiões (Sousa et al., 2021).

Todavia, a escassez de água de boa qualidade nessas regiões transforma a produção agrícola em um grande desafio, e uma das alternativas encontradas pelos produtores é o uso de águas salobras, provenientes principalmente do subsolo. Dependendo da variação de sua condutividade elétrica, essas águas podem ser utilizadas na irrigação, considerando-se a cultura, o estágio de desenvolvimento das plantas, o método de aplicação da irrigação e a adoção de um manejo adequado (Amaeal et al., 2021). Com a escassez de água doce, torna-se necessário buscar recursos hídricos alternativos e utilizar fontes não convencionais para a irrigação. Nesse contexto, a água salobra tem se mostrado um recurso eficaz para lidar com a escassez de água doce em diversos países e regiões (Finkelshtain et al., 2020; Guo et al., 2022; Liu et al., 2022; Liu et al., 2024).

Entretanto, o uso de água salobra na irrigação pode acarretar problemas tanto no solo quanto nas plantas. Os estresses abióticos afetam múltiplas dimensões funcionais das plantas. Entre os efeitos fisiológicos, destacam-se a redução da condutância estomática, da taxa de transpiração e da eficiência fotossintética. Alterações biométricas incluem diminuição da altura, da área foliar e da produção de biomassa. Do ponto de vista bioquímico, observam-se desequilíbrios na síntese de solutos osmorreguladores e na atividade de enzimas antioxidantes (Barbosa et al., 2014; Guimarães et al., 2019; Guimarães et al., 2020). As principais implicações causadas pelo excesso de sais no solo incluem a redução do potencial osmótico da solução do solo, a diminuição da disponibilidade de água e o acúmulo de íons tóxicos, como Na^+ e Cl^- , nos tecidos vegetais (Munns & Tester, 2008).

Embora a irrigação com águas salobras apresente desafios ao sistema solo-planta, diversas estratégias de manejo podem ser adotadas para reduzir seus impactos negativos. Essas medidas incluem a mistura de águas de diferentes qualidades, a irrigação localizada, o uso de espécies tolerantes, além da adoção de sistemas de drenagem e manejo nutricional adequado. Nesse contexto, Lacerda et al. (2009) destacam que a aplicação de fontes salinas em fases fenológicas específicas, aliada ao uso cíclico de águas e à seleção genética, constitui uma abordagem eficaz para mitigar o estresse salino e preservar as propriedades físico-químicas do solo.

Os estresses abióticos, especialmente a salinidade e a escassez hídrica, têm sido amplamente estudadas, e a manutenção da homeostase mineral é reconhecida como um dos principais mecanismos de tolerância das plantas a esses estresses. Segundo Taiz et al. (2024), as plantas apresentam diversos mecanismos para limitar esses efeitos, como o ajuste osmótico para manutenção da hidratação celular, a atuação de bombas de prótons na homeostase do pH, a ação de proteínas chaperonas moleculares, o acúmulo de metabólitos e proteínas de proteção, além da regulação do crescimento, da fotossíntese, do transporte através das membranas, da abertura estomática e da alocação de recursos respostas que, em conjunto, visam manter a homeostase celular e permitir que a planta complete seu ciclo de vida mesmo sob condições ambientais adversas.

A *Annona squamosa* L., popularmente conhecida no Brasil como pinha, ata ou fruta-do-conde, é uma frutífera tropical de importância socioeconômica na região Nordeste, cuja comercialização é predominantemente direcionada ao mercado regional. A pinheira adapta-se bem às condições edafoclimáticas do semiárido. De acordo com Lederman (2019), nos últimos anos tem ocorrido a expansão da área cultivada com pinha, acompanhada por um aumento significativo da quantidade de frutos ofertados e melhoria de sua qualidade. Todavia, apesar de sua importância e rusticidade, ainda são incipientes os estudos que relacionam a tolerância da pinheira ao estresse salino quando associado ao manejo de diferentes lâminas de irrigação.

Diante desse contexto, objetivou-se avaliar aspectos fisiológicos e o teor de nutrientes na cultura da pinheira irrigada com água salobra, sob diferentes lâminas de irrigação. Com base nisso, estabeleceu-se a hipótese de que, sob condições de déficit hídrico e acúmulo de Na^+ e Cl^- no sistema solo-planta, a pinheira é capaz de ajustar sua homeostase mineral, preservando o funcionamento fisiológico incluindo trocas gasosas, integridade de membranas, teores de clorofilas e partição de nutrientes.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em área experimental localizada na zona rural do município de Upanema-RN, no sítio Cumaru, região Oeste do Rio Grande do Norte cujas coordenadas são 5° 33' 33" de latitude sul e longitude 37° 11' 56" Oeste com 108 metros de altitude, em um pomar de dois anos de idade. A pesquisa ocorreu numa região de clima BSh (Dubreuil et al., 2018), ou seja, semiárido e quente, com precipitação pluviométrica bastante irregular e variável ao longo do ano, sendo o trimestre mais chuvoso entre os meses fevereiro e abril e o período mais seco entre os meses de setembro a novembro. O experimento ocorreu entre o segundo ano de cultivo, no final do segundo ciclo reprodutivo, no final do período seco do ano de 2023.

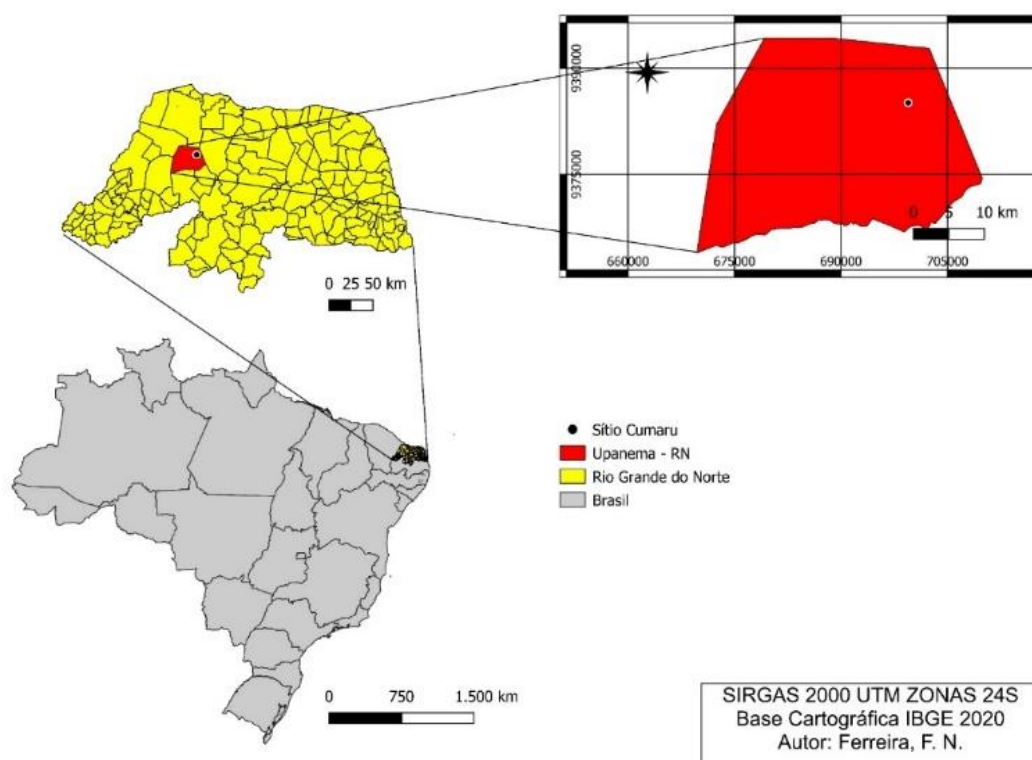


Figura 1. Localização geográfica do sítio Cumaru, Upanema, Rio Grande do Norte, Brasil.

O delineamento foi em blocos casualizados, com 4 repetições em esquema fatorial $3 \times 3 + 1$, onde os fatores são constituídos por três níveis de salinidade da água de irrigação, expressos em termos de condutividade elétrica da água de irrigação (1,5; 3,0 e 4,5 dS m^{-1}) e três lâminas de irrigação (33%; 66% e 100% da ET_c estimada para a cultura) com um tratamento adicional como testemunha, sem irrigação, cujas parcelas foram constituídas de 6 plantas, perfazendo um total de 40 unidades experimentais.

Os dados registrados pela estação meteorológica instalada no local podem ser observados na Figura 2. A pesquisa ocorreu no período julho a dezembro de 2022, em que a temperatura oscilou entre 18,82 e 37,25 °C, sendo a média de 27,33 °C e a umidade relativa média foi de aproximadamente 60,40%. Foram registradas 40 mm de chuva no período estudado, e a radiação global diária variou bastante, entre 15,68 e 21,84 MJ/m², sendo a média de 19,66 MJ/m².

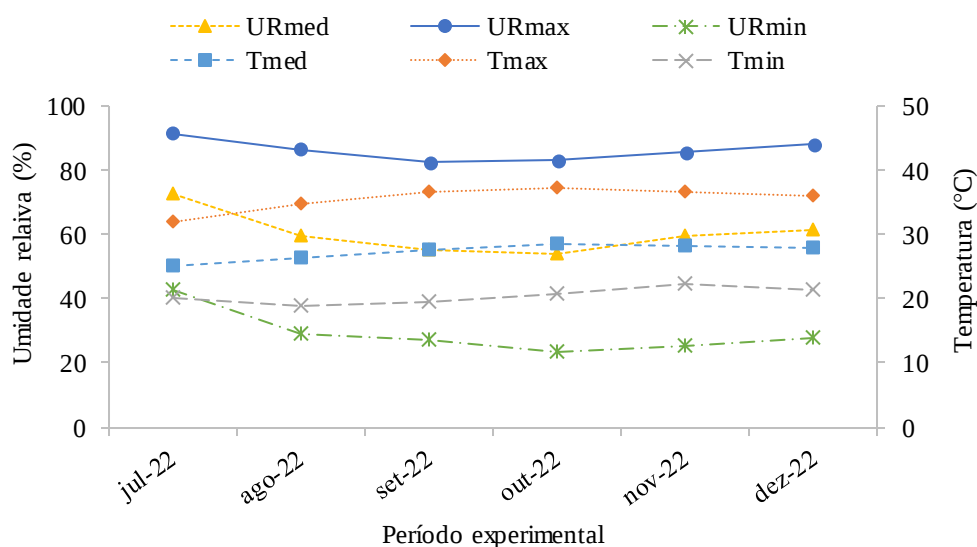


Figura 2. Dados coletados pela estação meteorológica na área estudada.

As mudas de pinha foram produzidas a partir de sementes coletadas em um pomar comercial em Quixeré/CE. Os frutos foram coletados completamente maduros, em seguida a polpa foi separada das sementes, lavadas em água corrente para resíduos restantes de polpa, na sequência foram secas e armazenadas em local adequado. Foram semeadas duas sementes em cada saco para mudas de dimensões 20 x 25 x 0,014, com volume de 2,5 litros. O substrato utilizado foi uma mistura de solo, areia e esterco curtido nas proporções 2:1:1 respectivamente. As plantas quando atingiram 40 cm de altura, foram transplantadas para o campo em covas de 30 x 30 x 30 cm, com um espaçamento de 2,0 x 2,0 m. Cada muda recebeu 2 L de esterco bovino e 80 g de MAP (11% de N :52% de P:00).

A irrigação se deu por um sistema localizado usando microtubos como emissores, usando um ou dois por planta, dimensionados para proporcionar uma vazão proporcional as lâminas de irrigação desejada (30, 56 e 81 L h⁻¹). A lâmina máxima de irrigação para atender 100% da ETc se baseou no monitoramento da umidade do solo por tensiometria, de modo a manter o potencial matricial da água no solo entre 8 e 20 kPa. As irrigações

ocorreram entre os meses de setembro de 2022 a novembro de 2023. Neste período foi aplicado 151 mm para a maior lâmina. Sendo cada irrigação para lâmina L3 de 15 a 20 mm por aplicação, quando realizada, de modo a repor a umidade para a capacidade de campo no bulbo molhado. O croquis da área e a relação entre a nomenclatura dada aos tratamentos e os níveis dos fatores aplicados são mostrados na Figura 3 e Tabela 3, respectivamente.



Figura 3. Croquis da área experimental.

O experimento ocorreu em um solo classificado com Cambissolo (Santos et al., 2018), em que a caracterização química do solo na camada 0 – 20 cm pode ser observada na Tabela 1. Além disso, a composição química das águas de irrigação está descrita na Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização química do solo da área experimental na camada 0 – 20 cm.

pH	CEes	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al	H+Al	SB	t	CTC	V	m	PST
(H ₂ O)	(dS m ⁻¹)	-----mg dm ⁻³ -----												
7,73	0,35	13,4	325,0	12,9	3,70	1,08	0,0	0,0	5,67	5,67	5,67	100	0	1

pH: potencial hidrogeniônico, CE: condutividade elétrica, P: fósforo, K: potássio, Na: sódio, Ca: cálcio, M: magnésio, Al: Alumínio, H+Al: acidez potencial, SB: soma de bases, CTC: capacidade de trocas catiônicas, V: saturação por bases, m: saturação por alumínio e PST: porcentagem de sódio trocável.

A água de 1,5 dS m⁻¹ foi proveniente de um poço que explora o aquífero arenito calcífero, similar ao calcário Jandaíra. Para a obtenção dos duas maiores níveis de salinidade, foram preparadas soluções estoque na concentração de 200 g L⁻¹ de NaCl (3,42 M), CaCl₂H₂O (1,36 M) e MgSO₄.7H₂O (0,81 M) e quantidades adicionadas da solução estoque, de modo que a proporção final foi de 7:3:1 de Na, Ca e Mg, o que representa a

composição média das águas mais salinas da região de exploração do Aquífero Calcário Jandaíra (Silva Júnior et al., 1999) (Tabela 2).

Tabela 3. Composição química das águas usados no experimento.

CEes	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
(dS m ⁻¹)	-----mmolc dm ⁻³ -----						
1,5	3,0	1,0	7,0	0,12	8,1	7,0	0,3
3,0	4,5	1,5	10,5	0,12	22,1	6,8	0,8
4,5	6,9	2,3	16,1	0,12	35,6	6,9	1,4

Tabela 4. Identificação da nomenclatura dos tratamentos aplicados.

Tratamento	Lâmina de irrigação	Condutividade elétrica
	(% ETc)	(dS m ⁻¹)
T0	-	-
L1S1	33	1,5
L1S2	33	1,5
L1S3	33	1,5
L2S1	66	3,0
L2S2	66	3,0
L2S3	66	3,0
L3S1	100	4,5
L3S2	100	4,5
L3S3	100	4,5

T0: tratamento sem irrigação.

As análises e a coleta do material vegetal foram conduzidos nos período de outubro a novembro de 2023. As análises de trocas gasosas foliares foram realizadas entre 8:00 e 10:00 da manhã, com as leituras sendo obtidas de uma planta por parcela, medindo-se a folhas do terço médio de cada planta. Os valores foram mensurados com um analisador portátil de gases no infravermelho (IRGA, GFS-3000, Walz, Effeltrich, Germany), com as seguintes configurações: velocidade do impulsor de 7; área de leitura de 8 cm²; temperatura da cubeta com 25 °C; concentração de CO₂ de 400 ppm; taxa de fluxo com 750 μmol min⁻¹; e densidade de fluxo de fótons de 1.200 μmol m⁻² s⁻¹.

As variáveis analisadas foram: temperatura da folha (TF – °C), déficit de pressão de vapor (DPV – kPa), condutância estomática (gs – mmol H₂O m⁻² s⁻¹), taxa de transpiração (E – mmol H₂O m⁻² s⁻¹), taxa de assimilação de CO₂ (A – μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), eficiência do uso da água [EUA – μmol CO₂ m⁻² s⁻¹(mmol H₂O m⁻² s⁻¹)⁻¹] e eficiência intrínseca do uso da água [EiUA– μmol CO₂ m⁻² s⁻¹(mmol H₂O m⁻² s⁻¹)⁻¹].

Para verificar a capacidade de desruptura da membrana celular sob condições de estresse salino, foi determinado o percentual de dano na membrana celular. Para tanto, foram coletadas também, no terço médio das plantas, 8 discos foliares de 113 mm² de área, lavados com água destilada visando à retirada de outros eletrólitos aderidos às folhas, em seguida, foi acondicionados em tubo falcon, 50 mL de água deionizada e fechados com papel alumínio. Durante 90 minutos, as amostras permaneceram a 25 °C, sendo então realizada a mensuração da condutividade elétrica inicial (Ci). Em seguida, os tubos Falcon foram conduzidos ao banho-maria e submetidos à temperatura de 80 °C por 90 minutos. Após o resfriamento, procedeu-se à nova mensuração, obtendo-se a condutividade elétrica final (Cf). Desta forma, o percentual de dano na membrana celular foi obtido de acordo com Scotti-Campos et al. (2013), conforme equação:

$$\%D = Ci/Cf \times 100$$

Em que: %D = percentual de dano na membrana celular (%);

Ci= condutividade elétrica inicial (dS m⁻¹);

Cf= condutividade elétrica final (dS m⁻¹).

A determinação dos pigmentos fotossintéticos seguiu o método de Lichtenthaler (1987). A extração da clorofila foi realizada em recipientes contendo 6 mL de acetona (80%), utilizando-se 8 discos foliares de área conhecida (2,8 cm²) por amostra, retirados da região mediana do limbo foliar, entre as nervuras. O material foi mantido no escuro e sob refrigeração por 48 horas.. A partir dos extratos foi determinadas as concentrações de clorofila e carotenoides nas soluções por meio do espectrofotômetro no comprimento de onda de absorbância (ABS) (470, 646, e 663 nm), por meio das equações:

$$\text{Clorofila a (Cl a)} = 12,21 \text{ ABS}_{663} - 2,81 \text{ ABS } 646;$$

$$\text{Clorofila b (Cl b)} = 20,13 \text{ A}_{646} - 5,03 \text{ ABS } 663;$$

$$\text{Clorofila total (Cl total)} = 17,3 \text{ A}_{646} + 7,18 \text{ A}_{663}$$

$$\text{Carotenóides (Car)} = (1000 \text{ ABS}_{470} - 1,82 \text{ Cl a} - 85,02 \text{ Cl b}) / 198$$

Os valores obtidos para os teores de clorofila a, b e total e carotenoides nas folhas foram expressos em mg g⁻¹ MF.

Os açúcares redutores totais foram determinados pelo método de Antrona (9,10-diphenyl-9,10-dihydro-anthracene-9,10-diol), conforme Yemn e Willis (1954), a partir de 1 g das amostras de folha diluídas em balão volumétrico de 100 mL de álcool 80%, retirou-se 10 mL da solução para outro balão de 100 mL e completou o volume com água

destilada. Depois, foi tomada uma alíquota para realizar a análise; a leitura foi realizada em espectrofotômetro a 620 nm, os resultados foram expressos em porcentagem (%).

Para o preparo do extrato para análise bioquímica (açúcares totais e redutores), foi pesado 0,2 g de massa fresca em triplicata e acondicionadas as amostras em tubos Eppendorf. Em seguida, as amostras foram maceradas com nitrogênio líquido para facilitar a trituração e preservar os compostos bioquímicos. Após a maceração, adicionou-se 1 mL de etanol a 80% (v/v) em cada tubo e as amostras foram homogeneizadas até a obtenção de uma mistura uniforme. Os tubos foram incubados em banho-maria a 60°C por 20 minutos. Após a incubação, realizou-se a centrifugação das amostras a 10.000 rpm e 4°C por 10 minutos. O sobrenadante foi cuidadosamente transferido para um novo tubo Eppendorf, evitando perturbar o pellet. O processo de extração foi repetido a partir da etapa de adição do etanol por mais duas vezes, garantindo uma extração eficiente. Por fim, os sobrenadantes das extrações repetidas são combinados e armazenados conforme necessário para análises posteriores.

Após a obtenção do extrato, foram realizadas as análises de açúcares totais e redutores. Os açúcares totais foram determinados pelo método da antrona (9,10-diphenyl-9,10-dihydro-anthracene-9,10-diol), conforme descrito por Yemn e Willis (1954). A partir do extrato, foi feita uma diluição: em um tubo de ensaio, adicionaram-se 100 µL do extrato e 900 µL de etanol. Em seguida, uma alíquota de 100 µL das amostras diluídas foram misturadas com 900 µL água e os tubos foram colocados em um banho de gelo, onde permaneceram enquanto se adicionava o reagente de antrona. Após a adição da antrona, os tubos foram agitados e imediatamente retornados ao banho de gelo. Posteriormente, foram transferidos para um banho-maria por 8 minutos. As amostras foram então resfriadas em água gelada, e a leitura da absorbância foi realizada em um espectrofotômetro a 620 nm.

As amostras vegetais para análise dos elementos iônicos foram coletadas na área experimental do Sítio Cumaru. As amostragens ocorreram no período da manhã, entre 8:00 e 10:00 h. Foram coletadas folhas completas e totalmente expandidas, localizadas na porção média dos ramos, sendo cada amostra composta por aproximadamente 100 folhas. Também foram selecionados ramos da porção mediana da copa, em posição uniforme entre os indivíduos, coletando-se segmentos de 10 a 20 cm de comprimento, em quantidade suficiente para obtenção da massa necessária às análises laboratoriais.

A coleta de raízes foi conduzida na zona de maior atividade radicular, correspondente à projeção da copa, priorizando as camadas superficiais do solo. Foram

selecionadas raízes finas, com diâmetro inferior a 2 mm, por serem mais ativas na absorção de água e nutrientes. As raízes foram imediatamente lavadas com água corrente e, posteriormente, com água destilada, visando à remoção completa do solo e de resíduos minerais. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em sacos kraft, identificadas por tratamento e transportadas para o laboratório da UFERSA.

Em seguida, as amostras foram submetidas à secagem em estufas com temperatura controlada (65 °C) até atingirem peso constante. A moagem do material vegetal, foi realizada em moinhos de facas de aço inoxidável, tipo Willey, teve como objetivo reduzir as amostras a um pó fino (peneira de 20 mesh), facilitando sua manipulação e assegurando a homogeneização. Cuidados de limpeza do moinho entre uma amostra e outra foram necessários para evitar contaminação cruzada.

As amostras moídas foram então armazenadas em frascos de plástico. Desses frascos, foram retiradas as subamostras, com as quais foram preparados os extratos para as determinações posteriores.

A análise química dos tecidos vegetais de pinheira foi conduzida com o objetivo de determinar a concentração de macronutrientes e íons que geram toxicidade em plantas sensíveis (Na e Cl). A extração dos elementos fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foi realizada por digestão seca do material vegetal, conforme a metodologia proposta por Silva (2009). O teor de nitrogênio (N) foi obtido por meio de digestão sulfúrica, seguindo o mesmo autor. A determinação do cloro (Cl) foi realizada segundo o método de Mohr. As quantificações de nitrogênio (N) e cloro (Cl) foram efetuadas por titulometria.

Os dados foram submetidos à análise de variância aplicando-se o teste F, quando significativo, aplicou-se o teste de média de Tukey a 5% de probabilidade, e teste de Dunnett a 5% para comparar os tratamentos que receberam complementação hídrica com as plantas não irrigadas, e análise de regressão linear para estudar o efeito quantitativo das lâminas de irrigação e da condutividade elétrica das águas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise de variância (Tabela 4), não foram observados efeitos significativos para as variáveis de trocas gasosas em plantas de pinheira.

A ausência de efeito significativo da salinidade e das lâminas de irrigação bem como da interação entre eles sobre as trocas gasosas podem ser explicados pela manutenção do status hídrico das plantas em níveis não limitantes durante o período

experimental. Estudos clássicos demonstram que a assimilação de CO₂ e a condutância estomática somente são afetadas quando o potencial hídrico foliar atinge limiares críticos, sendo o crescimento mais sensível ao estresse hídrico e osmótico do que a fotossíntese (Hsiao, 1973; Kramer & Boyer, 1995).

Em condições de salinidade moderada, o efeito osmótico inicial reduz a expansão celular, enquanto mecanismos de ajuste osmótico e controle estomático conservativo permitem a manutenção das trocas gasosas, especialmente quando há adequada disponibilidade de água no solo (Munns, 1993; Munns & Tester, 2008). Além disso, plantas com comportamento isoídrico tendem a regular a abertura estomática de forma a estabilizar o potencial hídrico foliar, resultando em baixa sensibilidade de gs, A e E às variações na lâmina de irrigação quando não ocorre déficit hídrico severo (Tardieu & Simonneau, 1998; Jones, 1998).

Tabela 5. Resumo da análise de variância (quadrados médios) para temperatura da folha (TF), déficit de pressão de vapor (DPV), condutância estomática (gs), taxa de transpiração (E), taxa de assimilação de CO₂ (A), eficiência do uso da água (EUA) e eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) em função das lâminas de irrigação e dos níveis de salinidade da água de irrigação na cultura da pinheira (*Annona squamosa* L).

FV	GL	TF	DPV	gs	A	E	EUA	EiUA
Bloco	3	12,5	94,9	132,4	13,6	0,67	2,29	0,0024
Sal	2	0,19 ^{ns}	0,10 ^{ns}	435,4 ^{ns}	3,21 ^{ns}	0,62 ^{ns}	1,24 ^{ns}	0,0010 ^{ns}
Reg. Linear	1	0,13 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,13 ^{ns}	0,21 ^{ns}	2,70 ^{ns}	2,87 ^{ns}	1,66 ^{ns}
Lam	2	2,24 ^{ns}	27,1 ^{ns}	846,7 ^{ns}	24,2 ^{ns}	0,26 ^{ns}	2,53 ^{ns}	0,0017 ^{ns}
Reg. Linear	1	2,53 ^{ns}	4,16 ^{ns}	0,53 ^{ns}	1,13 ^{ns}	1,18 ^{ns}	0,47 ^{ns}	3,89 ^{ns}
Sal x Lam	4	1,28 ^{ns}	8,19 ^{ns}	123,8 ^{ns}	2,62 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,92 ^{ns}	0,00078 ^{ns}
T0 x Ft	1	2,38 ^{ns}	21,3 ^{ns}	517,6 ^{ns}	8,42 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,00003 ^{ns}
Erro	27	1,77	12,9	421,5	9,85	0,44	0,85	0,00079
CV (%)		4,12	10,19	27,49	50,90	25,67	40,11	35,40

**significativo ($p \leq 0,01$); * significativo ($p \leq 0,05$); ns não significativo ($p > 0,05$); FV= fontes de variação; CV = coeficiente de variação. T0 x Ft = tratamentos que receberam complementação hídrica com as plantas não irrigadas. Sal= níveis salinos, Lam= lâminas de irrigação.

Considerando os íons presentes nas folhas das plantas de pinheira, verificou-se efeito significativo dos níveis de salinidade para os íons sódio e cloro. Constatou-se ainda que, nas folhas, os teores de Na, Cl, K e nitrogênio (N) apresentaram efeito significativo da irrigação complementar em relação às plantas não irrigadas e às lâminas de irrigação (Tabela 5). Não houve efeito significativo para as lâminas de irrigação isoladamente. Para os íons nas folhas, não houve efeito significativo para as variáveis potássio, fósforo, cálcio e magnésio.

Tabela 6. Resumo da análise de variância (quadrados médios) para os variáveis íons de sódio (Na), cloro (Cl), potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e nitrogênio (N) na folha, em função das lâminas de irrigação e dos níveis de salinidade da água de irrigação na cultura da pinheira (*Annona squamosa* L).

Íons na Folha								
FV	GL	Na	Cl	K	P	Ca	Mg	N
Bloco	3	0,24	9,0	3,05	11,4	0,56	0,29	2,25
Sal	2	7,43**	449,0**	4,62	7,58 ^{ns}	2,65 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,13 ^{ns}
Reg. Linear	1	12,28**	10,03**	1,17 ^{ns}	2,52 ^{ns}	1,20 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,49 ^{ns}
Lam	2	0,24 ^{ns}	8,05 ^{ns}	20,9 ^{ns}	1,38 ^{ns}	6,17 ^{ns}	0,67 ^{ns}	2,04 ^{ns}
Reg. Linear	1	0,68 ^{ns}	0,13 ^{ns}	5,45*	0,08 ^{ns}	0,22 ^{ns}	2,40 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Sal x Lam	4	0,23 ^{ns}	24,5 ^{ns}	3,70 ^{ns}	0,82 ^{ns}	4,01 ^{ns}	0,46 ^{ns}	4,48 ^{ns}
T0 x Ft	1	4,62*	4,09*	11,5*	27,3 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,19 ^{ns}	47,0*
Erro	27	0,72	28,4	7,67	7,25	4,4	0,50	6,23
CV (%)		46,14	16,3	30,2	36,20	29,16	24,31	10,0

**significativo ($p \leq 0,01$); * significativo ($p \leq 0,05$); ns não significativo ($p > 0,05$); FV= fontes de variação; CV = coeficiente de variação. T0 x Ft = tratamentos que receberam complementação hídrica com as plantas não irrigadas. Sal= níveis salinos, Lam= lâminas de irrigação.

Os teores de sódio na folha aumentaram com condutividade elétrica da água de irrigação sendo observado que para cada incremento unitário na CE da água de irrigação de (1 dS m^{-1}), ocorre um aumento médio de $0,52 \text{ g kg}^{-1}$ no teor de Na na folhas. O teor de cloro na folha teve incremento com aumento da condutividade elétrica da água de irrigação, observada um aumento de 56,7% quando comparados os valores 1,5 e $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ da água de irrigação, observa-se que a cada incremento de 1 dS m^{-1} na salinidade da água de irrigação, ocorre incremento média de $3,62 \text{ g kg}^{-1}$ no teor de Cl nas folhas.

A salinidade provoca inicialmente estresse osmótico, segundo por estresse iônico, os quais desencadeiam estresses secundário, incluindo o estresse oxidativo (Wang et al., 2022). De acordo com Negrão et al. (2017), o estresse osmótico inibe a absorção de água, enquanto o estresse iônico causa toxicidade devido ao acúmulo excessivo de Na^+ nos tecidos vegetais expostos à salinidade. O excesso de Cl^- pode perturbar o equilíbrio potencial da planta, induzindo alterações na composição e estrutura da membrana plasmática, aumentando assim sua permeabilidade. Como consequência, as plantas

podem apresentar sintomas tóxicos, como crescimento atrofiado, morfologia atrofiada, clorose e abscisão foliar prematura (Liu et al 2023).

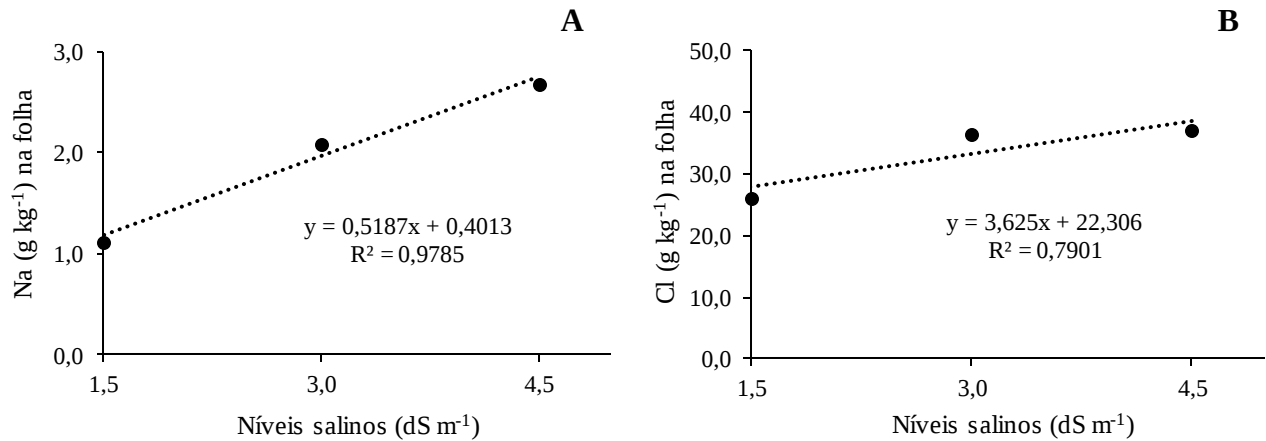


Figura 4. Teores de sódio (A) e cloro (B) em folhas de pinheira, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação (dS m⁻¹).

De acordo com o resumo da análise de variância para os íons no ramo (Tabela 6), observa-se que houve efeito significativo para os níveis de salinidade para sódio, cloro e potássio, a 5% de probabilidade. Para os teores de íons sódio, potássio e nitrogênio total, verificou-se efeito significativo para a irrigação complementar em relação às plantas não irrigadas e para a lâmina de irrigação. Não houve efeito significativo para a lâmina de irrigação e para a interação entre níveis de salinidade e lâminas de irrigação em nenhuma variável estudada. Para as variáveis dos teores de íons de, cálcio e magnésio no ramo, não foi significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 7. Resumo da análise de variância (quadrado médio) para as variáveis de íons de sódio (Na), cloro (Cl), potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e nitrogênio (N) no ramo, em função das lâminas de irrigação e dos níveis salinos da água de irrigação na cultura da pinheira (*Annona squamosa* L).

Íons no Ramo								
FV	GL	Na	Cl	K	P	Ca	Mg	N
Bloco	3	1,49	39,3	4,24	15,1	2,1	0,21	0,53
Sal	2	15,7**	156,7*	45,0*	10,4 ^{ns}	2,09 ^{ns}	0,040 ^{ns}	0,33 ^{ns}
Reg. Linear	1	22,8**	3,42 ^{ns}	8,33**	2,74 ^{ns}	1,81 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,49 ^{ns}
Lam	2	0,45 ^{ns}	2,27 ^{ns}	31,4 ^{ns}	0,23 ^{ns}	1,19 ^{ns}	0,041 ^{ns}	0,12 ^{ns}
Reg. Linear	1	1,11 ^{ns}	0,04 ^{ns}	5,96*	0,08 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Sal x Lam	4	0,24 ^{ns}	12,7 ^{ns}	5,64 ^{ns}	17,0*	1,52 ^{ns}	0,14 ^{ns}	1,63 ^{ns}
T0 x Ft	1	6,19*	0,75 ^{ns}	48,3*	4,35 ^{ns}	3,34 ^{ns}	0,007 ^{ns}	12,3**
Erro	27	0,83	29,0	10,5	6,42	2,3	0,20	0,73
CV (%)		32,81	27,7	30,2	23,4	39,66	32,47	9,89

**significativo ($p \leq 0,01$); * significativo ($p \leq 0,05$); ns não significativo ($p > 0,05$); FV= fontes de variação; CV = coeficiente de variação. T0 x Ft = tratamentos que receberam complementação hídrica com as plantas não irrigadas. Sal= níveis salinos, Lam= lâminas de irrigação.

O teor de sódio no ramo aumentou com o incremento da salinidade da água de irrigação. Comparando-se os níveis de 1,5 e 4,5 dS m⁻¹, observou-se aumento de 98,23% no teor de Na⁺. De acordo com o modelo de regressão, para cada incremento unitário de 1 dS m⁻¹ na condutividade elétrica da água, houve aumento médio de 0,64 g kg⁻¹ no teor de sódio no ramo. Por outro lado, o teor de potássio apresentou comportamento inverso, reduzindo 22,04% quando comparada a salinidade de 4,5 dS m⁻¹ à de 1,5 dS m⁻¹. A regressão indicou que, a cada incremento de 1 dS m⁻¹ na salinidade da água de irrigação, ocorre redução média de 0,86 g kg⁻¹ no teor de K⁺ no ramo (Figura 5).

Segundo Taiz et al. (2024), em ambientes salinos, os níveis citosólicos de Na⁺ e Cl⁻ podem superar 100 mM, tornando esses íons citotóxicos. De acordo com Khondoker et al. (2023), a salinidade restringe o desempenho fisiológico das plantas ao afetar a fotossíntese e o transporte de nutrientes. Esse estresse ocorre porque o excesso de sais nas

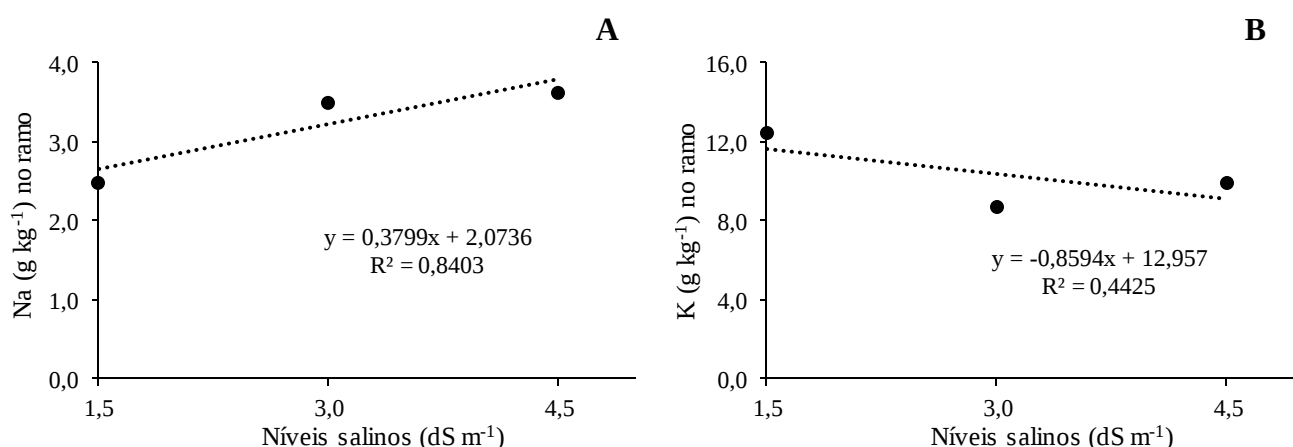


Figura 5. Teores de sódio (A) e potássio (B) em ramo de pinheira, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação (dS m⁻¹).

Comparando-se as médias, observa-se diferença estatística significativa entre os tratamentos para os íons de sódio e cloro na folha, conforme as letras distintas. Os maiores teores dos íons de Na⁺ e Cl⁻ foram verificados nos níveis salinos de 3,0 e 4,5 dS m⁻¹, não diferindo estatisticamente entre si, mas obtiveram valores superiores em relação à testemunha (Tabela 7). Quando se comparam os níveis de salinidade de 4,5 dS m⁻¹ dos valores médios de sódio e cloro com a testemunha, observa-se um aumento nos teores de íons de 224,39% e 40,42%, respectivamente (Tabela 7).

O aumento nos teores foliares de Na⁺ e Cl⁻ pode ser uma consequência direta da absorção fornecida às raízes por fluxo de massa, que depende da taxa de fluxo de água

pelo solo em direção à planta, a qual depende das taxas de transpiração e das concentrações de nutrientes na solução do solo (Taiz et al., 2024). Todavia, pode ser uma capacidade da planta de pinheira em excluir esses íons, visto que estas plantas têm folhas decíduas (Lederman, 2019).

O nitrogênio na folha e no ramo não diferiu estatisticamente entre os tratamentos; todavia, apresentou efeito significativo entre a testemunha e cada tratamento, com exceção do nível salino de 3,0 dS m⁻¹ na folha. Houve redução dos teores nas plantas submetidas à irrigação salobra (15,98 e 8,48) em relação à testemunha (19,60 e 10,34), respectivamente (Tabela 7). As reduções observadas nos teores de nitrogênio foliar e no ramo podem ser reflexo do antagonismo iônico, sobretudo a competição entre o Cl⁻ e o nitrato durante a absorção radicular (Aslam et al., 2023). O autor relata ainda que o excesso de Cl⁻ no meio de cultivo compete diretamente com o nitrato pelos mesmos sítios de absorção na raiz, provocando uma deficiência nutricional pela salinidade.

Tabela 8. Teste de média para os variáveis íons de sódio (Na), cloro (Cl), nitrogênio (N) e potássio (K) na folha e ramo em plantas de pinheira sob níveis de salinidade.

Tratamentos	Íons na Folha			Íons no Ramo			
	Na (g kg ⁻¹)	Cl (g kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)	Na (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Cl (g kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)
Testemunha	0,82	2,35	19,60	1,60	14,04	1,32	10,34
1,5 dS m⁻¹	1,11B	2,21B	15,99*A	1,58B	12,50A	1,15B	8,40*A
3,0 dS m⁻¹	2,09*A	3,24*A	16,08A	3,63*A	8,70*B	1,80A	8,38*A
4,5 dS m⁻¹	2,66*A	3,30*A	15,87*A	3,50*A	9,92AB	1,75A	8,68*A
Média	1,95	2,91	15,98	2,90	10,37	1,56	8,48

*Indica diferença significativa entre a testemunha e cada tratamento Teste de Dunnett a 5% de probabilidade (p < 0,05). Letras diferentes na coluna indicam diferença estatística pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (p < 0,05).

No ramo, observa-se efeito significativo para sódio, potássio e cloro. O sódio apresentou um aumento nos níveis salinos mais elevados (3,0 e 4,5 dS m⁻¹), enquanto o potássio reduziu 38,03% e 29,34% nos tratamentos com maior condutividade elétrica, quando comparado com a testemunha, podendo indicar uma possível competição iônica entre K⁺ e Na⁺. Para o cloro, os tratamentos de 3,0 e 4,5 dS m⁻¹ diferiram significativamente do nível salino de 1,5 dS m⁻¹.

As diferenças estatísticas observadas (Tabela 7) indicam que a irrigação com água salobra promove o acúmulo de sódio e cloro tanto na folha quanto no ramo, acompanhado pela redução dos teores de potássio e nitrogênio total, refletindo o desequilíbrio iônico

característico do estresse salino (referência). Esse padrão pode ser reflexo do efeito osmótico e da toxicidade iônica, uma vez que, em condições de salinidade, o aumento de Na^+ e Cl^- no ambiente supera o de outros nutrientes, favorecendo sua absorção e transporte preferencial pelas plantas.

Segundo Munns e Tester (2008), a raiz inicialmente transporta esses íons para as partes superiores da planta através dos caules, explicando o maior acúmulo observado nas folhas e ramos. Esse processo compromete a aquisição de nutrientes minerais essenciais, uma vez que Na^+ e Cl^- competem diretamente com íons como K^+ e NO_3^- , reduzindo sua disponibilidade e absorção (Balasubramaniam et al., 2023).

Os resultados do íon de potássio da Tabela 7 podem indicar tolerância da pinheira ao estresse salino, visto que a média dos tratamentos salinos foi de 10,37 e observa-se uma diminuição com o incremento da salinidade da água de irrigação, comparado com a testemunha (14,04). Balasubramaniam et al. (2023) apontam que a regulação dos níveis tóxicos de acúmulo de Na^+ e o aumento da captação de K^+ são eventos cruciais na tolerância ao sal e são amplamente interpretados no contexto de uma alta razão K^+/Na^+ citosólica. Os autores afirmam que transportadores e canais, relacionados à tolerância ao estresse salino, contribuem para a captação, o transporte e a distribuição de Na^+ e K^+ , como a permease de captação de K^+ (KUP)/transportador de K^+ , o retificador estelar de saída de K^+ (SKOR) e o trocador de cátions Ca^{2+} , foram clonados e demonstraram manter a homeostase dos íons citosólicos em condições de estresse salino.

O teor de fósforo no ramo apresentou interação significativa entre lâmina de irrigação e salinidade. No nível de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$, as lâminas de 66% e 100% da ETc diferiram da lâmina de 33%, sendo que a lâmina de 100% proporcionou o maior teor de P, com incremento de 90,7% em relação à lâmina de 33%. Já dentro da lâmina de 33%, houve diferença apenas entre os níveis de $3,0$ e $4,5 \text{ dS m}^{-1}$, enquanto $3,0$ não diferiu de $1,5 \text{ dS m}^{-1}$; nessa condição, o nível de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ promoveu aumento de 56,5% no teor de fósforo em comparação a $4,5 \text{ dS m}^{-1}$. Assim, sob maior salinidade, a maior lâmina de irrigação foi a que resultou nos maiores teores de P no ramo entre os tratamentos (Tabela 8). Já no nível de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$, entre as lâminas de irrigação, não houve diferença estatística.

Os resultados da Tabela 8 podem estar associados à dinâmica dos fatores estudados. Segundo Rhoades et al. (1992), estabelecer um manejo da irrigação é fundamental; não é suficiente apenas fornecer água de qualidade, pois a água aplicada determina a fração de lixiviação para impedir o acúmulo de sais e assegurar que a cultura absorva água e nutrientes de forma eficaz. O acúmulo excessivo de sal no meio de

crescimento ou na água de irrigação tem efeitos tóxicos relacionados a íons, reduzindo a absorção de nutrientes essenciais e afetando o potencial osmótico, levando ao déficit hídrico (Sheikhalipour et al., 2023).

Tabela 9. Teste de médias para concentração de íons de fósforo (mg g^{-1}) no ramo da pinheira sob água salobra e lâmina de irrigação.

P ramo				
Testemunha	9,11			
Tratamentos	1,5 dS m^{-1}	3,0 dS m^{-1}	4,5 dS m^{-1}	Média
ETc 33%	10,46ABa	13,54Aa	7,09Ba	10,36
ETc 66%	10,05Aa	10,34Aa	9,88Aa	10,09
ETc 100%	9,65Aa	9,74Aa	11,10Aa	10,16
Média	10,05	11,20	9,53	10,20

*Indica diferença significativa entre a testemunha e cada tratamento Teste de Dunnett a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Letras diferentes na coluna indicam diferença estatística pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Conforme análise de variância dos dados (Tabela 9), os teores de íons na raiz apresentaram efeito significativo para os níveis de salinidade para os íons sódio, potássio e cloro. Já para a lâmina de irrigação, observou-se efeito significativo para os íons de potássio e cloro. Houve efeito significativo ($p \leq 0,01$) para a irrigação complementar em relação às plantas não irrigadas e para a lâmina de irrigação, para os íons sódio e fósforo. Não foi observada interação entre os níveis salinos e a lâmina de irrigação.

Tabela 10. Resumo da análise de variância (quadrado médio) para as variáveis de íons de sódio (Na), cloro (Cl), potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e nitrogênio (N) na raiz, em função das lâminas de irrigação e dos níveis salinos da água de irrigação na cultura da pinheira (*Annona squamosa* L).

Íons na Raiz								
Fv	Gl	Na	Cl	K	P	Ca	Mg	N
Bloco	3	0,223	2,1	2,215	2,43	3,6	1,1	6,37
Sal	2	3,687**	32,6*	7,803*	3,37 ^{ns}	3,36 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,79 ^{ns}
Reg. Linear	1	20,9**	2,83 ^{ns}	9,01**	2,28 ^{ns}	6,19*	0,29 ^{ns}	0,10 ^{ns}
Lam	2	0,0011 ^{ns}	31,6*	10,06**	2,71 ^{ns}	1,39 ^{ns}	0,49 ^{ns}	6,00 ^{ns}
Reg. Linear	1	0,01 ^{ns}	0,06 ^{ns}	11,9 ^{ns}	2,49 ^{ns}	0,20 ^{ns}	1,60 ^{ns}	0,18 ^{ns}
Sal x Lam	4	0,030 ^{ns}	35,7 ^{ns}	0,43 ^{ns}	1,41 ^{ns}	1,61 ^{ns}	0,19 ^{ns}	5,14 ^{ns}
T0 x Ft	1	3,737**	0,15 ^{ns}	5,77 ^{ns}	17,8**	0,012 ^{ns}	0,022 ^{ns}	0,78 ^{ns}
Erro	27	0,210	31,2	1,7	2,29	1,1	0,5	8,95
CV (%)		17,16	11,5	21,87	23,77	30,1	34,37	23,1

**significativo ($p \leq 0,01$); * significativo ($p \leq 0,05$); ns não significativo ($p > 0,05$); FV= fontes de variação; CV = coeficiente de variação. T0 x Ft = tratamentos que receberam complementação hídrica com as plantas não irrigadas. Sal= níveis salinos, Lam= lâminas de irrigação.

As Figuras 6 apresentar resultados semelhante ao observado na Figura 5A. O teor de sódio aumentou com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação em 40,8%; assim, para cada incremento unitário na salinidade da água de irrigação (1 dS m^{-1}), ocorre um aumento médio de $0,31 \text{ g kg}^{-1}$ no teor de Na^+ na raiz.

Uma proporção adequada de K^+/Na^+ no citoplasma pode ser alcançada através da redução do Na^+ citoplasmático e do aumento do K^+ citoplasmático, prevenindo danos celulares e deficiência de nutrientes. Mecanismos para reduzir o Na^+ citoplasmático incluem dificultar a absorção de Na^+ , aumentar o efluxo de Na^+ e sequestrar o Na^+ dentro do vacúolo (Hasanuzzaman et al, 2018; Gao et al, 2019; Gul et al., 2022).

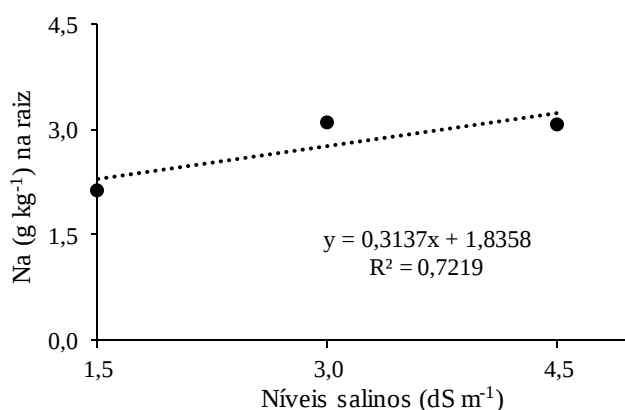


Figura 6. Teores de sódio em raiz de pinheira, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação (dS m^{-1}).

No teor de íons de sódio na raiz (Tabela 10), houve diferença significativa entre os tratamentos e entre a testemunha e cada tratamento para os níveis salinos de 3,0 e $4,5 \text{ dS m}^{-1}$. Este comportamento também foi observado (Tabela 5) para o íon sódio na folha e no ramo. Observa-se um aumento de 79,47% e 75,42% quando comparados os níveis salinos de 3,0 e $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ com o tratamento testemunha.

Tabela 11. Teste de média para as variáveis de íons de sódio (Na), potássio (K), cloro (Cl) e fósforo (P) na raiz em plantas de pinheira sob níveis de salinidade.

Tratamentos	Íons na Raiz			
	Na (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Cl (g kg ⁻¹)	P (mg g ⁻¹)
Testemunha	1,75	4,78	0,91	4,11
1,5 dS m⁻¹	2,13B	6,97*A	0,99B	6,86*A
3,0 dS m⁻¹	3,11*A	5,47B	1,19*A	6,35*A
4,5 dS m⁻¹	3,07*A	5,69AB	1,15AB	5,80A
Média	2,77	6,04	1,11	6,33

*Indica diferença significativa entre a testemunha e cada tratamento Teste de Dunnett a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Letras diferentes na coluna indicam diferença estatística pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Por outro lado, o potássio apresentou comportamento variável, com incremento significativo no tratamento de 1,5 dS m⁻¹, seguido por uma redução dos teores nos níveis elevados de salinidade. O cloro também aumentou com a salinidade, embora com variações menores entre os tratamentos; os maiores níveis não diferiram estatisticamente entre si, sendo que o tratamento de 3,0 dS m⁻¹ teve o maior valor (1,19) e diferença significativa entre a testemunha e cada tratamento, e do tratamento de 1,5 dS m⁻¹. O teor de fósforo foi superior em todos os tratamentos salinos em relação à testemunha, apresentando diferença significativa nos níveis de 1,5 e 3,0 dS m⁻¹ entre a testemunha e cada tratamento. Não houve diferença para o teste de Tukey entre os tratamentos (Tabela 10).

Os resultados (Tabela 10) para os íons sódio e cloro podem ser reflexo do efeito do estresse salino, como foi observado também nos tecidos da folha e do ramo analisados (Tabela 5). Já os íons de potássio e fósforo podem estar relacionados com as funções atribuídas a esses elementos ou a uma possível tolerância da planta ao estresse salino. Taiz et al. (2024) classificam os nutrientes minerais nas plantas de acordo com suas funções bioquímicas em grupos; o potássio está no grupo de nutrientes que permanecem na forma iônica, sendo requerido como cofator de mais de 40 enzimas, cátion no estabelecimento do turgor celular e na manutenção da eletroneutralidade celular.

Para o fósforo, os autores o classificam no grupo dos nutrientes importantes na armazenagem de energia ou na integridade estrutural, atuando como componente de açúcares-fosfato, ácidos nucleicos, nucleotídeos, coenzimas, fosfolipídeos e ácido fítico, tendo papel central em reações que envolvem ATP. A absorção de fósforo não é determinada apenas por sua disponibilidade no solo, mas também é regulada por relações

iônicas, particularmente o equilíbrio entre cátions como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} e Na^{+} (Mukhopadhyay et al., 2021; Miao et al., 2025).

Tabela 12. Teste de média para as variáveis dos elementos potássio (K), cloro (Cl) e fósforo (P) na raiz e nitrogênio (N) no ramo e folha em plantas de pinheira sob lâmina de irrigação.

Tratamentos	K (g kg ⁻¹)	Cl (g kg ⁻¹)	P (mg g ⁻¹)	N Ramo (g kg ⁻¹)	N Folha (g kg ⁻¹)
Testemunha	4,78	0,91	4,11	10,34	19,60
ETc 33%	5,82AB	1,17*A	5,84A	8,57*A	16,23A
ETc 66%	5,26B	0,99B	6,37*A	8,37*A	15,51*A
ETc 100%	7,05*A	1,17*A	6,79*A	8,53*A	16,20A
Média	6,04	1,11	6,33	8,49	15,98

*Indica diferença significativa entre a testemunha e cada tratamento Teste de Dunnett a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Letras diferentes na coluna indicam diferença estatística pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Para o potássio na raiz, o tratamento com 100% da ETc apresentou o maior valor médio (7,05), diferenciando-se significativamente dos demais tratamentos e da testemunha. O teor de íons de cloro na raiz apresentou valores médios iguais (1,17) para as lâminas de irrigação de 33% e 100% da ETc da cultura, não diferindo estatisticamente entre si, mas com diferença significativa entre a testemunha e cada tratamento. Ao observar as Tabelas 10 e 11 de médias para os teores de fósforo na raiz, constata-se um comportamento oposto entre os níveis salinos e as lâminas de irrigação: com o incremento dos níveis salinos, percebe-se a redução dos teores de P, enquanto o aumento das lâminas de irrigação resulta em um aumento no seu teor de P. Além disso, não houve diferença estatística, mas observou-se diferença significativa entre a testemunha e cada tratamento para 66% e 100% da ETc da lâmina de irrigação da cultura.

Tanto para o nitrogênio total do ramo quanto na folha, não houve diferença estatística, mas observou-se diferença significativa entre a testemunha e cada tratamento, com exceção dos tratamentos de 33% e 100% da ETc da lâmina de irrigação usados na folha das plantas de pinheira (Tabela 11). O incremento na lâmina pode ter lixiviado os sais para camadas mais profundas ou ativado mecanismos de adaptação. Esse comportamento pode estar relacionado ao mecanismo de tolerância das cultivares, que investem em maior desenvolvimento do sistema radicular quando submetidas ao estresse salino (Taiz et al., 2024).

Na análise de variância (Tabela 12), observou-se apenas efeito significativo para a irrigação complementar utilizando águas com diferentes níveis salinos, em relação às

plantas não irrigadas, para danos de membrana, clorofila a, clorofila b, clorofila total, açúcares redutores e açúcares totais. Não houve efeito significativo para as demais fontes de variância, níveis salinos, lâmina de irrigação e interação entre níveis salinos e lâmina de irrigação.

Tabela 13. Resumo da análise de variância (quadrado médio) para as variáveis dano de membrana (%D), clorofila a (Cl a), clorofila b (Cl b), clorofila total (Cl t), carotenoides (Car) açúcares redutores totais (ART) e açúcares total (AT) em função das lâminas de na cultura da pinheira (*Annona squamosa* L).

FV	GL	%D	Cl a	Cl b	Cl t	Car.	ART	AT
Bloco	3	36,18	0,671	0,0071	0,75	3297,3	56410,2	11805,7
Sal	2	15,4 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,026 ^{ns}	0,51 ^{ns}	1479,6 ^{ns}	3627,8 ^{ns}	5320,8 ^{ns}
Reg. Linear	1	1,56 ^{ns}	3,01 ^{ns}	3,24 ^{ns}	1,87 ^{ns}	0,95 ^{ns}	1,05 ^{ns}	0,50 ^{ns}
Lam	2	30,6 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,024 ^{ns}	0,46 ^{ns}	1476,4 ^{ns}	4655,0 ^{ns}	4968,8 ^{ns}
Reg. Linear	1	5,15*	3,19 ^{ns}	4,14 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,65 ^{ns}
Sal x Lam	4	5,92 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,019 ^{ns}	0,19 ^{ns}	1325,7 ^{ns}	10152,6 ^{ns}	125020,7 ^{ns}
T0 x Ft	1	5,81*	7,40*	4,40*	7,36*	1,93 ^{ns}	6,09*	10,8**
Erro	27	11,8	0,23	0,011	0,30	2395,8 ^{ns}	6867,9	13667,3
CV (%)		18,65	33,73	34,38	32,05	29,4	30,93	18,0

**significativo ($p \leq 0,01$); * significativo ($p \leq 0,05$); ns não significativo ($p > 0,05$); FV= fontes de variação; CV = coeficiente de variação. T0 x Ft = tratamentos que receberam complementação hídrica com as plantas não irrigadas. Sal= níveis salinos, Lam= lâminas de irrigação.

Em relação às lâminas de irrigação, observa-se que não houve efeito estatisticamente significativo, a 5% de probabilidade, para danos de membrana, clorofila a, b e total, e açúcares redutores totais. Entretanto, observaram-se diferenças significativas entre o tratamento testemunha e o uso da irrigação com água de salinidade 4,5 dS m⁻¹ para todas as variáveis estudadas. Para os teores de clorofila a, b e total, observou-se um aumento com o incremento dos níveis salinos da água de irrigação, com um aumento de aproximadamente 105%, 50% e 101%, respectivamente, nos teores de clorofila no nível salino de 4,5 dS m⁻¹ em relação à testemunha.

A ruptura das membranas celulares, causada pelo estresse hídrico, bem como a inativação das bombas iônicas presentes nas membranas celulares, resulta no aumento do extravasamento de eletrólitos (Altinci & Cangil, 2019). Outrossim, a salinidade pode promover desequilíbrio nutricional, reduzindo a absorção de nutrientes, especialmente cálcio, elemento essencial para a integridade da formação da parede celular, implicando no aumento do dano de membrana em condições de elevada salinidade (Bezerra et al., 2022).

Em relação ao dano de membrana das células nas folhas das plantas, constatou-se que o tratamento testemunha apresentou um valor médio de 22,42%, maior que os

tratamentos que receberam água de CE 1,5 e 4,5 dS m⁻¹, com uma diferença aproximada de 28,9% entre a testemunha e os níveis salinos. O aumento da salinidade e, conseqüentemente, da maior concentração dos íons de Na⁺ e Cl⁻ nas folhas das plantas, resultou em um acréscimo na extrusão de eletrólitos. Diante disso, esses íons proporcionaram alterações estruturais nas membranas e organelas celulares, promovendo a ruptura da membrana plasmática e a perda do seu conteúdo interno (Ferraz et al., 2015). Como mecanismo de defesa ao estresse salino, as plantas podem sintetizar espécies reativas de oxigênio (EROs). Contudo, as EROs podem ocasionar o efluxo de K⁺, resultando em perdas desse nutriente da célula, estimulando proteases e endonucleases, e promovendo a morte celular programada. Esse mecanismo ocorre quando a planta está sob estresse severo (Demidchik et al., 2014).

Os açúcares redutores e totais nas folhas de pinheira reduziram seus teores com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação, observando-se uma diferença de 124,39 e 214,52 mg g⁻¹, respectivamente, ao comparar a testemunha e o nível salino de 4,5 dS m⁻¹. Os açúcares desempenham um papel fundamental nas respostas de defesa das plantas a vários fatores de estresse abióticos e bióticos (Chen et al., 2010; Keunem et al., 2013). Os açúcares não são apenas os principais substratos utilizados nos processos de respiração, fornecendo energia para as respostas de defesa celular contra patógenos, mas também fornecem o esqueleto de carbono para a síntese de compostos de defesa, incluindo metabólitos secundários como flavonoides, estilbenos e ligninas (Nabavi et al., 2020; Jeandet et al., 2021).

Tabela 14. Teste de média para as variáveis dano de membrana (%D), clorofila a (Cl a), clorofila b (Cl b), clorofila total (Cl t) e açúcares redutores totais (ART) e açúcares total (AT) em pinheira sob níveis de salinidade e lâminas de irrigação.

Tratamentos	%D (%)	Cl a (mg g ⁻¹)	Cl b (mg g ⁻¹)	Cl t (mg g ⁻¹)	ART (mg g ⁻¹)	AT (mg g ⁻¹)
Testemunha	22,42	0,81	0,20	1,00	364,9	832,8
1,5 dS m ⁻¹	17,34*A	1,32A	0,20A	1,61A	275,19A	654,94*A
3,0 dS m ⁻¹	19,35A	1,47A	0,28A	1,73A	255,57A	618,66*A
4,5 dS m ⁻¹	17,43*A	1,66*A	0,38*A	2,01*A	240,51*A	618,28*A
ETc 33%	16,94*A	1,28A	0,30A	1,56A	279,75A	623,18*A
ETc 66%	17,30*A	1,57*A	0,29A	1,84*A	244,12*A	653,65*A
ETc 100%	19,87A	1,59*A	0,37*A	1,94*A	247,40A	615,05*A
Média	18,03	1,48	0,32	1,78	257,09	630,62

*Indica diferença significativa entre a testemunha e cada tratamento Teste de Dunnett a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Letras diferentes na coluna indicam diferença estatística pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Em relação às lâminas de irrigação, observa-se que não houve efeito significativo para danos de membrana, clorofila a, b e total, e açúcares redutores totais. Entretanto, foi observada diferença significativa entre o tratamento testemunha e quando se utilizaram diferentes lâminas de irrigação (Tabela13). O dano de membrana aumentou à medida que ocorreu incremento da lâmina de irrigação, com valor médio de 19,87% na ETc de 100% da cultura; todavia, o tratamento testemunha teve valor superior (22,42%) aos tratamentos irrigados. Quando comparamos a média das três lâminas de irrigação e a testemunha, houve uma diferença de 19,58%.

Os teores de clorofila a, b e total apresentaram tendência semelhante quando comparamos os tratamentos de salinidade e lâmina de irrigação, tendo um aumento nos teores de 1,59%, 0,37% e 1,94%, respectivamente. Para os açúcares redutores totais, o aumento das lâminas de irrigação proporcionou uma redução no seu teor de ART, observando-se que a testemunha teve valor médio superior ($364,9 \text{ mg g}^{-1}$) e o menor valor foi obtido ($244,12 \text{ mg g}^{-1}$) na lâmina de irrigação intermediária de 66% da ETc, com uma diferença de $120,9 \text{ mg g}^{-1}$. Nos açúcares totais, houve redução de cerca de 24,3% com o aumento das lâminas de irrigação, em relação à média dos tratamentos e da testemunha.

O metabolismo de açúcares induzido pela seca e o carregamento do floema alteram os níveis de carboidratos nas folhas em diferentes estágios de desenvolvimento da planta (Hesse et al., 2019; Aliche et al., 2020). Plantas submetidas ao estresse hídrico geralmente acumulam açúcares solúveis, como a sacarose, nas folhas-fonte, estratégia que atua como derivação energética para melhorar a tolerância ao estresse (Aluko et al., 2021; Du et al., 2020). O aumento dos teores de açúcares redutores totais podem estar associados à indução de mecanismos de ajuste osmótico, visando equilibrar o potencial osmótico celular (Villa et al., 2019). Por outro lado, a redução nos açúcares solúveis sob estresse pode indicar maior consumo energético para manutenção celular, com intensificação da atividade respiratória via glicólise e ciclo de Krebs para produção de ATP destinado a sustentar mecanismos de tolerância, como o funcionamento de bombas iônicas, a compartimentalização de sais e a síntese de compostos de proteção (GANGOLA & RAMADOSS, 2018; Xu et al., 2024; wang et al., 2025).

CONCLUSÕES

O aumento dos níveis salinos da água de irrigação proporcionou maior acúmulo de íons Na^+ e Cl^- nos tecidos da folha, ramo e raiz. Reduzindo os teores de potássio e nitrogênio.

Lâmina 66% da ETc e $3,5 \text{ dS m}^{-1}$ proporcionou maiores teores de fósforo e potássio nas plantas de pinheira.

Os teores de clorofilas a , b e total aumentaram nos maiores níveis de salinidade e lâmina de irrigação. A testemunha apresentou os maiores valores de açúcares redutores totais (364,9) e açúcares totais (832,8). Além disso, a testemunha apresentou o maior percentual de dano de membrana (22,42%). Entretanto, o maior dano de membrana entre os tratamentos foi observado na salinidade de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ (19,35%) e na lâmina de irrigação de 100% da ETc (19,87%).

A pinheira apresentou tolerância moderada à água salobra, podendo usar até $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ da condutividade elétrica da água e lâmina de irrigação intermediária em torno de 66% da ETc , sem prejuízos severos as variáveis bioquímicas e fisiológicas avaliadas.

REFERÊNCIAS:

- ALAGOZ, Soheyla Mohammadi et al. Effects of water deficiency at different phenological stages on oxidative defense, ionic content, and yield of triticale (*×* Triticosecale Wittmack) irrigated with saline water. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 22, n. 1, p. 99-111, 2022.
- ALICHE, Ernest B. et al. Carbon partitioning mechanisms in potato under drought stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 146, p. 211-219, 2020.
- ALUKO, Oluwaseun Olayemi et al. Sucrose utilization for improved crop yields: A review article. **International journal of molecular sciences**, v. 22, n. 9, p. 4704, 2021.
- AMARAL, Karlia et al. Avaliação das águas subterrâneas salobras do semiárido do Rio Grande do Norte: qualidade e impactos sob atividades agropecuárias de subsistência. **Águas Subterrâneas**, v. 35, n. 3, 2021.
- ASLAM, M. T. et al. The critical role of nitrogen in plants facing the salinity stress: Review and future prospective. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 51, n. 3, p. 13347-13347, 2023.
- BALASUBRAMANIAM, Thuvaraki et al. Plants' response mechanisms to salinity stress. **Plants**, v. 12, n. 12, p. 2253, 2023.
- Barbosa, M. R. et al. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Cienc. Rur.**, 44, 3, 453-460. 2014.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa: UFV, 1996. 596 p.
- BEZERRA, I. L. et al. Morfofisiologia do crescimento inicial de cafeeiros sob salinidade da água de irrigação. **IRRIGA**, v. 27, n. 1, p. 30-46, 2022.
- CAI, Zhi-Quan; GAO, Qi. Comparative physiological and biochemical mechanisms of salt tolerance in five contrasting highland quinoa cultivars. **BMC plant biology**, v. 20, n. 1, p. 70, 2020.
- CHEN, Li-Qing et al. Transportadores de açúcar para troca intercelular e nutrição de patógenos. **Nature**, v. 468, n. 7323, p. 527-532, 2010.

DEMIDCHIK, V. et al. Stress-induced electrolyte leakage: The role of K⁺ permeable channels and involvement in programmed cell death and metabolic adjustment. **Journal of Experimental Botany**, v.65, n.5, p.1259-1270, 2014.

DU, Yanli et al. Effect of drought stress during soybean R2–R6 growth stages on sucrose metabolism in leaf and seed. **International journal of molecular sciences**, v. 21, n. 2, p. 618, 2020.

FERRAZ, R. L. S. et al. Photosynthetic pigments, cell extrusion and relative leaf water content of the castor 45 bean under silicon and salinity. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.12, p.841-848, 2015.

GANGOLA, Manu P.; RAMADOSS, Bharathi R. Sugars play a critical role in abiotic stress tolerance in plants. In: **Biochemical, physiological and molecular avenues for combating abiotic stress tolerance in plants**. Academic Press, 2018. p. 17-38.

GUIMARÃES, M. J. M. et al. Gas exchange and enzymatic metabolism in grain sorghum varieties irrigated with saline water. **Rev. Bras. de Milho e Sorgo**, 19, e1188. 2020.

GUL, Zarmina et al. An insight into abiotic stress and influx tolerance mechanisms in plants to cope in saline environments. **Biology**, v. 11, n. 4, p. 597, 2022.

GUO, Yi et al. Field irrigation using magnetized brackish water affects the growth and water consumption of *Haloxylon ammodendron* seedlings in an arid area. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 929021, 2022.

HASANUZZAMAN, Mirza et al. Potassium: a vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. **Agronomy**, v. 8, n. 3, p. 31, 2018.

HESSE, Benjamin D. et al. Repeated summer drought delays sugar export from the leaf and impairs phloem transport in mature beech. **Tree physiology**, v. 39, n. 2, p. 192-200, 2019.

HSIAO, Theodore C. Plant responses to water stress. **Annual review of plant physiology**, v. 24, n. 1, p. 519-570, 1973.

I. Finkelshstein, I. Kan, M. Rapaport-Rom. Substitutability of freshwater and non-freshwater sources in irrigation: an econometric analysis **Am. J. Agr. Econ.**, 102, p. 1105-1134. 2020.

JEANDET, Philippe et al. Fitostilbenos como agroquímicos: Biossíntese, bioatividade, engenharia metabólica e biotecnologia. **Natural product reports** , v. 38, n. 7, p. 1282-1329, 2021.

JONES, Hamlyn G. Stomatal control of photosynthesis and transpiration. **Journal of experimental botany**, p. 387-398, 1998.

KEUNEN, E. L. S. et al. Plant sugars are crucial players in the oxidative challenge during abiotic stress: extending the traditional concept. **Plant, cell & environment**, v. 36, n. 7, p. 1242-1255, 2013.

KHONDOKER, M., MANDAL, S., GURAV, R., HWANG, S. Freshwater shortage, salinity increase, and global food production: a need for sustainable irrigation water. In Vitro Conditions. Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University, Erzurum, v. 36, n. 1, p. 145–151, 2019.

KRAMER, Paul J.; BOYER, John S. **Water relations of plants and soils**. Academic press, 1995.

LACERDA, C. F. et al. Eficiência de utilização de água e nutrientes em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 2, p. 221-230, 2009.

LIU, C. et al. Does short-term combined irrigation using brackish-reclaimed water cause the risk of soil secondary salinization? **Plants**, v. 11, n. 19, p. 2552, 2022.

LIU, L et al. The role of chloride channels in plant responses to NaCl. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 25, n. 1, p. 19, 2023.

LIU, Zimeng et al. Effects of long-term saline water irrigation on soil salinity and crop production of winter wheat-maize cropping system in the North China Plain: A case study. **Agricultural Water Management**, v. 303, p. 109060, 2024.

MUNNS, R. Physiological processes limiting plant growth in saline. 1993.

MUNNS, Rana; TESTER, Mark. Mechanisms of salinity tolerance. **Annu. Rev. Plant Biol.**, v. 59, n. 1, p. 651-681, 2008.

NABAVI, Seyed Mohammad et al. Vias biossintéticas de flavonoides em plantas: alvos versáteis para engenharia metabólica. **Biotechnology advances** , v. 38, p. 107316, 2020.

RAJAPPA, Sivamathini et al. The translocation of a chloride channel from the Golgi to the plasma membrane helps plants adapt to salt stress. **Nature Communications**, v. 15, n. 1, p. 3978, 2024.

REBOUÇAS, A. C. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. **Estudos avançados**, v. 11, p. 127-154, 1997.

SHEIKHALIPOUR, M. et al. Seedling nanopriming with selenium-chitosan nanoparticles mitigates the adverse effects of salt stress by inducing multiple defence pathways in bitter melon plants. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 242, p. 124923, 2023.

SILVA JÚNIOR, L. G. D. A.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. D. Composição química de águas do cristalino do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, p. 11-17, 1999.

SOARES, Rogério Barbosa; CAMPOS, Kilmer Coelho. Uso e disponibilidade hídrica no semiárido do Brasil. 2013.

SOUSA, M. G. et al. Long-term effects of irrigated agriculture on Luvisol pedogenesis in semi-arid region, northeastern Brazil. **Catena**, v. 206, p. 105529, 2021.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 7. ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2024. 864 p.

Tardieu, F.; Simonneau, T. (1998). Variability of leaf water potential under drought. *Journal of Experimental Botany*.

Villa, B. et al. Efeito da salinidade no desenvolvimento inicial do milho. **Acta Iguazu**, v.8, n.3, p.42-47, 2019.

WANG, Min et al. The critical role of potassium in plant stress response. **International journal of molecular sciences**, v. 14, n. 4, p. 7370-7390, 2013.

WANG, Y. et al. Exploring the Role of Non-Structural Carbohydrates (NSCs) Under Abiotic Stress. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 26, 2025.

XU, Z.; QI, H.; KANG, Z. et al. Growth and non-structural carbohydrates response patterns of *Eucommia ulmoides* under salt and drought stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, 1436152, 2024.

ARTIGO III - EFEITO DA ÁGUA SALOBRA E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO NA PRODUÇÃO E QUALIDADE DE *Annona squamosa* L. EM REGIÃO SEMIÁRIDA

RESUMO

As mudanças climáticas e o crescimento populacional ameaçam a segurança alimentar e a sustentabilidade agrícola, exigindo estratégias de adaptação. Nesse contexto, o uso de águas de baixa qualidade na irrigação especialmente águas salobras surge como alternativa viável no semiárido nordestino brasileiro, desde que com manejo adequado. A pinheira (*Annona squamosa* L.) destaca-se como cultura promissora nessa região, por sua adaptação à escassez hídrica e solos de fertilidade média. Objetivou-se avaliar o efeito de diferentes lâminas de irrigação e níveis de salinidade sobre a qualidade e produção dos frutos de pinheira. O experimento foi conduzido em Upanema-RN, em delineamento em blocos ao acaso, com três níveis de salinidade (1,5; 3,0; 4,5 dS m⁻¹) e três lâminas de irrigação (33%, 66% e 100% da necessidade hídrica), além de um controle sem irrigação (sequeiro). A lâmina de irrigação de 100% da ET_c proporcionou os maiores diâmetros dos frutos, massa média de frutos e volume de polpa da pinheira. A água salobra, associada a essa lâmina, aumentou o número de frutos por planta e o rendimento de frutos, atingindo 11.218,85 kg ha⁻¹ com 4,5 dS m⁻¹. Os sólidos solúveis mantiveram-se dentro dos padrões de qualidade nas condições de maior rendimento, evidenciando a viabilidade do manejo hídrico em condições semiáridas.

Palavras-chave: Estresse hídrico, manejo, irrigação e rendimento.

ARTICLE III – EFFECT OF BRACKISH WATER AND IRRIGATION DEPTHS ON THE YIELD AND QUALITY OF *Annona squamosa* L. IN A SEMIARID REGION

ABSTRACT

Climate change and population growth pose significant threats to food security and agricultural sustainability, demanding effective adaptation strategies. In this context, the use of low-quality water for irrigation — particularly brackish water — emerges as a viable alternative in the Brazilian semiarid Northeast, provided it is properly managed. Sugar apple (*Annona squamosa* L.) stands out as a promising crop for this region, owing to its adaptation to water scarcity and soils of medium fertility. This study aimed to evaluate the effect of different irrigation depths and salinity levels on the yield and fruit quality of sugar apple. The experiment was conducted in Upanema, Rio Grande do Norte, Brazil, using a randomized complete block design, with three salinity levels (1.5, 3.0, and 4.5 dS m⁻¹) and three irrigation depths (33, 66, and 100% of crop water requirement), along with a non-irrigated rainfed control treatment. The 100% ET_c irrigation depth yielded the greatest fruit diameter, mean fruit mass, and pulp volume of sugar apple. Brackish water, when combined with this irrigation depth, increased the number of fruits per plant and fruit yield, reaching 11,218.85 kg ha⁻¹ at 4.5 dS m⁻¹. Soluble solids remained within established quality standards under the highest yield conditions, demonstrating the feasibility of water management strategies for sugar apple production in semiarid environments.

Keywords: Water stress; management; irrigation; yield.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm sido amplamente discutidas no meio científico, destacando seus impactos em escala regional e global, especialmente sobre a disponibilidade e o uso da água. Segundo o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC AR6), a temperatura média global da superfície aumentou 1,09 °C no período de 2011–2020 em relação a 1850–1900, resultando em alterações no regime de chuvas, maior variabilidade no ciclo hidrológico e crescente pressão sobre os recursos hídricos (IPCC, 2021).

Essas mudanças afetam diretamente a fruticultura, sobretudo em regiões semiáridas e áridas. O Nordeste do Brasil caracteriza-se por um regime hídrico irregular, com distribuição espacial e temporal desuniforme das precipitações. Apesar dessas limitações, a região se destaca como um importante polo produtor e exportador de frutas. O Brasil ocupa a terceira posição no ranking mundial de produção de frutas e, em 2022, o Nordeste respondeu por 65,77% do volume exportado pelo país, concentrando 62,49% das divisas geradas (Abrafrutas, 2025; Brasil, 2025).

O Rio Grande do Norte destaca-se nesse cenário em função de suas condições edafoclimáticas favoráveis, tendo exportado 286.649 toneladas de frutas em 2024 (Abrafrutas, 2025). Entre as fruteiras cultivadas, a pinha (*Annona squamosa* L.) apresenta relevância econômica; contudo, dados recentes sobre sua produção no estado são escassos. Segundo o Censo Agropecuário de 2017, o Rio Grande do Norte foi o segundo maior produtor nacional, com 683 toneladas, correspondendo a 7,80% da produção brasileira, ficando atrás apenas da Bahia (IBGE, 2017).

Considerando que o estado está inserido em uma região semiárida e que as mudanças climáticas têm intensificado a escassez hídrica, o uso de fontes alternativas de água na irrigação tem sido amplamente adotado. Entre essas fontes, destacam-se as águas salobras, comuns em áreas com predominância de rochas cristalinas, cujas águas subterrâneas apresentam elevados teores de sais (Cunha; Pontes, 2022).

O acúmulo excessivo de sais na rizosfera pode induzir estresse oxidativo nas plantas, aumentando a produção de espécies reativas de oxigênio, com efeitos negativos sobre a biossíntese de clorofila, a integridade de estruturas celulares e as membranas biológicas (Silva et al., 2020). Nesse contexto, o manejo adequado da irrigação é fundamental para mitigar os efeitos do estresse salino. O uso de sistemas de irrigação localizada é indicado para áreas salinas, pois reduz os efeitos osmóticos dos sais na zona radicular; contudo, o uso contínuo de água salina pode promover o acúmulo de sais no

solo ao longo do tempo, exigindo práticas de manejo de solo e água adequadas (Lacerda et al., 2016). Em trabalhos desenvolvidos por Santos (2024), afirma-se que o manejo hídrico adequado é fundamental para o desempenho produtivo da pinheira, sendo observados maiores valores de produtividade, qualidade dos frutos e eficiência do uso da água com lâminas de irrigação próximas a 100% da evapotranspiração da cultura (ET_c). Em condições de sequeiro, embora possa ocorrer um maior número de frutos por planta, a restrição hídrica compromete a massa e a qualidade comercial, reforçando a importância do ajuste da lâmina de irrigação. Além disso, Araújo (2023), estudando o turno de rega, observou que o manejo hídrico influencia diretamente a produção: a irrigação diária superou regimes espaçados em variáveis como massa de frutos, polpa, sementes e casca, mostrando ser essencial para maximizar rendimento e qualidade.

A salinidade elevada da água de irrigação compromete as características físico-químicas dos frutos, reduzindo o tamanho e o peso devido ao estresse osmótico, além de diminuir os sólidos solúveis (°Brix) e elevar a acidez titulável (AT), alterando o equilíbrio de sabor expresso pela razão SS/AT e o pH do suco (Bezerra et al., 2012; Cavalcante et al., 2005).

A irrigação com água salobra é uma prática comum em regiões semiáridas, em razão da limitada disponibilidade de água de boa qualidade, podendo afetar a produção e a qualidade dos frutos da pinheira (*Annona squamosa* L.). Nesse contexto, o manejo adequado das lâminas de irrigação pode representar uma estratégia para mitigar os efeitos negativos da salinidade. Assim, parte-se da hipótese de que a aplicação de lâminas de irrigação adequadas atenua esses efeitos, promovendo maior produção e melhor qualidade dos frutos em condições semiáridas. Objetivou-se avaliar a produção e a qualidade dos frutos da pinheira (*Annona squamosa* L.) irrigada com água salobra sob diferentes lâminas de irrigação em região semiárida.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na zona rural do município de Upanema-RN, cujas coordenadas são 5° 33' 33" de latitude sul e longitude 37° 11' 56" Oeste com 108 metros de altitude. O clima segundo a classificação de Köppen é do tipo BSw_h' (quente e seco), com precipitação pluviométrica bastante irregular e variável ao longo do ano.

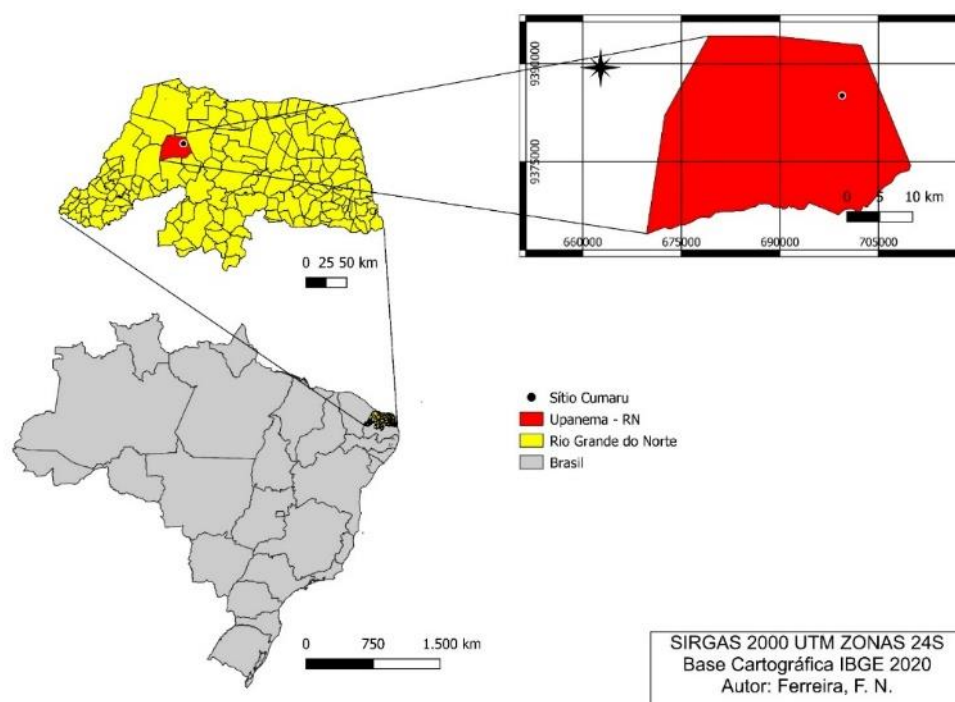


Figura 1. Localização geográfica do sítio Cumaru, Upanema, Rio Grande do Norte, Brasil.

O experimento foi conduzido entre o segundo e o terceiro ano de cultivo, no terceiro ciclo produtivo, ao final do período seco de 2024. As condições climáticas apresentaram temperatura média de 27 °C e umidade relativa média do ar de 65%. Para a velocidade do vento (m s^{-1}): 3,1; 2,1; 1,0; para a radiação global ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$): 23,6; 20,2; 16,7; e para a evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}): 6,2; 4,9; 3,8, sendo observados os maiores valores nesse período, respectivamente.

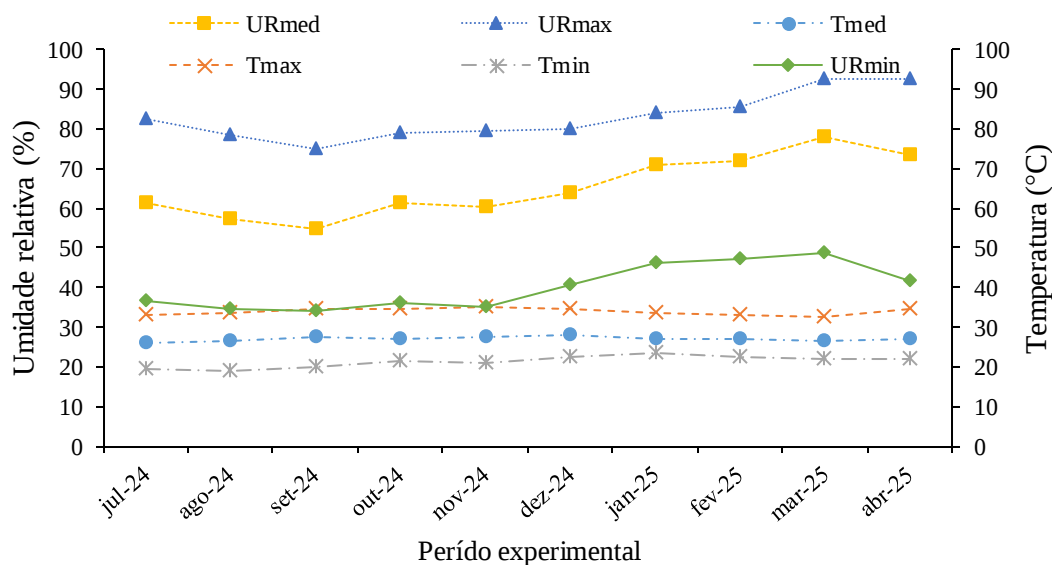


Figura 2. Umidade relativa do ar (%) e condições climáticas de temperatura (°C) durante o período de condução dos experimentos.

O delineamento foi em blocos casualizados e os fatores foram constituídos por 3 níveis de salinidade (1,5; 3,0 e 4,5 dS m⁻¹) e 3 lâminas de irrigação (33%; 66% e 100% da necessidade hídrica cultura - ETC) com um tratamento adicional como testemunha, sem irrigação. As parcelas experimentais foram constituídas de 6 plantas, sendo 3 consideradas úteis, perfazendo um total de 40 unidades experimentais.

O experimento foi instalado em um solo classificado com Cambissolo (Santos et al., 2018), em que a caracterização química do solo na camada 0 – 20 e 20 – 40 cm pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental na camada 0 – 20 e 20 – 40 cm.

Cam.	pH	CEes	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al	H+Al	SB	t	CTC	V	m	PST
cm	(H ₂ O)	(dS m ⁻¹)	-----mg dm ⁻³ -----				-----cmol _c dm ⁻³ -----				-----%------				
0-20	7,73	0,35	13,4	325,0	12,9	3,70	1,08	0,0	0,0	5,67	5,67	5,67	100	0	1
20-40	7,76	0,30	3,7	149,3	15,0	3,20	1,13	0,0	0,0	4,78	4,78	4,78	100	0	1

pH: potencial hidrogeniônico, CE: condutividade elétrica, P: fósforo, K: potássio, Na: sódio, Ca: cálcio, Mg: magnésio, Al: Alumínio, H+Al: acidez potencial, SB: soma de bases, CTC: capacidade de trocas catiônicas, V: saturação por bases, m: saturação por alumínio e PST: porcentagem de sódio trocável.

A água de 1,5 dS m⁻¹ era água natural de um poço que explora o aquífero arenito calcífero, similar ao calcário Jandaíra e as outras duas foi acrescentada os sais de NaCl,

CaCl₂.2H₂O e MgSO₄.7H₂O, para que a relação das concentrações em moles de cargas entre Na, Ca e Mg fossem 7:2:1. (Silva Júnior et al., 1999) (Tabela 2).

Tabela 2.Composição química das águas usadas no experimento.

CEes	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
(dS m ⁻¹)	-----mmolc dm ⁻³ -----						
1,5	3,0	1,0	7,0	0,12	8,1	7,0	0,3
3,0	4,5	1,5	10,5	0,12	22,1	6,8	0,8
4,5	6,9	2,3	16,1	0,12	35,6	6,9	1,4

CEes: condutividade elétrica da água de irrigação; K⁺: potássio; Na⁺: sódio; Ca²⁺: cálcio; Mg²⁺: magnésio; SO₄²⁻:sulfatos; HCO₃⁻: bicarbonatos; Cl⁻: cloro.

Tabela 3. Identificação da nomenclatura dos tratamentos aplicados.

Tratamento	Lâmina de irrigação	Condutividade elétrica
	(% ETc)	(dS m ⁻¹)
T0	-	-
L1S1	33	1,5
L1S2	33	3,0
L1S3	33	4,5
L2S1	66	1,5
L2S2	66	3,0
L2S3	66	4,5
L3S1	100	1,5
L3S2	100	3,0
L3S3	100	4,5

T0: tratamento sem irrigação.

A irrigação se deu por um sistema localizado usando microtubos como emissores, usando um por planta, dimensionados para proporcionar uma vazão proporcional as lâminas de irrigação desejada (30, 56 e 81 L h⁻¹). A lâmina máxima de irrigação para atender 100% da ETc se baseou no monitoramento da umidade do solo por tensiometria, de modo a manter o potencial matricial da água no solo entre -8 e -20 kPa. As irrigações ocorreram entre os meses de julho de 2024 a fevereiro de 2025 e apenas uma complementação entre maio e junho, no período de formação dos frutos, quando ocorreu alguns veranicos. Durante o período chuvoso, choveu 599 mm (162, 25, 178, 130, 79 e 25 mm nos meses de janeiro a junho, respectivamente, e lâminas de irrigação mensais aplicadas para 100% da ETc foram (33, 82, 146, 177, 171, 177, 44, 60, 0, 0, 40 e 39 mm mês⁻¹, respectivamente de jul/2024 a jun/2025), sendo cada irrigação de 15 a 20 mm por

aplicação, quando realizada, de modo a repor a umidade para a capacidade de campo no bulbo molhado.

As mudas de pinha foram obtidas a partir de sementes coletadas de um pomar comercial na região de Mossoró-RN, semeadas em saco para mudas de dimensões 20 x 25 x 0,014, com volume de 2,5 L, o substrato utilizado foi uma mistura de solo, areia e esterco curtido nas proporções 2:1:1 L respectivamente.

O transplantio das mudas para campo foi realizado quando as mudas atingiram a altura de 40 cm usando o espaçamento de 2,0 x 2,0 m, em covas de 30 x 30 x 30 cm, onde foi adicionado esterco bovino (2 L) e MAP (80 g), conforme recomendação baseada na análise de solo (Holanda et al., 2017). Foi realizada uma poda de formação quando as plantas atingiram 80 cm de altura, eliminando-se a gema apical, chamada desponete. Depois foram selecionados três ou quatro ramos laterais.

Durante o período de agosto de 2024 e julho de 2025, foram realizadas capinas manuais e química, pulverizações para controle de lagartas e antracnose, adubações, podas de formação e de frutificação e ajustes do sistema de irrigação.

A indução floral foi realizada por meio da imposição de estresse hídrico no final da estação seca, associada à poda de frutificação, prática adotada para estimular a diferenciação e emissão de estruturas reprodutivas nas plantas. Após a poda as plantas foram adubadas (150 g por planta de 16:16:16 e 3 L de esterco) e irrigadas. Um mês após iniciou a floração e as flores foram polinizadas manualmente durante um mês. Durante o crescimento dos frutos foi realizada uma adubação com sulfato de amônio (100 g por planta). As colheitas foram realizadas no período entre maio e junho de 2025. Os frutos colhidos das três plantas de cada parcela foram pesados e contados ao longo de 5 colheitas realizadas durante seis semanas. A massa média foi obtida pela razão da produção pelo número de frutos. Considerou-se apenas os frutos de ponto de maturidade fisiológica. Foram coletados ao longo do período três frutos de cada parcela para análise de qualidade, medindo-se individualmente e depois fazendo a média.

As variáveis analisadas aos 870 dias após o transplantio das plantas para o campo foram: massa média dos frutos (MMFr); teor de sólidos solúveis ($^{\circ}$ Brix), aferido com refratômetro manual; acidez titulável (AT), determinada por titulação com solução de NaOH 0,1 N e fenolftaleína a 1% como indicador, com os dados de SS e AT obteve-se o índice de maturação através da relação SS/AT (ratio); diâmetro transversal e longitudinal, mensurados com paquímetro digital. Todos os frutos colhidos possíveis de ser consumido foram pesados e contados e determinado a massa média dos mesmos e número de fruto.

A razão diâmetro e comprimento do fruto (D/C) foram obtidos pelos valores diâmetro transversal e longitudinal. O rendimento total foi realizado a partir da produção média por planta e multiplicado pela densidade de plantas (2500 plantas por hectare).

Realizou-se análise estatística usando análise de variância, teste de média de Tukey a 5% de probabilidade, teste de Dunnett a 5% para comparar os tratamentos que receberam complementação hídrica com as plantas não irrigadas, e análise de regressão linear para estudar o efeito quantitativo das lâminas de irrigação e da CE das águas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise de variância (Tabela 4), observa-se efeito significativo da lâmina de irrigação sobre o diâmetro longitudinal, diâmetro transversal e massa média dos frutos. Verificou-se efeito significativo dos níveis salinos apenas para o número de frutos por planta. A interação entre os níveis salinos e as lâminas de irrigação teve influência significativa apenas para o número de frutos por planta. Também foi constatado efeito significativo na comparação entre o tratamento que não foi irrigado com os demais tratamentos (T0 x Ft) para a massa média dos frutos e o número de frutos por planta. Para a razão diâmetro e comprimento do fruto (D/C), não foram observados efeitos significativos para os fatores estudados.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para as variáveis diâmetro longitudinal (DL) diâmetro transversal (DT), massa média dos frutos (MMFR), número de fruto por planta (NFPL), razão diâmetro e comprimento do fruto (D/C) e volume de polpa (VP) de pinheira sob níveis de salinidade e lâminas de irrigação.

Quadrados Médios							
FV	GL	DL	DT	MMFR	NFPL	D/C	VP
Bloco	3	81,63	48,35	1268,48	94,83	0,0064	2449,2
Sal	2	13,06 ^{ns}	21,74 ^{ns}	811,12 ^{ns}	214,95*	0,013 ^{ns}	215,45 ^{ns}
Reg. linear	1	0,19 ^{ns}	0,49 ^{ns}	6,13*	7,80**	6,20*	0,12 ^{ns}
Lâm	2	111,47*	92,88*	2026,27**	98,80 ^{ns}	0,0024 ^{ns}	4044,16*
Reg. linear	1	7,52*	9,17**	15,68**	4,86*	0,52 ^{ns}	10,50**
Sal x Lâm	4	028,72 ^{ns}	23,58 ^{ns}	442,32 ^{ns}	158,99*	0,0082 ^{ns}	663,67 ^{ns}
T0 x Ft	1	13,24 ^{ns}	26,71 ^{ns}	1352,67*	418,41**	0,00094 ^{ns}	1,27 ^{ns}
Erro	27	29,59	19,72	257,35	40,24	0,0044	769,7
CV (%)		8,69	6,95	32,81	30,02	6,5	20,6

**significativo ($p \leq 0,01$); * significativo ($p \leq 0,05$); ns não significativo ($p > 0,05$); FV= fontes de variação; CV = coeficiente de variação. T0 x Ft = tratamentos que receberam complementação hídrica com as plantas não irrigadas. Sal= níveis salinos, Lam= lâminas de irrigação.

Os resultados da Tabela 5 demonstram que a lâmina de irrigação teve influência significativa no desenvolvimento dos frutos de pinheira. Observa-se que o tratamento com 100% da ETc da lâmina de irrigação apresentou variáveis como diâmetro longitudinal, diâmetro transversal, massa média dos frutos e volume de polpa que se diferenciaram estatisticamente dos tratamentos com 37% e 70% da ETc da lâmina de irrigação aplicada. Ao comparar as médias das lâminas de 37% e 100% da ETc, verificou-se um incremento de 10,14%, 8,25%, 17,28% e 22,44%, respectivamente, nas variáveis estudadas. Esse efeito pode estar relacionado ao fornecimento hídrico ideal para as plantas, uma vez que a aplicação de água adequada influencia positivamente o desenvolvimento dos frutos. Maiores volumes de irrigação também promoveram crescimento, produtividade e qualidade dos frutos, sendo os melhores resultados obtidos no tratamento em que o volume de irrigação foi equivalente à evapotranspiração (Zhang et al., 2022).

Observa-se que a massa média do fruto foi maior no tratamento testemunha (sem irrigação), com valor médio de 156,85g, em comparação às lâminas de irrigação aplicadas. Houve diferença significativa entre a testemunha e cada tratamento, especialmente no tratamento com 37% da ETc. A redução da massa dos frutos sob déficit hídrico ocorre principalmente porque a fase de crescimento por expansão celular é comprometida, alterando a pressão de turgor, essencial para o desenvolvimento dos frutos (Blanco et al., 2022).

Tabela 5. Teste de média para as variáveis diâmetro longitudinal (DL), diâmetro transversal (DT), massa média dos frutos (MMFR) e volume de polpa (VP) de pinheira sob lâmina de irrigação, avaliação aos 870 DAT.

Testemunha	DL (mm)	DT (mm)	MMFR (g)	VP (cm³)
	60,81	61,37	156,85	120,04
ETc 33%	59,86B	61,94B	123,83*B	121,84B
ETc 66%	62,39AB	63,11AB	138,86AB	130,62AB
ETc 100%	65,93A	67,24A	149,71A	157,10A
Média	62,72	64,09	137,46	136,52

*Indica diferença significativa entre a testemunha e cada tratamento Teste de Dunnett a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Letras diferentes na coluna indicam diferença estatística pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Observa-se (Tabela 6) que, no tratamento com 1,5 dS m⁻¹, o aumento da lâmina de irrigação resultou em redução do número de frutos (35,5%). Para os tratamentos de

3,0 e 4,5 dS m⁻¹, verificou-se que, à medida que a lâmina de irrigação aumentou, houve um incremento no número de frutos por planta de 62,44% e 81,81%, respectivamente. Houve diferença significativa entre a testemunha e cada tratamento para 70% da ETc no nível salino de 4,5 dS m⁻¹ e para 100% da ETc nos níveis salinos de 3,0 e 4,5 dS m⁻¹. Para a lâmina de 100% da ETc, observou-se diferença estatística em relação às demais lâminas estudadas (37% e 70%), independentemente do nível salino.

Os resultados podem estar relacionados com mecanismos de tolerância que algumas espécies de plantas desenvolvem, como a seletividade de K⁺ em relação ao Na⁺, que mantém uma elevada razão K⁺/Na⁺ no citosol, fator determinante para a tolerância à salinidade e considerado um dos critérios para avaliação da tolerância à salinidade em diversas espécies vegetais (Hasanuzzaman et al., 2018). Além disso, o aumento da lâmina de irrigação pode estimular o florescimento da planta, fenômeno frequentemente observado em plantas submetidas a condições de déficit hídrico (Zuazo et al., 2021).

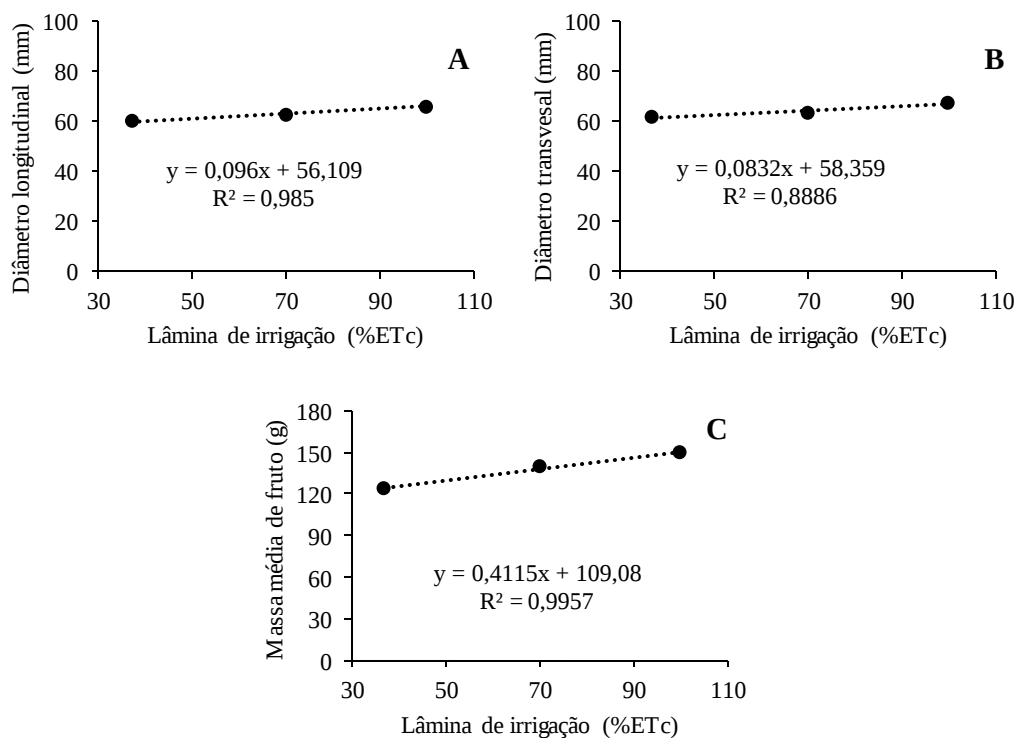


Figura 3. Diâmetro longitudinal (A), diâmetro transversal (B), massa média dos frutos (C) de pinheira em função das lâminas de irrigação (%ETc). Avaliação aos 870 dias após o transplantio.

Ao observar a Figura 5, percebe-se que o aumento da lâmina de irrigação promoveu incremento nos diâmetros longitudinal e transversal, bem como na massa

média dos frutos, quando se comparam as lâminas de 37% e 100% da ETc, com aumentos de 10,02%, 9,27% e 20,93%, respectivamente. Santos (2024) observou em seu trabalho um diâmetro máximo de fruto de 67,19 mm e massa média de fruto de 234 g, aos 147 dias após a poda da pinheira, com uma ETo acumulada de 732,5 mm. Silva (2013), avaliando lâminas de irrigação em graviola, constatou que o aumento de 0,0 a 17,2 mm planta⁻¹ resultou no aumento dos valores de massa média de fruto e número de frutos.

Tabela 6. Teste de média para as variáveis número de frutos por plantas (NFPL) e rendimento (Rend) interação do nível salino e lâmina de irrigação em pinheira avaliação ao 870 DAT.

	NFPL			Rendimento (kg há ⁻¹)		
Testemunha	10,75			4233,36		
Tratamentos	1,5 dS m ⁻¹	3,0 dS m ⁻¹	4,5 dS m ⁻¹	1,5 dS m ⁻¹	3,0 dS m ⁻¹	4,5 dS m ⁻¹
ETc37%	22,22Aa	14,91Aa	19,25Ab	6875,08Aa	4362,18Ab	5965,01Ab
ETc70%	21,00Aa	17,83Aa	24,99*Aab	7855,72Aa	5961,11Aab	8113,14Aab
ETc100%	14,33Ba	24,22*ABa	35,00*Aa	5681,63Ba	9076,08*ABa	11218,85*Aa
Média	19,18	18,98	26,41	6804,143	6466,45	8432,33

*Indica diferença significativa entre a testemunha e cada tratamento Teste de Dunnett a 5% de probabilidade (p < 0,05). Médias seguidas de mesma letra maiúscula e minúscula não apresentam diferenças significativas para níveis salinos e lâmina de irrigação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (p < 0,05).

Verificou-se que, para as lâminas de irrigação de 37% e 70% da ETc da cultura, os diferentes níveis salinos da água não apresentaram efeito significativo sobre a produção de frutos (Tabela 6). No tratamento com salinidade de 1,5 dS m⁻¹, observou-se o menor valor médio de rendimento (5.681,63 kg ha⁻¹) na lâmina de irrigação de 100% da ETc. Para os tratamentos de 3,0 e 4,5 dS m⁻¹, o aumento da lâmina de irrigação resultou em um incremento de 108% e 88% no rendimento da produção. Além disso, o maior rendimento médio (11.218,85 kg ha⁻¹) foi observado no tratamento com 100% da ETc e 4,5 dS m⁻¹.

Observou-se que, na lâmina de 100% da ETc e nos níveis salinos (1,5 e 3,5 dS m⁻¹), houve diferença significativa entre o tratamento testemunha e os tratamentos irrigados. Entretanto, a testemunha apresentou valores médios de 10,75 frutos por planta e rendimento de 4.233,36 kg ha⁻¹, sendo inferior a todos os tratamentos irrigados. Torres et al. (2023) destacam que, além da quantidade de água aplicada ao solo, os intervalos entre

as irrigações interferem na produtividade da pinheira. O estresse hídrico no solo é considerado o principal fator abiótico que influencia o rendimento das frutíferas.

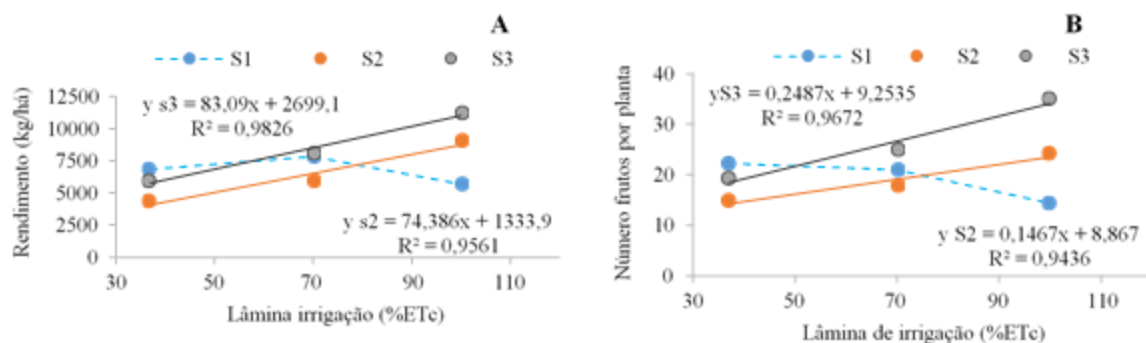


Figura 4. Rendimento (A), número de fruto por planta (B) de pinheira em função das lâminas de irrigação e níveis salinos. Avaliação aos 870 dias após o transplatio.

Observou-se efeito linear positivo do aumento da lâmina de irrigação sobre o rendimento (Figura 6A) e o número de frutos por planta (Figura 6B) nos níveis de salinidade da água de 3,0 e 4,5 dS m⁻¹. Os maiores valores foram registrados no tratamento de 4,5 dS m⁻¹, enquanto os tratamentos com menor salinidade apresentaram reduções progressivas nessas variáveis, evidenciando o efeito negativo do estresse salino. O aumento da lâmina de irrigação em solos bem drenados facilita a percolação de água abaixo da zona radicular, removendo sais acumulados (Na⁺ e Cl⁻) e reduzindo a condutividade elétrica do solo (Ayers e Westcot, 1985). Este efeito pode explicar os melhores resultados de rendimento no tratamento com maior salinidade (4,5 dS m⁻¹), onde a lâmina maior provavelmente mitigou o estresse salino através da diluição e remoção de íons tóxicos da rizosfera.

De acordo com a análise de variância (Tabela 7), verificou-se efeito significativo dos níveis de salinidade para o rendimento da polpa e sólidos solúveis, ao nível de $p \leq 0,05$. O volume de polpa e o rendimento de frutos também apresentaram efeitos significativos ao nível de $p \leq 0,05$. Para a interação entre os níveis salinos e as lâminas de irrigação, observou-se efeito significativo para o rendimento de frutos. Verificou-se também efeito significativo na comparação entre o tratamento não irrigado e os demais tratamentos (T0 x Ft) para a variável massa média dos frutos, ao nível de significância de $p \leq 0,05$. Para acidez titulável (AT) e ratio (SS/AT), não foram observados efeitos significativos dos fatores estudados.

Tabela 7. Resumo da análise de variância para as variáveis rendimento da polpa (RDPL), volume de fruto (VF), Vitamina C (Vit.C) e sólidos solúveis (SS), Acidez titulável (AT) e ratio (SS/AT) de pinheira sob níveis de salinidade e lâminas de irrigação.

Quadrados Médios							
FV	GL	RDPL	VF	Vit. C	SS	AT	Ratio (SS/AT)
Bloco	3	4,508	2449,22	22,7	33,71	0,00042	1772,75
Sal	2	356,14*	215,43 ^{ns}	9,44 ^{ns}	29,44*	0,0017 ^{ns}	8,53 ^{ns}
Reg. linear	1	2,60 ^{ns}	0,34 ^{ns}	1,80 ^{ns}	5,30 ^{ns}	1,10 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Lam	2	145,89 ^{ns}	4044,14*	2,05 ^{ns}	16,07 ^{ns}	0,00062 ^{ns}	298,78 ^{ns}
Reg. linear	1	4,84*	10,5**	0,03 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,28 ^{ns}	4,56*
Sal x Lam	4	87,23 ^{ns}	663,68 ^{ns}	13,02 ^{ns}	15,34 ^{ns}	0,001 ^{ns}	1930,96 ^{ns}
T0 x Ft	1	128,43 ^{ns}	2449,22*	0,59 ^{ns}	1,072 ^{ns}	0,00071 ^{ns}	284,89 ^{ns}
Erro	27	60,22	769,70	2,2	6,051	0,00099 ^{ns}	1084,71 ^{ns}
CV (%)		21,86	20,56	37,2	9,62	18,54	21,24

**significativo ($p \leq 0,01$); * significativo ($p \leq 0,05$); ns não significativo ($p > 0,05$); FV= fontes de variação; CV = coeficiente de variação. T0 x Ft = tratamentos que receberam complementação hídrica com as plantas não irrigadas. Sal= níveis salinos, Lam= lâminas de irrigação.

Observa-se, na Tabela 8, que o rendimento de polpa, sob salinidade de 4,5 dS m⁻¹, diferiu estatisticamente das demais salinidades, atingindo o valor médio de 41,66%. Além disso, verificou-se diferença significativa entre a testemunha e o tratamento com 4,5 dS m⁻¹ de salinidade, sendo que o rendimento de polpa apresentou incremento de 38,4% em relação à testemunha. O aumento do rendimento de polpa, observado em decorrência do incremento da condutividade elétrica da água de irrigação, pode estar relacionado ao acúmulo de osmoprotetores, como prolina e glicina betaína. Esses compostos atuam como mecanismo de aclimação e contribuem para o ajuste do potencial osmótico (Dantas et al., 2022).

Tabela 8. Teste de média para as variáveis rendimento de polpa (RDPL) e sólidos solúveis (SS) de pinheira sob níveis de salinidade, avaliação aos 870 DAT.

	RDPL (%)	SS (Brix°)
Testemunha	30,11	25,06
1,5 dS m⁻¹	30,78B	26,15AB
3,0 dS m⁻¹	35,80AB	26,82A
4,5 dS m⁻¹	41,66*A	23,84B
Média	36,08	25,60

*Indica diferença significativa entre a testemunha e cada tratamento Teste de Dunnett a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Letras diferentes na coluna indicam diferença estatística pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Quanto aos sólidos solúveis, observaram-se diferenças estatísticas para o nível salino intermediário (3,0 dS m⁻¹) em relação aos demais tratamentos, atingindo valores médios de 26,82 °Brix. De acordo com a Portaria nº 86/2018 do Ministério da Agricultura,

Pecuária e Abastecimento, o teor mínimo de sólidos solúveis para o suco da pinheira é de 24 °Brix, valor que caracteriza a padronização oficial de qualidade do produto. Os resultados do estudo mostram que a testemunha e os níveis salinos de 1,5 dS m⁻¹ e 3,0 dS m⁻¹ estão dentro do regulamento técnico vigente.

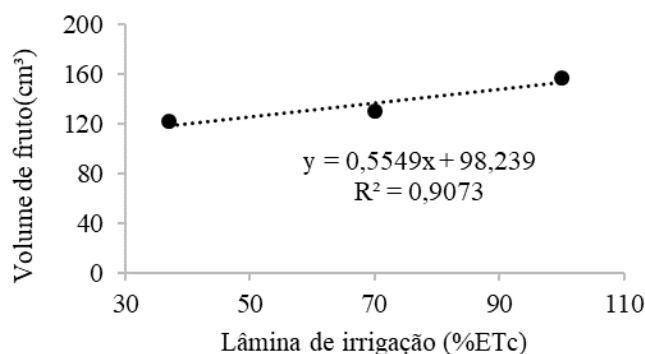


Figura 5. Volume de fruto de pinheira em função das lâminas de irrigação (%ETc). Avaliação aos 870 dias após o transplantio.

O aumento da lâmina de irrigação promoveu um incremento no volume dos frutos de pinha. Ao comparar as lâminas de 37% e 100% da ETc, observou-se um aumento de 28,97% no volume dos frutos. É importante ressaltar que os diâmetros transversal e longitudinal dos frutos (Figuras 5A e 5B) aumentaram com o incremento da lâmina de irrigação, o que pode ter influenciado o volume dos frutos. Segundo Kuclu et al. (2014), o menor peso, comprimento e diâmetro dos frutos estão associados a condições de disponibilidade hídrica inferiores às requeridas pela cultura, ocasionando, assim, redução no volume dos frutos.

CONCLUSÃO

A lâmina de irrigação de 100% da ETc proporcionou maiores diâmetro e massa média de frutos e volume de polpa.

Salinidade influenciou positivamente o número de frutos por planta e rendimento de polpa na lâmina de irrigação de 100% da ETc.

A interação entre os fatores mostrou que o maior rendimento (11.218,85 kg ha⁻¹) ocorreu com 100% da ETc e nível salino de 4,5 dS m⁻¹).

Os sólidos solúveis (°Brix), manteve-se dentro dos padrões de qualidade para as condições de rendimento máximo.

REFERÊNCIAS:

- ARAÚJO, João Aprígio Cabral de. Produção da pinha submetida à adubação orgânica, mineral e turnos de rega. 2023. 31 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2023.
- ARIAS, P. et al. Climate Change 2021: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; technical summary. 2021
- Ayers, r. S.; Westcot, d. W. Water quality for agriculture. Rome: FAO, 1985. (Irrigation and drainage paper, 29).
- BEZERRA, J. et al. Efeito da salinidade da água de irrigação na produção de maracujazeiro-amarelo. **Revista Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 8, n. 2, p. 78-84, 2012.
- CAVALCANTE, L. F. et al. Resposta do maracujazeiro-amarelo à salinidade da água sob diferentes formas de plantio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 620-624, 2005
- BLANCO, V et al. Irrigation and crop load management lessen rain-induced cherry cracking. **Plants (Basel)**, Basel, v. 11, n. 23, p. 3249, 2022.
- BRASIL – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. AGROSTAT – Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro. Disponível em: <<https://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>>. Acesso em: 03 out. 2025.
- BRASIL. Ministério da Agricultura do Abastecimento. Instrução normativa nº 37, de 1º de outubro de 2018. Regulamento técnico geral para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de fruta. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 8 out de 2018 Seção I, p. 23. 2018.
- CUNHA, D. P.S; PONTES, K. V. Desalination plant integrated with solar thermal energy: a case study for the Brazilian semi-arid. **Journal of Cleaner Production**, v. 331, p. 129943, 2022.

DA SILVA, R. A.R et al. Lâminas de irrigação e cobertura do solo na produção e qualidade de frutos da graviola. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 3, p. 441-447, 2013.

DANTAS, M. V. et al. Hydrogen peroxide and saline nutrient solution in hydroponic zucchini culture. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, n. 3, p. 1167-1186, 2022.

HASANUZZAMAN, M. et al. Potassium: a vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. **Agronomy**, v. 8, n. 3, p. 31, 2018.

HOLANDA, J. S. et al. Indicações para adubação de culturas em solos do Rio Grande do Norte. Parnamirim, RN: EMPARN, 2017. (Emparn. Série Documentos; 46).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Agropecuário 2017. Brasília, DF: IBGE. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/>. Acesso em: 01 dez. 2025.

KUSLU, Y.; FATIH, U. S.; KIZILOGLU, M.; MEMIS, S. Fruit yield and quality, and irrigation water use efficiency of summer squash drip-irrigated with different irrigation quantities in a Semi-Arid agricultural area. **Journal of Integrative Agriculture**, Beijing, v. 13, n. 11, p. 2518-2526, 2014.

LACERDA, C. F. et al. Influence of plant spacing and irrigation water quality on a cowpea-maize cropping system. **International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science**, 1:163-167. 2011.

MARQUES, A. et al. Composição centesimal e de minerais de casca e polpa de manga (*Mangifera indica* L.) cv. Tommy Atkins. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 4, p. 1206-1210, 2010.

OLIVEIRA, C P. M. et al. Quality of irrigated apples in the semiarid region of the Northeast of Brazil. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 3, p. 748-757, 2017.

OLIVEIRA, H. T. et al. Produção e qualidade de frutos de mangueira “Tommy Aktins” sob doses de Paclobutrazol. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 10, n. 3, p. 89-92, 2014.

PORRAS-JORGE, R. et al. The effect of deficit irrigation on the quality characteristics and physiological disorders of pomegranate fruits. **Plants** (Basel), Basel, v. 14, n. 5, p. 720, 2025.

SANTOS, W. M et al. Cultivo da pinheira (*Annona squamosa* L.) em função da disponibilidade hídrica na zona da mata Alagoana. 2024.

SANTOS, W. M. Cultivo da pinheira (*Annona squamosa* L.) em função da disponibilidade hídrica na Zona da Mata Alagoana. 2024. 67 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Campus de Engenharia e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, AL, 2024.

SILVA JÚNIOR, L. G. D. A.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. D. Composição química de águas do cristalino do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, p. 11-17, 1999.

SILVA, A. A. et al. Salicylic acid relieves the effect of saline stress on sour sop morphophysiology. **Ciência e Agrotecnologia**, v.45, e007021, 2020.

SILVA, J. et al. Determinação da qualidade e do teor de sólidos solúveis nas diferentes partes do fruto da pinheira (*Annona squamosa* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, p. 562-564, 2002.

SILVA, J. M. et.al. Cultivo do tomateiro em ambiente protegido sob diferentes taxas de reposição da evapotranspiração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 40–46, 2013.

SOARES, L. A. A. et al. Morfofisiologia e qualidade pós-colheita do tomateiro sob estresse hídrico nas fases fenológicas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 8, n. 1, p. 35, 2013.

TORRES, R.A.F. et al. Physiology and production of sugar-apple under water stress and application of proline. **Brazilian Journal of Biology**, vol. 83, e273404, 2023.

YANG, Z. et al. Photosynthetic Regulation Under Salt Stress and Salt-Tolerance Mechanism of Sweet Sorghum. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1722, 2020.

ZHANG, Yao et al. Irrigation method and volume for korla fragrant pear: Impact on soil water and salinity, yield, and fruit quality. **Agronomy**, v. 12, n. 8, p. 1980, 2022.

ZUAZO, V. H. D. et al. Deficit irrigation strategies for subtropical mango farming. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 41, e13, 2021.

