



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
CURSO INTERDISCIPLINAR DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

SUZANY ARYELLY SENA DA SILVA

**QUALIDADE DE PORTA-ENXERTOS DE CULTIVARES DE CAJUEIRO SOB
IRRIGAÇÃO COM ÁGUA PRODUZIDA DO PETRÓLEO.**

CARAÚBAS - RN

2025

SUZANY ARYELLY SENA DA SILVA

**QUALIDADE DE PORTA-ENXERTOS DE CULTIVARES DE CAJUEIRO SOB
IRRIGAÇÃO COM ÁGUA PRODUZIDA DO PETRÓLEO.**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof^a. Dra. Maria do Socorro Medeiros de Souza.

CARAÚBAS – RN

2025

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

S586q Silva, Suzany Aryelly Sena da.
Qualidade de porta-enxertos de cultivare de
cajueiro sob irrigação de água produzida do
petróleo / Suzany Aryelly Sena da Silva. - 2025.
36 f. : il.

Orientadora: Maria do Socorro Medeiros de
Souza.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2025.

1. anacardium occidentale L. 2. salinidade. 3.
água produzida. 4. irrigação. 5. semiárido. I.
Souza, Maria do Socorro Medeiros de , orient. II.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo) autor(a).

Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Sarah Freire Bezerra
CRB: 15/1052

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

SUZANY ARYELLY SENA DA SILVA

**QUALIDADE DE PORTA-ENXERTOS DE CULTIVARES DE CAJUEIRO SOB
IRRIGAÇÃO COM ÁGUA PRODUZIDA DO PETRÓLEO.**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 10 / 12 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Maria do Socorro Medeiros de Souza, Prof^a. Dra. (UFERSA)
Presidente

Eng. Agrônomo Allysson Régis Praxedes Moreira, Me (IDIARN) - Examinador
Membro Examinador

Graduando em Eng. Elétrica Kaila Maria Pereira de Carvalho
Membro Examinador

A minha filha, Clarice Sena Lira que com sua pouca idade foi a minha força, sem ela eu não chegaria tão longe, minha inspiração, meu incentivo e minha luz.

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela força que me sustentou nos dias de incerteza e por acalmar meu coração nos momentos de medo. Sem Sua presença, eu não teria chegado até aqui.

Aos meus pais, Ana Vilma Sena de Assis Silva e Antenor Vicente da Silva, meu alicerce e minha base. Tudo o que sou e tudo o que conquistei carrega a marca do amor, da dedicação e dos valores que recebi de vocês.

À minha filha, Clarice Sena Lira, que ilumina minha vida de uma forma que palavras não conseguem traduzir. Você é a razão da minha perseverança e minha maior motivação diária.

Ao meu companheiro de vida, Jonas Jeffersson de Oliveira da Silva, agradeço pela paciência nos meus dias difíceis e pelo incentivo constante, que fizeram toda a diferença. Sua presença tornou esta caminhada mais leve, mais bonita e muito mais possível.

Aos meus professores, que ensinaram além dos conteúdos, oferecendo caminhos e perspectivas. Agradeço por enxergarem meu potencial com humanidade e por acreditarem em mim até mesmo quando eu duvidava de mim mesma.

Aos meus amigos, especialmente Letícia Vitória Andrade de Oliveira, Hindira Queiroga e Elisabeth Sabryne Aires de Freitas, sou grata pela presença, pelo apoio, pelas risadas e pelas palavras certas nos momentos exatos. Vocês dividiram o cansaço, aliviaram o peso e celebraram comigo cada pequena vitória.

À Kaila Maria Pereira de Carvalho, agradeço pela orientação atenciosa e pela disponibilidade em contribuir significativamente para o desenvolvimento deste projeto de pesquisa.

À minha orientadora, Prof.^a Maria do Socorro Medeiros de Souza, agradeço por aceitar essa missão e me acompanhar com dedicação, cuidado e generosidade.

A todos vocês, meu coração transborda gratidão. Este trabalho é também reflexo do carinho, da confiança e do apoio que recebi ao longo de toda esta jornada.

RESUMO

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) destaca-se como uma das culturas de maior relevância socioeconômica do Nordeste brasileiro, responsável por cerca de 94% da produção nacional. A sustentabilidade dessa atividade depende do uso de mudas de qualidade, do manejo hídrico adequado e da escolha de cultivares resistentes ao estresse salino, comum em regiões semiáridas. Nesse contexto, a utilização da água produzida do petróleo (APP) surge como alternativa diante da escassez de água doce. O objetivo deste trabalho foi analisar o comportamento de portas-enxertos de diferentes cultivares de cajueiro submetidas a distintas diluições de água produzida. O experimento foi conduzido na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) – Campus Caraúbas (RN), em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5×4 , com quatro repetições, sendo cada parcela composta por uma planta. Os tratamentos consistiram em cinco diluições de água produzida do petróleo sintética (APP) em água não salobra (ANS): T1 – 100% ANS; T2 – 75% ANS + 25% APP; T3 – 50% ANS + 50% APP; T4 – 25% ANS + 75% APP; e T5 – 100% APP, associados a quatro cultivares de cajueiro: Embrapa 51, Faga 11, CCP 76 e BRS 226. Os cultivares ‘Embrapa 51 e Faga 11’ foi o mais tolerante ao estresse salino da água produzida do petróleo, e o Faga 11 que apresentou melhor crescimento vegetativo. Os porta-enxertos de cajueiro dos cultivares ‘Embrapa 51’, ‘Faga 11’ e ‘CCP 76’ superaram o ‘226’ em termos de produção de fitomassa e qualidade de mudas. A água produzida do petróleo em diluição com água de abastecimento na proporção 3:1 (75% de água não salobra + 25% de água produzida do petróleo) favorece o crescimento e a produção de massa fresca da parte aérea dos portas-enxertos de materiais genéticos de cajueiro.

Palavras-chave: *Anacardium occidentale* L.; salinidade; água produzida; irrigação; semiárido.

ABSTRACT

The cashew tree (*Anacardium occidentale* L.) stands out as one of the crops of greatest socioeconomic relevance in Northeastern Brazil, accounting for approximately 94% of the national production. The sustainability of this activity depends on the use of high-quality seedlings, proper water management, and the selection of cultivars resistant to saline stress, which is common in semi-arid regions. In this context, the use of petroleum produced water (PPW) emerges as an alternative in response to freshwater scarcity. The objective of this study was to analyze the performance of rootstocks from different cashew cultivars subjected to distinct dilutions of produced water. The experiment was conducted at the Federal Rural University of the Semi-Arid (UFERSA), Caraúbas Campus, Rio Grande do Norte, Brazil, using a completely randomized design in a 5×4 factorial scheme with four replications, with each plot consisting of one plant. The treatments consisted of five dilutions of synthetic petroleum produced water (PPW) in non-saline water (NSW): T1 – 100% NSW; T2 – 75% NSW + 25% PPW; T3 – 50% NSW + 50% PPW; T4 – 25% NSW + 75% PPW; and T5 – 100% PPW, combined with four cashew cultivars: Embrapa 51, Faga 11, CCP 76, and BRS 226. The cultivars ‘Embrapa 51’ and ‘Faga 11’ were the most tolerant to saline stress caused by petroleum produced water and exhibited the best vegetative growth. Cashew rootstocks of the cultivars ‘Embrapa 51’, ‘Faga 11’, and ‘CCP 76’ outperformed ‘BRS 226’ in terms of phytomass production and seedling quality. Petroleum produced water diluted with supply water at a ratio of 3:1 (75% non-saline water + 25% petroleum produced water) promotes growth and fresh shoot biomass production of cashew rootstocks from different genetic materials.

Keywords: *Anacardium occidentale* L.; salinity; produced water; irrigation; semiarid.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** Número de folhas - NF (A), Diâmetro de caule - DC (B) e Área foliar – AF (C) em função da interação entre os fatores água produzida do petróleo - APP x cultivares de cajueiro – CC..... 23
- Figura 2** Altura de planta – AP (A) e Suculência – SUC (B) em função dos cultivares de cajueiro, aos 58 DAS.....24
- Figura 3** Taxa de crescimento absoluto do diâmetro de caule – TCAdc em função dos distintos genótipos de cajueiro (A) e taxa de crescimento absoluto da área foliar – TCAaf em função da interação entre os fatores água produzida do petróleo - APP x cultivares de cajueiro – CC (B)..... 25
- Figura 4** Massa fresca de raízes – MFR (A), massa seca da parte aérea – MSPA (B) e massa fresca da parte aérea – MFPA (C) em função dos cultivares de cajueiro; e MFPA em função das diluições de água produzida do petróleo (D)..... 26
- Figura 5** Relação raiz/parte aérea – RPA (A), massa seca de raízes – MSR (B) e índice de qualidade de Dickson – IQD (C) em função dos distintos cultivares de cajueiro..... 28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Resumo da análise de variância referente ao número de folhas (NF), diâmetro de caule (DC), altura de planta (AP), área foliar (AF) e suculência (SUC) de porta-enxertos de cultivares de cajueiro sob irrigação com diluições de água produzida do petróleo (APP) aos 58 dias após o semeio – DAS.....	21
Tabela 2	Resumo da análise de variância referente à taxa de crescimento absoluto da altura de planta (TCAap), do diâmetro de caule (TCAdc) e da área foliar (TCAaf) de porta-enxertos de cultivares de cajueiro sob irrigação com diluições de água produzida do petróleo (APP) aos 58 dias após o semeio – DAS.....	24
Tabela 3	Resumo da análise de variância referente à massa fresca de raízes (MFR), e da parte aérea (MFPA), massa seca de raízes (MSR), e da parte aérea (MSPA), a relação raiz/parte aérea (RPA) e índice de qualidade de Dickson (IQD) de porta-enxertos de cultivares de cajueiro sob irrigação com diluições de água produzida do petróleo (APP).....	26

SUMÁRIO

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo geral	14
2.2	Objetivos específicos	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
3.1	Aspectos botânicos e agronômicos do cajueiro	15
3.1.1	Características e desempenho dos genótipos	16
3.2	Qualidade e limitações da água para irrigação no semiárido nordestino.....	17
3.2.1	Água produzida do petróleo	18
3.2.2	Impactos da Salinidade no Desenvolvimento Vegetal	19
4	MATERIAIS E MÉTODOS	21
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
6	CONCLUSÕES	32
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

1 INTRODUÇÃO

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) desempenha um papel fundamental na economia e na segurança alimentar de diversas regiões tropicais e subtropicais do mundo. No Brasil, populações naturais da espécie localizadas no Nordeste brasileiro apresentam elevada diversidade genética, especialmente em ecótipos associados a ambientes de restinga e cerrado, o que evidencia a importância da região como reservatório de variabilidade genética da espécie (Dos Santos et al., 2019). Além disso, o Nordeste brasileiro concentra a maior parte da produção nacional de castanha de caju, destacando-se os estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte como principais polos produtores (IBGE, 2022; EMBRAPA, 2020).

O potencial dessa frutífera para o desenvolvimento regional depende, entre outros fatores, do uso de mudas de qualidade na formação dos pomares. Esse objetivo é alcançado por meio do fornecimento de água em quantidade e qualidade adequadas, do emprego de substratos apropriados e da adoção de práticas adequadas de adubação (Mendonça et al., 2010). Mudas de alta qualidade apresentam maior resistência a doenças, melhor adaptação às condições ambientais e maior potencial produtivo, resultando em frutos de melhor qualidade.

Apesar da importância dessa cultura para o Nordeste brasileiro, o déficit hídrico representa um desafio à expansão das áreas irrigadas. O estresse salino causa impactos negativos na emergência, crescimento e produtividade das culturas agrícolas, devido aos efeitos tóxicos, osmóticos e nutricionais provocados pela presença excessiva de sais no solo e/ou na água de irrigação (Nunes et al., 2017).

A irrigação de culturas agrícolas demanda grandes volumes de água, tornando essencial a busca por fontes alternativas para suprir essa necessidade (Silva et al., 2010; Oliveira et al., 2014). Em regiões de clima semiárido, a irrigação assume papel fundamental para a viabilidade e produtividade do cultivo.

O uso de águas residuárias na irrigação é relatado desde a Grécia Antiga, e tem sido amplamente estudado nas últimas décadas em razão do aumento da demanda por recursos hídricos (Barros et al., 2015). Nesse contexto, surge uma nova fonte potencial para irrigação: a água produzida do petróleo (APP), proveniente das formações geológicas que contêm petróleo (Neff et al., 2011a). Durante o processo de extração de petróleo, ocorre a produção de grandes volumes de água associada (água produzida), a qual pode ser tratada e reaproveitada para irrigação de culturas agrícolas, reduzindo a demanda por água doce e contribuindo para o uso sustentável dos recursos hídricos (Pinto, 2016; Silva; Pereira; Guimarães, 2021).

Nos últimos anos, têm sido desenvolvidos novos métodos de irrigação e adotadas estratégias complementares voltadas à redução dos efeitos do estresse salino, como a seleção de materiais genéticos mais resistentes e a implementação de práticas de manejo adequadas. Essas ações buscam estabelecer uma abordagem integrada para minimizar os impactos do uso de águas salinas durante a produção de porta-enxertos e no manejo da irrigação. A ampliação da base genética de cultivares utilizadas como copas e porta-enxertos, com ênfase em materiais mais tolerantes a estresses abióticos, como salinidade e déficit hídrico, constitui uma estratégia fundamental para o aumento da produtividade, da estabilidade produtiva e da sustentabilidade econômica das culturas em regiões semiáridas (EMBRAPA, 2020; Silva et al., 2019).

Neste sentido, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar o desenvolvimento de e cajueiro (*Anacardium occidentale L.*) sob irrigação com diferentes diluições de água produzida do petróleo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar respostas de diferentes cultivares de cajueiro submetidos a irrigação com diluições de água produzida de petróleo sintética.

2.2 Objetivos específicos

- Comparar o crescimento vegetativo (altura de planta, diâmetro de caule, número de folhas e área foliar) de vários cultivares de cajueiro submetidos a diferentes proporções de água produzida de petróleo como fonte de irrigação;
- Verificar a produção de biomassa (parte aérea e/ou raízes) dos cultivares sob diferentes níveis de diluição da água produzida de petróleo;
- Determinar o limite de salinidade para obtenção porta-enxertos de cajueiro qualidade;
- Identificar o material genético de cajueiro com maior tolerância ao estresse salino provocado pela irrigação com água produzida.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Aspectos botânicos e agronômicos dos cultivares de cajueiro

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.), pertencente à família *Anacardiaceae*, é uma frutífera tropical de grande importância econômica, social e ecológica para o Brasil, especialmente para a região Nordeste, onde encontra condições edafoclimáticas ideais para o cultivo (Silva-Luz; Pirani, 2020). Originário das regiões tropicais da América do Sul, o cajueiro destaca-se pela produção do pseudofruto, conhecido como caju, e da castanha de caju, produto de elevado valor comercial e amplamente exportado (EMBRAPA, 2022).

A cultura do cajueiro apresenta duas variedades principais: o cajueiro comum (ou gigante), que pode atingir até 12 metros de altura, e o cajueiro-anão precoce, de porte reduzido (3 a 4 metros), com alta produtividade e frutificação precoce (Silva, 2019). Trata-se de uma espécie perene, de copa ampla e densa, ramos lenhosos e tronco tortuoso, cuja arquitetura favorece a interceptação de luz e a ventilação (Andrade, 2013).

O sistema radicular do cajueiro é profundo e bem desenvolvido, característica que confere à planta elevada resistência à seca. Por esse motivo, a espécie é amplamente cultivada em regiões semiáridas, apresentando boa adaptação a solos arenosos e de baixa fertilidade, desde que bem drenados (EMBRAPA, 2022). As folhas são simples, alternas, coriáceas e de formato obovado, com coloração verde intensa e comprimento variando entre 4 e 22 cm (Silva-Luz; Pirani, 2020).

As flores são pequenas, perfumadas e agrupadas em panículas terminais, apresentando coloração variável, do amarelo ao róseo, e rico teor de néctar, o que atrai polinizadores e contribui para o aumento da produtividade (Vasconcelos, 2011). O fruto verdadeiro é a castanha, uma drupa lenhosa e oleaginosa que se desenvolve na extremidade inferior do pedúnculo carnoso — o pseudofruto — amplamente consumido *in natura* e utilizado nas indústrias alimentícia e de bebidas (Aquino; Abreu; Hott, 2020).

O caju destaca-se por seu alto valor nutricional, sendo rico em vitamina C, compostos fenólicos e antioxidantes. Já a castanha-de-caju apresenta elevado teor de proteínas, lipídios insaturados e minerais essenciais, como magnésio, ferro e zinco, o que justifica seu amplo uso nas indústrias alimentícia e cosmética (Aquino; Abreu; Hott, 2020).

O Brasil é reconhecido como um dos principais produtores e exportadores de castanha-de-caju do mundo, com destaque para os estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Piauí, responsáveis por mais de 90% da produção nacional (EMBRAPA, 2022). Estima-se que

aproximadamente 200 mil produtores participem da cadeia produtiva do caju, sendo, em sua maioria, pequenos agricultores, o que reforça o papel social da cultura na geração de renda e na fixação do homem no campo (Silva, 2019).

Devido à sua rusticidade e ampla adaptabilidade, o cajueiro é considerado uma espécie estratégica para o desenvolvimento sustentável das regiões semiáridas. Sua exploração contribui tanto para o fortalecimento da agricultura familiar quanto para a expansão da agroindústria, sendo utilizado na produção de sucos, doces, polpas, castanhas torradas e diversos produtos derivados (EMBRAPA, 2022). Assim, a cultura do cajueiro reúne características de alta relevância econômica, ambiental e social, consolidando-se como uma das frutíferas mais representativas do Nordeste brasileiro.

3.1.1 Características e desempenho dos genótipos

O clone Embrapa 51, lançado em 1996, foi obtido por meio de seleção fenotípica individual e avaliação clonal, destacando-se como uma alternativa promissora para o cultivo no semiárido brasileiro. As plantas apresentam porte baixo (altura média de 3,52 m no sexto ano) e excelentes características agroindustriais, incluindo castanhas de maior peso médio (10,4 g), superiores às do clone CCP 76. O principal diferencial do Embrapa 51 é sua resistência genética à resinose-do-cajueiro (*Lasiodiplodia theobromae*), além de ser resistente à antracnose e moderadamente resistente ao mofo-preto (Paiva et al., 2015). Essas características conferem ao clone maior resiliência produtiva e o tornam um importante aliado na sustentabilidade e aumento da renda dos produtores do semiárido (EMBRAPA, 2025).

O clone Faga 11 é outro cultivares de cajueiro-anão precoce integrante dos programas de melhoramento genético conduzidos pela Embrapa. Estudos comparativos envolvendo clones e variedades de *Anacardium occidentale* L. têm demonstrado variações significativas no desempenho produtivo, inclusive em características relacionadas ao peso do pedúnculo e produtividade geral, evidenciando respostas diferenciadas de cultivares a condições edafoclimáticas (EMBRAPA, 2022; Dos Santos et al., 2019). Embora determinados materiais melhorados de *Anacardium occidentale* L. não se destaquem prioritariamente pela resistência a doenças específicas, alguns clones têm demonstrado potencial adaptativo em ambientes sob estresse abiótico e adequado desempenho produtivo, evidenciando sua utilidade como material parental em programas de melhoramento genético visando a obtenção de cultivares com maior tolerância a condições ambientais adversas (EMBRAPA, 2022).

O cultivares CCP 76 (Centro de Pesquisa de Caucaia 76) é um dos clones mais tradicionais e historicamente relevantes no programa de melhoramento genético do cajueiro no

Brasil, sendo amplamente utilizado como padrão em experimentos comparativos. Trata-se de um clone de porte baixo, típico do cajueiro-anão precoce, característica que favorece o manejo, a poda e a colheita dos frutos. Apresenta floração e frutificação precoces, sendo explorado tanto pela castanha quanto pelo pedúnculo, bastante apreciado para consumo *in natura* (EMBRAPA, 2024). Em termos de rendimento industrial, as amêndoas apresentam peso médio inferior (aproximadamente 2,07 g) em comparação com clones mais recentes (Paiva et al., 2015). Apesar disso, sua produtividade e estabilidade fenotípica o tornam referência técnica para avaliação dos ganhos genéticos obtidos nos novos lançamentos (Miranda et al., 2021).

Lançado em 2002, o clone BRS 226 (*Planalto*) é um cultivares de cajueiro-anão precoce que se sobressai pela alta qualidade da amêndoa e pelos atributos fitossanitários favoráveis. As castanhas apresentam peso médio cerca de 20% superior ao do clone CCP 76 (aproximadamente 2,72 g), o que lhe confere elevada valorização comercial e o torna um dos clones mais indicados para o mercado de amêndoas (EMBRAPA, 2019). Além disso, o BRS 226 vem sendo amplamente utilizado em pesquisas sobre manejo hídrico no semiárido, figurando com o cultivares de referência em estudos de irrigação deficitária e tolerância ao estresse hídrico, evidenciando sua relevância agrônômica (Miranda et al., 2021).

3.2 Qualidade e limitações da água para irrigação no semiárido nordestino

O problema hídrico no Brasil manifesta-se de forma mais severa na região semiárida do Nordeste, uma ampla extensão territorial que corresponde a aproximadamente 15,3% do território nacional (ASA, 2025). A baixa disponibilidade de água representa um dos principais entraves ao desenvolvimento regional, sendo esse recurso essencial para a saúde pública, a segurança alimentar e o equilíbrio socioambiental (ONU/UNESCO, 2023).

As regiões semiáridas caracterizam-se por regime pluviométrico anual escasso e distribuído de forma irregular no tempo e no espaço, com precipitação concentrada em poucos meses do ano, altas taxas de evapotranspiração e longo período de estiagem, resultando em um expressivo déficit hídrico que limita a disponibilidade de água para atividades agrícolas e ecossistemas (SUDENE, 2025; ASA BRASIL, 2025). Devido à intermitência das fontes superficiais, a agricultura praticada nessas áreas depende fortemente do uso de águas subterrâneas para suprir as necessidades de irrigação. Contudo, o embasamento geológico cristalino e fissural predominante na região limita a recarga dos aquíferos e favorece a acumulação de sais dissolvidos (Suassuna, 2019).

Como consequência, o uso de águas com teores elevados de sais torna-se uma prática comum, especialmente durante os períodos prolongados de estiagem, quando a evaporação

intensifica ainda mais a salinização de poços e reservatórios (Amaral et al., 2021). Essa condição impõe desafios ao manejo agrícola e à sustentabilidade dos sistemas produtivos, exigindo estratégias de convivência com a escassez hídrica e o uso racional dos recursos disponíveis.

A qualidade da água utilizada na irrigação constitui um fator determinante para o sucesso produtivo das culturas agrícolas. Sua aptidão agronômica é definida principalmente pela concentração total de sais dissolvidos (Sólidos Totais Dissolvidos – STD) e pela composição iônica. Estudos hidrogeoquímicos realizados no Semiárido brasileiro indicam o predomínio de águas mistas cloretadas e sódico-cloretadas, caracterizadas por elevados teores de íons Cl^- e Na^+ , além de concentrações significativas de Ca^{2+} e Mg^{2+} (Amaral et al., 2021).

A predominância dessas águas salobras impõe sérias restrições ao uso agrícola. Pesquisas apontam que, em diversas comunidades rurais do Nordeste, as águas disponíveis apresentam valores de STD, magnésio e sulfato acima dos limites recomendados para fins agropecuários (Amaral et al., 2021). O uso contínuo dessas águas, sem a adoção de práticas adequadas de drenagem e lixiviação, favorece o acúmulo de sais no solo, agravado, muitas vezes, por manejos agrícolas inadequados (Silva et al., 2022).

O excesso de sais compromete as propriedades físico-químicas do solo, reduzindo sua fertilidade e a capacidade de retenção de água, o que resulta em queda da produtividade agrícola e intensifica os riscos de desertificação, um dos principais vetores de degradação ambiental no semiárido (Rodrigues, 2017).

Diante desse cenário, a mitigação dos efeitos da escassez e da irregularidade hídrica requer a implementação de estratégias integradas de gestão e uso eficiente da água (Figueirêdo, 2024). Entre as soluções promissoras destacam-se o fortalecimento de infraestruturas hídricas interligadas, o emprego de tecnologias sociais adaptadas ao semiárido (SRH-CE, 2024; UFRR, 2024) e a exploração técnica de fontes alternativas, como o reaproveitamento de águas residuárias tratadas e o uso produtivo de águas salobras de origem subterrânea, dentro dos princípios da agricultura bioessalina. Essas abordagens permitem atender à demanda hídrica de forma sustentável, resiliente e compatível com as condições ambientais regionais (EMBRAPA, 2024).

3.2.1 Água produzida do petróleo

A água produzida é o principal efluente líquido gerado durante as atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural. Ela é composta por uma mistura da água de formação, naturalmente presente nos reservatórios geológicos, e da água injetada durante as operações de recuperação secundária ou de perfuração (Al-Ghouti; Khan, 2020). Quando o

petróleo é extraído, essa água é trazida à superfície juntamente com o óleo e o gás, sendo posteriormente separada nos processos de tratamento e medição (Bader; Reddy; Crowley, 2022).

De acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2023), a água produzida representa, em média, 70% a 80% do total de efluentes gerados pela indústria do petróleo. Em poços mais antigos, essa proporção pode ultrapassar 90% do volume total extraído, o que evidencia a magnitude desse subproduto.

A composição química da água produzida é complexa e variável, dependendo das características geológicas do reservatório, do tempo de exploração e dos produtos químicos empregados nas operações. Normalmente, contém altas concentrações de sais dissolvidos, metais pesados, hidrocarbonetos, sólidos suspensos, ácidos orgânicos, compostos fenólicos e elementos radioativos naturais (NORMs) (Yousef; Giblyawey; El-Naas, 2020; IGP, 2022).

Essa complexidade torna o seu gerenciamento ambiental um grande desafio. Quando descartada sem tratamento adequado, a água produzida pode causar impactos significativos ao solo, aos corpos d'água e aos ecossistemas aquáticos, devido à sua elevada salinidade e à presença de compostos tóxicos (Al-Marri; Al-Ajmi; Almomani, 2024). Por esse motivo, a maior parte desse efluente é reinjetada em reservatórios para fins de recuperação de petróleo ou submetida a processos de tratamento que permitem seu reuso em aplicações industriais, agrícolas ou na própria produção de óleo (Silva; Costa; Melo, 2022).

Assim, a água produzida pode ser definida como um efluente complexo, volumoso e potencialmente poluente, cuja gestão adequada é essencial para minimizar os impactos ambientais das atividades petrolíferas e promover o uso sustentável dos recursos hídricos.

3.2.2 Impactos da Salinidade no Desenvolvimento Vegetal

A crescente escassez de água doce tem estimulado o uso de águas salobras na irrigação agrícola, especialmente em regiões áridas e semiáridas; entretanto, essa prática exige manejo adequado para reduzir os efeitos adversos da salinidade sobre o solo, o crescimento das plantas e a produtividade das culturas (FAO, 2021). O acúmulo de sais na zona radicular afeta o equilíbrio hídrico e nutricional, comprometendo o crescimento e a produtividade (Shrivastava; Kumar, 2015).

A salinidade reduz o potencial osmótico do solo, dificultando a absorção de água e levando ao fechamento estomático, o que limita a fotossíntese e o crescimento vegetal (Flowers; Colmer, 2015). Além disso, o excesso de íons como Na^+ e Cl^- causa toxicidade e necroses foliares (Munns; Gilliam, 2015).

O estresse salino interfere na absorção de nutrientes como K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , gerando desequilíbrios nutricionais e degradação do solo (Parihar et al., 2015). Solos com elevados teores de sódio trocável tendem a apresentar dispersão das partículas de argila, degradação da estrutura, redução da infiltração de água e diminuição da permeabilidade, afetando negativamente o manejo do solo e o desenvolvimento das culturas (FAO, 2021; Rengasamy, 2022).

Assim, o uso de águas salinas exige estratégias mitigadoras, como aplicação de corretivos, uso de matéria orgânica, escolha de espécies tolerantes e manejo adequado da irrigação (Machado; Serralheiro, 2017). Essas práticas asseguram a sustentabilidade da produção agrícola em regiões áridas e semiáridas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida entre os anos de 2023 e 2024, em ambiente protegido, na área experimental do Centro Multidisciplinar de Caraúbas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), localizada no município de Caraúbas, Rio Grande do Norte. O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 5×4 , com quatro repetições, sendo cada parcela composta por uma planta.

Os tratamentos foram constituídos por diferentes diluições de água produzida do petróleo sintética (APP) em água não salobra (ANS), sendo estas: T1 – 100% ANS, T2 – 75% ANS + 25% APP, T3 – 50% ANS + 50% APP, T4 – 25% ANS + 75% APP e T5 – 100% APP. Também foram avaliados quatro cultivares de cajueiro: *Embrapa 51*, *Faga 11*, *CCP 76* e *BRS 226*. As diferentes proporções de mistura resultaram em níveis de salinidade (CEa) de 0,47; 1,26; 2,06; 2,63 e 3,52 dS m⁻¹, respectivamente, e em valores de pH de 7,11; 7,43; 7,68; 7,75 e 7,79.

No experimento, foram utilizados diferentes cultivares de cajueiro, incluindo o clone *Embrapa 51*, recomendado para cultivo em regime de sequeiro em áreas semiáridas. Esse material apresenta plantas de porte baixo com altura média de aproximadamente 3,5 m no sexto ano de idade e produtividade média de castanha que pode alcançar cerca de 1.500 kg ha⁻¹, variando conforme as condições ambientais e manejo (EMBRAPA, 2025). O segundo genótipo, *Faga 11*, destaca-se por sua produtividade superior, com castanhas pesando em média 11,9 g e amêndoas de 3,10 g, sendo recomendado para o mercado de amêndoas graúdas (Lccp et al., 2023). O clone *CCP 76*, desenvolvido pela Embrapa e amplamente difundido no Nordeste brasileiro, caracteriza-se por plantas de porte médio a médio-baixo, início precoce de produção e boa adaptação às condições do semiárido. A produtividade e o peso médio das castanhas variam conforme as condições edafoclimáticas e o manejo adotado, sendo esse clone historicamente utilizado como material de referência em programas de pesquisa e melhoramento genético do cajueiro (EMBRAPA, 2018; EMBRAPA, 2020). Por fim, o cultivar *226* é caracterizado por plantas de porte médio-baixo, o que facilita a colheita, e apresenta castanhas de tamanho médio, com produtividade satisfatória em condições de sequeiro. O clone apresenta boa adaptação a condições de baixa disponibilidade hídrica, característica importante para regiões semiáridas; entretanto, sua tolerância a doenças, como a resinose, é considerada moderada, sendo mais indicado para sistemas de cultivo tradicionais ou de menor nível tecnológico (EMBRAPA, 2020).

O preparo das águas produzidas sintéticas (APP) foi realizado utilizando água de abastecimento proveniente do campus UFERSA, em Caraúbas-RN, à qual foram adicionadas

quantidades específicas dos sais cloreto de alumínio, bórax, ácido bórico, cloreto de cálcio, sulfato de cálcio, cloreto de ferro, sulfato de manganês, cloreto de magnésio, cloreto de potássio, cloreto de sódio e sulfato de zinco. A formulação seguiu as proporções estabelecidas por Figueiredo et al. (2014), que caracterizaram amostras de água produzida provenientes de diferentes poços de exploração de petróleo da Bacia Potiguar, determinando os parâmetros químicos médios típicos da região. Após o preparo, as diluições da APP foram efetuadas conforme os tratamentos experimentais e armazenadas em recipientes plásticos com capacidade de 90 L, devidamente vedados e protegidos para evitar perdas por evaporação e contaminação externa.

A semeadura foi realizada em sacolas plásticas com capacidade de 1150 mL, utilizando uma semente por sacola. As sacolas foram preenchidas com solo coletado na profundidade de 0–30 cm no município de Caraúbas – RN, previamente misturado com 2% de esterco bovino curtido (com base no peso do solo). As unidades foram dispostas sobre estrados de madeira, a 20 cm do solo, visando facilitar o manejo. A drenagem do excesso de água foi garantida por furos na base das sacolas.

Durante o experimento, a umidade do substrato foi mantida próxima à capacidade de campo. Até os 32 dias após a semeadura (DAS), as irrigações foram realizadas utilizando água proveniente do sistema de abastecimento local, com condutividade elétrica de $0,47 \text{ dS m}^{-1}$. A partir desse período, as irrigações passaram a ser conduzidas de acordo com os tratamentos experimentais, utilizando águas com diferentes níveis de salinidade.

O controle fitossanitário adotado durante o experimento foi de caráter preventivo e/ou curativo, sendo aplicado conforme a ocorrência de pragas e doenças. Além disso, foi realizado o arranquio manual das plantas invasoras.

A irrigação foi realizada diariamente, com base na técnica de lisimetria de drenagem. O volume de água aplicado em cada irrigação foi determinado pela diferença entre o volume aplicado no dia anterior e o volume drenado no dia seguinte, correspondendo à quantidade necessária para restabelecer a capacidade de campo do substrato. Para a coleta da água drenada, foram selecionadas aleatoriamente 20 sacolas, nas quais foram acoplados sacos plásticos na base, permitindo a mensuração precisa do volume drenado.

A avaliação dos efeitos dos diferentes tratamentos foi feita com base em variáveis relacionadas ao crescimento, produção de fitomassa e à qualidade das mudas de cajueiro. No que se refere ao crescimento dos porta-enxertos, aos 58 dias após o semeio (DAS), foram mensurados o número de folhas (NF), a altura da planta (AP), o diâmetro do caule (DC) e a área foliar (AF) e a suculência (SUC). Para a contagem de folhas, foram consideradas apenas

aquelas com o limbo foliar completamente expandido. O diâmetro do caule foi medido a 3 cm acima do colo da planta, enquanto a altura foi determinada pela distância entre o colo e o ponto de inserção da folha mais jovem. A área foliar foi estimada por meio da medição do comprimento e da largura das folhas totalmente expandidas.

De posse desses dados (DC, AP e AF), foram determinadas as taxas de crescimento absoluto aos 58 DAS, do diâmetro do caule (TCA_{dc}), altura da planta (TCA_{ap}) e área foliar (TCA_{af}) de porta-enxertos de cajueiro de acordo com a metodologia de Benincasa (2003):

$TCA = A_2 - A_1 / t_2 - t_1$ em que:

A_2 = variável em estudo (DC, AP e AF), obtido no final do período;

A_1 = variável em estudo (DC, AP e AF), obtida no início do período de estudo;

$t_2 - t_1$ = diferença de tempo entre as observações, em dias.

Na mesma data (58 DAS), foi realizada a última avaliação morfológica. As plantas foram cortadas rente ao solo e separadas em parte aérea (folhas e caule) e raízes. Imediatamente após a coleta, foi realizada a pesagem da massa fresca das raízes (MFR) e da massa fresca da parte aérea (MFPA). Em seguida, os materiais foram acondicionados em sacos de papel devidamente identificados e levados à estufa com circulação de ar, a 65 °C, até atingirem massa constante. Após a secagem, foi determinado o acúmulo de massa seca das raízes (MSR) e da parte aérea (MSPA), utilizando-se uma balança de precisão. A partir desses valores, calculou-se também a relação raiz/parte aérea (RPA), obtida pela razão entre a MSR e a MSPA.

A qualidade das mudas (porta-enxertos) foi avaliada ao final do experimento, também aos 58 DAS, por meio do Índice de Qualidade de Dickson (IQD), calculado conforme a fórmula proposta por Dickson, Leaf e Hosner (1960):

$IQD = [MST / (AP / DC) + (MSPA / MSR)]$ em que:

IQD = índice de qualidade de Dickson;

MST = massa seca total de planta (g);

AP = altura de planta (cm);

DC = diâmetro do caule (mm);

MSPA = massa seca da parte aérea (g);

MSR = massa seca de raiz (g).

As médias obtidas para as variáveis analisadas foram submetidas à análise de variância (ANOVA), utilizando o teste F a 5% e 1% de significância. As médias dos fatores qualitativos — diluições da água produzida do petróleo e materiais genéticos de cajueiro — foram comparadas pelo teste de Tukey, aos níveis de 1% e 5% de probabilidade. As análises

estatísticas foram realizadas com o auxílio do software SISVAR, desenvolvido pela Universidade Federal de Lavras (UFLA) (Ferreira, 2019).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme análise de variância (Tabela 1), observa-se efeito significativo da interação entre os fatores ‘água produzida do petróleo – APP x cultivares de cajueiro – CC’ sobre o número de folhas (NF), o diâmetro de caule (DC) e a área foliar (AF). Também houve efeito significativo isolado do fator CC sobre a altura de planta (AP) e a suculência (SUC).

Tabela 1 - Resumo da análise de variância referente ao número de folhas (NF), diâmetro de caule (DC), altura de planta (AP), área foliar (AF) e suculência (SUC) de porta-enxertos de cultivares de cajueiro sob irrigação com diluições de água produzida do petróleo (APP) aos 58 dias após o semeio – DAS.

Fonte de Variação	Quadrados Médios				
	NF	DC	AP	AF	SUC
Água produzida do petróleo (APP)	8,1479**	0,1838 ^{ns}	7,8208 ^{ns}	23306,41**	0,0002 ^{ns}
Genótipos Cajueiro (GC)	0,4294 ^{ns}	5,1616**	119,909**	19364,98**	0,00005*
Interação (APP x GC)	2,9116**	0,3089*	4,1139 ^{ns}	8209,69**	0,00001 ^{ns}
Bloco	1,2417 ^{ns}	0,0508 ^{ns}	68,4416**	11260,31**	0,00004 ^{ns}
CV (%)	9,94	5,71	13,64	16,43	35,59

ns, **, * respectivamente não significativos, significativo a $p < 0,01$ e significativo a $p < 0,05$; CV= coeficiente de variação.

Verifica-se para o número de folhas interação significativa em função das diluições de água produzida do petróleo x cultivares de cajueiro (Tabela 1A) e, de acordo com o teste de comparação de médias (Figura 2A), observa-se que, para o cultivares ‘Faga 11’, o maior NF foi registrado em plantas irrigadas com a diluição APP-1, apresentando valor 19,98% superior ao das plantas sob APP-5, embora sem diferença estatística em relação às demais diluições. Quanto ao cultivares ‘226’, o maior NF (12,67) foi observado em porta-enxertos irrigadas com APP-1, que não diferiu estatisticamente daquelas sob APP-2, porém superou em 34,45% as plantas sob APP-3. Além disso, entre os cultivares, observaram-se diferenças significativas na diluição APP-1, em que o ‘226’ apresentou valor 21,07% superior ao ‘CCP 76’, e na diluição APP-3, onde o ‘CCP 76’ superou o ‘226’ em 24,27%. É possível que esse efeito sobre o crescimento pode estar relacionado à maior dificuldade de absorção de água pelas raízes, o que tende a provocar o fechamento estomático e, conseqüentemente, limita a entrada de CO₂ necessário para o crescimento vegetal, conforme relatado por Silva et al. (2020).

A interação entre APP x CC afetou o diâmetro de caule, promovendo diferenças entre os genótipos em todas as diluições (Figura 1B), observa-se que o cultivares ‘226’ apresentou os maiores valores de DC nas porta-enxertos submetidas às diluições APP-1, APP-2, APP-3 e APP-5, não diferindo estatisticamente do cultivares ‘CCP 76’ nas diferentes diluições, nem do

cultivar ‘Faga 11’ nas diluições APP-2, APP-3 e APP-4. Já o cultivar ‘Embrapa 51’ apresentou o maior valor de DC (6,83 mm) quando irrigado com água não salobra (APP-1), porém não diferiu estatisticamente nas diluições APP-2, APP-3 e APP-4. Com isso, infere-se que alguns cultivares como o ‘226’ tem uma maior capacidade em manter a expansão celular e o acúmulo de biomassa em condições de salinidade moderada, possivelmente devido à eficiência na absorção de água e nutrientes, bem como à tolerância ao estresse iônico, o que favorece o desenvolvimento do caule mesmo sob diferentes concentrações de sais na água de irrigação (Rizk et al., 2024).

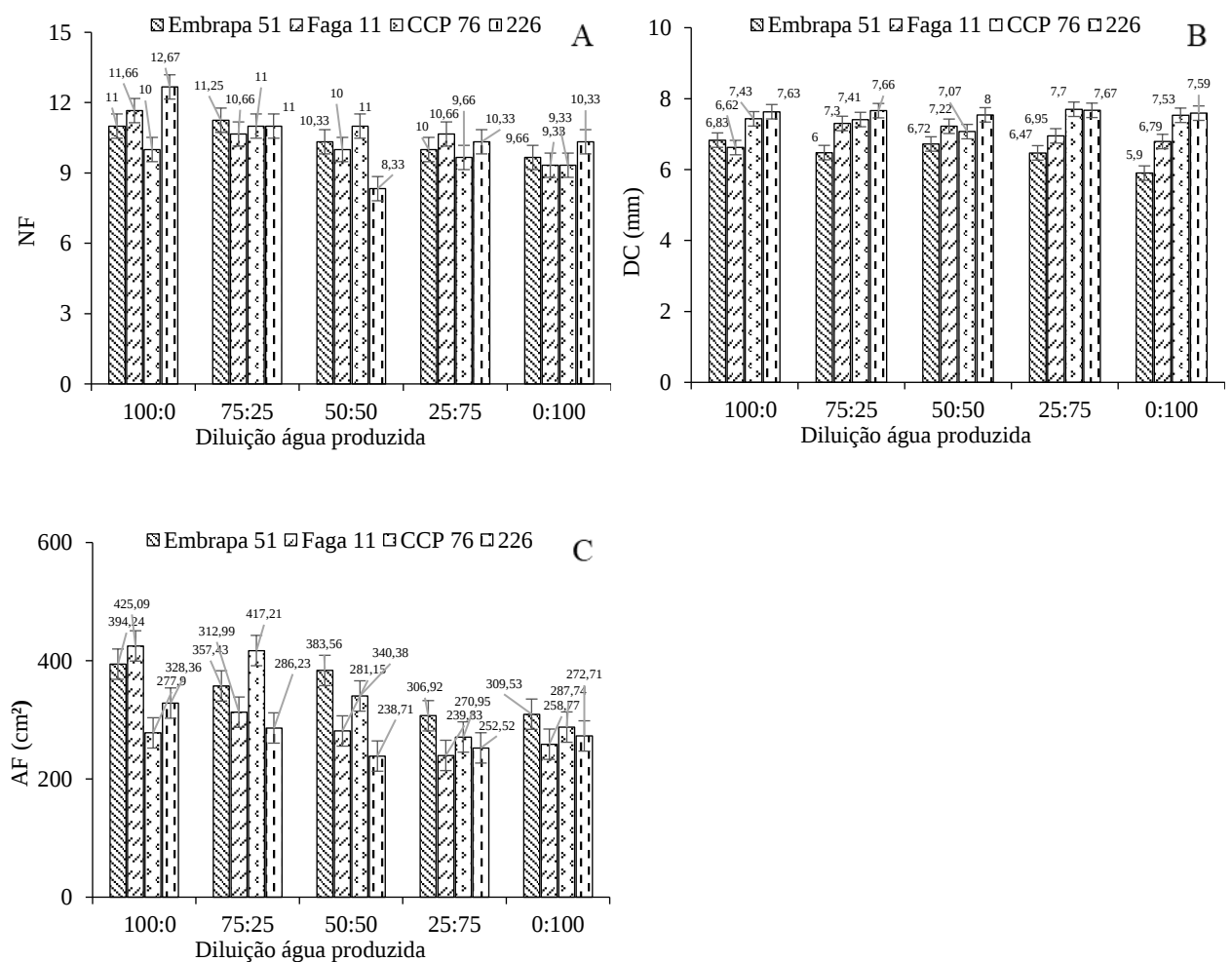


Figura 1. Número de folhas - NF (A), Diâmetro de caule - DC (B) e Área foliar – AF (C) em função da interação entre os fatores água produzida do petróleo - APP x cultivares de cajueiro – CC.

A interação entre os fatores APP x CC, também promoveu efeito sobre a área foliar, onde de acordo com o teste de comparação de médias (Figura 1C) vê-se que o genótipo ‘Faga 11’, quando irrigado com APP-1, apresentou o maior valor de AF (425,09 cm²), sendo 43,58%

superior ao das plantas sob APP-4. Para os cultivares ‘CCP 76’, a maior área foliar ($417,21 \text{ cm}^2$) foi obtida nas plantas irrigadas com APP-2, que não diferiram estatisticamente daquelas sob APP-3, porém superaram em 35,06% as porta-enxertos submetidas à APP-4. Houve também diferença significativa entre os cultivares nas diluições APP-1, APP-2 e APP-3. Na diluição APP-1, os maiores valores de AF foram registrados nos cultivares ‘Embrapa 51’ e ‘Faga 11’, enquanto nas diluições APP-2 e APP-3, os maiores valores foram observados nos cultivares ‘Embrapa 51’ e ‘CCP 76’. Essas diminuições podem ser atribuídas ao fato de que, sob condições de estresse salino, a planta ativa diversos mecanismos de sobrevivência, incluindo a redução do consumo de energia na absorção de água, o que impacta de forma negativa o seu crescimento (Silva et al., 2021).

Os cultivares de cajueiro apresentaram diferenças estatisticamente significativas quanto à altura das plantas e, conforme ilustrado na Figura 2A, nota-se que o maior valor (27,92 cm) foi observado nas porta-enxertos do cultivar ‘Embrapa 51’, que não diferiu estatisticamente do ‘CCP 76’, mas superou o ‘226’ em 21,42%.

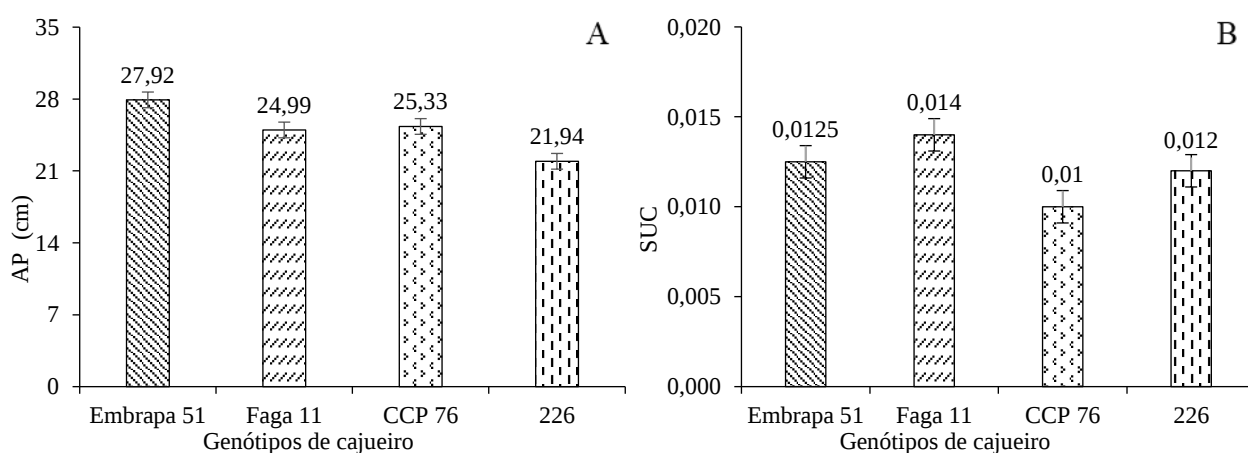


Figura 2. Altura de planta – AP (A) e Suculência – SUC (B) em função dos cultivares de cajueiro, aos 58 DAS.

Foram também observadas diferenças significativas entre os cultivares de cajueiro quanto à suculência (Figura 2B), e de acordo com o teste de comparação de médias, o cultivar ‘Faga 11’ apresentou a maior SUC, não diferindo estatisticamente dos cultivares ‘Embrapa 51’ e ‘226’, porém superando o ‘CCP 76’ em 28,57%. Isso provavelmente está associado a características fisiológicas específicas dos cultivares ‘Faga 11’, como maior capacidade de retenção de água nos tecidos e melhor ajustamento osmótico, o que contribui para a manutenção da turgescência celular mesmo sob condições de estresse salino.

Avaliando o resumo da análise de variância (Tabela 2), identifica-se efeito significativo da interação entre os fatores água produzida do petróleo - APP x cultivares de cajueiro – CC sobre a taxa de crescimento absoluto da área foliar (TCAaf) e do fator isolado “distintos cultivares de cajueiro” sobre a taxa de crescimento absoluto do diâmetro de caule (TCAdc).

Tabela 2 - Resumo da análise de variância referente à taxa de crescimento absoluto da altura de planta (TCAap), do diâmetro de caule (TCAdc) e da área foliar (TCAaf) de porta-enxertos de cultivares de cajueiro sob irrigação com diluições de água produzida do petróleo (APP) aos 58 dias após o semeio – DAS.

Fonte de Variação	Quadrados Médios		
	TCAap	TCAdc	TCAaf
Água produzida do petróleo (APP)	0,025 ^{ns}	0,001 ^{ns}	61,150 ^{**}
Genótipos Cajueiro (GC)	0,011 ^{ns}	0,018 ^{**}	9,132 ^{ns}
Interação (APP x GC)	0,021 ^{ns}	0,001 ^{ns}	9,931 [*]
Bloco	0,150 ^{**}	0,003 [*]	16,923 [*]
CV (%)	49,83	20,44	33,59

ns, **, * respectivamente não significativos, significativo a $p < 0,01$ e significativo a $p < 0,05$; CV= coeficiente de variação.

Os cultivares de cajueiro diferiram de forma significativa em termos da taxa de crescimento absoluto do diâmetro de caule (Figura 3A), e de acordo com o teste de comparação de médias, o cultivar ‘CCP 76’ apresentou a maior TCAdc, não diferindo estatisticamente do cultivar ‘226’, porém superando o ‘Embrapa 51’ em 35,16%.

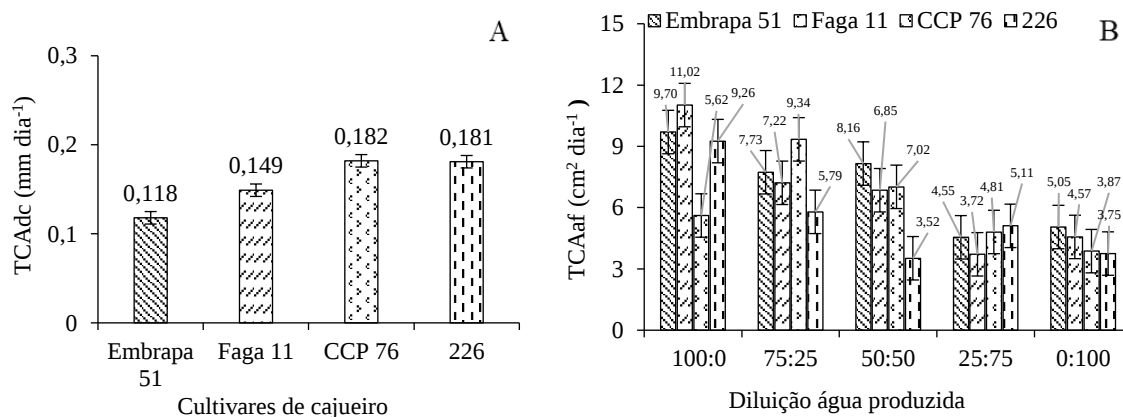


Figura 3. Taxa de crescimento absoluto do diâmetro de caule – TCAdc em função dos distintos cultivares de cajueiro (A) e taxa de crescimento absoluto da área foliar – TCAaf em função da interação entre os fatores água produzida do petróleo - APP x cultivares de cajueiro – CC (B).

A taxa de crescimento absoluto da área foliar foi afetada significativamente pela interação entre os fatores APP x CC e, conforme o teste de comparação de média (Figura 3B), vê-se que para os cultivares Embrapa 51, Faga 11 e CCP 76 os maiores valores de TCAaf foram obtidos nas plantas sob as diluições APP-1, APP-2 e APP-3, já para o cultivar 226, a maior

TCAaf foi obtido em plantas sob APP-1, que não diferiu estatisticamente de APP-2 e APP-4 e, superando o APP-3 em 61,99%. Outrossim, o cultivar Faga 11 superou o CCP 76 em 49% em termos de TCAaf quando submetida à diluição APP-1, no entanto não diferiu dos demais cultivar, já o CCP 76 teve a maior TCAaf quando irrigadas com a diluição APP-2, apresentado superioridade de 38,01% em comparação ao 226. É provável que essas alterações tenham ocorrido porque, sob condições de elevada salinidade, a redução do crescimento das plantas está associada à diminuição do potencial osmótico do solo, o que limita a disponibilidade de água para as raízes. Como resposta a esse estresse, as raízes sintetizam e transportam ácido abscísico (ABA) até as folhas, promovendo o fechamento dos estômatos e, consequentemente, reduzindo a entrada de CO₂, essencial para o acúmulo de fitomassa. (Pacheco et al., 2021).

Verifica-se através do resumo da análise de variância (Tabela 3), haver efeito significativo isolado das distintas APP sobre a massa fresca da parte aérea (MFPA), e do fator genótipos de cajueiro sobre a massa fresca de raízes (MFR), a (MFPA), a massa seca de raízes (MSR), e da parte aérea (MSPA), a relação raiz/parte aérea (RPA) e o índice de qualidade de Dickson (IQD).

Tabela 3 - Resumo da análise de variância referente à massa fresca de raízes (MFR), e da parte aérea (MFPA), massa seca de raízes (MSR), e da parte aérea (MSPA), a relação raiz/parte aérea (RPA) e índice de qualidade de Dickson (IQD) de porta-enxertos de cultivares de cajueiro sob

Fonte de Variação	Quadrados Médios					
	MFR	MFPA	MSR	MSPA	RPA	IQD
Água produzida do petróleo (APP)	1,658 ^{ns}	15,588 ^{**}	0,062 ^{ns}	0,609 ^{ns}	0,007 ^{ns}	0,017 ^{ns}
Genótipos Cajueiro (GC)	7,008 ^{**}	18,512 ^{**}	0,513 ^{**}	2,133 ^{**}	0,208 ^{**}	0,055 [*]
Interação (APP x GC)	0,909 ^{ns}	2,844 ^{ns}	0,135 ^{ns}	0,307 ^{ns}	0,026 ^{ns}	0,025 ^{ns}
Bloco	1,260 ^{ns}	5,501 ^{ns}	0,155 ^{ns}	0,600 ^{ns}	0,020 ^{ns}	0,024 ^{ns}
CV (%)	23,88	15,09	30,56	21,15	29,72	23,93

ns, **, * respectivamente não significativos, significativo a $p < 0,01$ e significativo a $p < 0,05$; CV= coeficiente de variação.

Os distintos cultivares de cajueiro apresentaram diferenças significativas quanto à massa fresca de raízes. Observa-se, na Figura 4A, que o maior valor (4,06 g) foi obtido nas porta-enxertos do cultivar ‘Faga 11’, o qual apresentou resultado 31,28% superior ao do ‘226’, porém sem diferença estatística em relação ao ‘Embrapa 51’, denotando que o cultivar ‘Faga 11’ apresenta maior capacidade de desenvolvimento radicular, possivelmente associada à sua eficiência na absorção de água e nutrientes, mesmo sob condições de variação salina.

Houve também diferenças significativas entre os cultivar de cajueiro quanto à massa seca da parte aérea (Figura 4B), e de acordo com o teste de comparação de médias, o cultivar ‘CCP 76’ apresentou a maior MSPA, não diferindo estatisticamente do cultivar ‘Embrapa 51’, porém superando o ‘Faga 11’ em 25,99%.

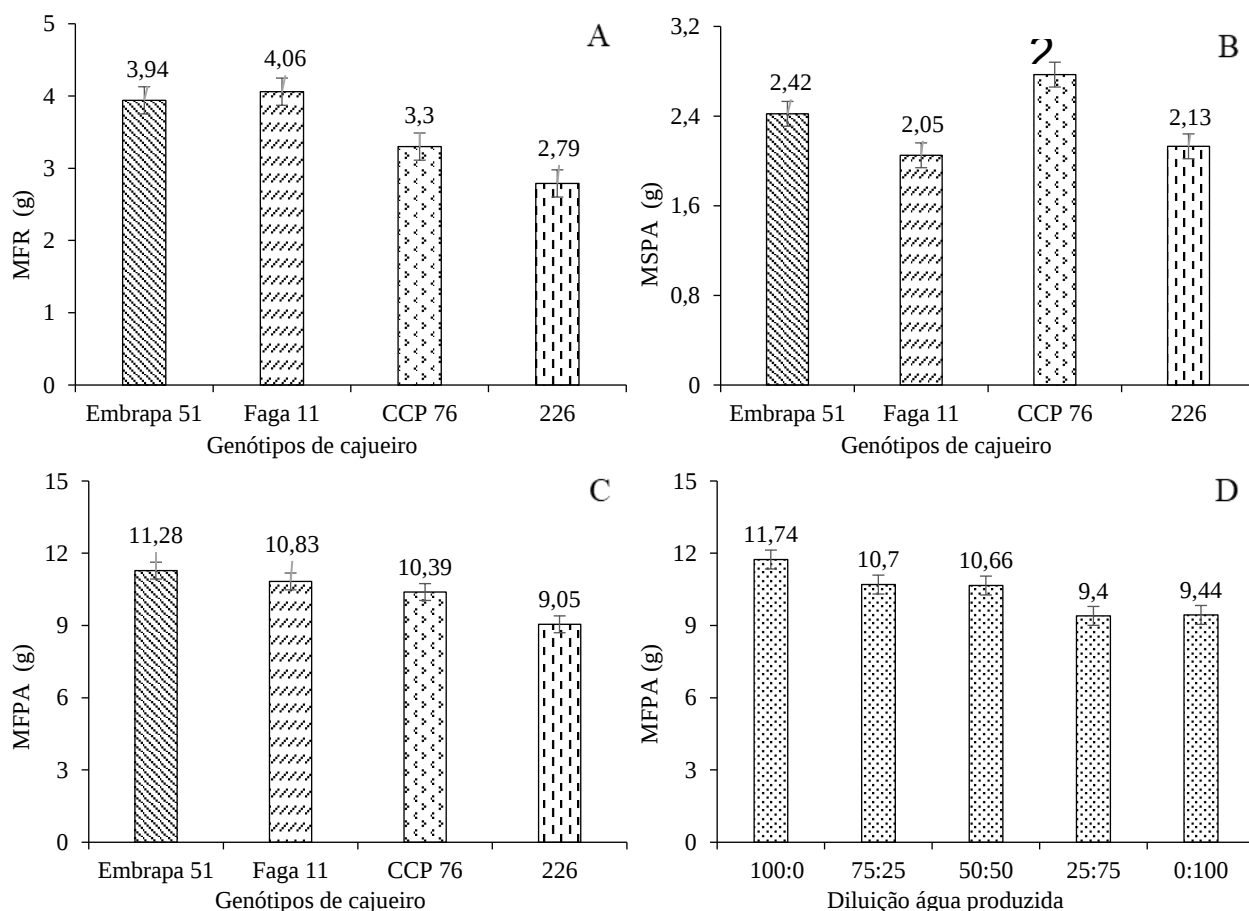


Figura 4. Massa fresca de raízes – MFR (A), massa seca da parte aérea – MSPA (B) e massa fresca da parte aérea – MFPA (C) em função dos cultivares de cajueiro; e MFPA em função das diluições de água produzida do petróleo (D).

Também foram observadas diferenças significativas entre os cultivares de cajueiro quanto à massa fresca da parte aérea (Figura 4C), e de acordo com o teste de comparação de médias, o cultivares ‘Embrapa 51’ apresentou a maior MFPA, não diferindo estatisticamente dos genótipos ‘Faga 11’ e ‘CCP 76’, porém superando o ‘226’ em 19,77%, possivelmente devido à maior eficiência fotossintética e ao melhor equilíbrio hídrico do cultivar ‘Embrapa 51’, que favorecem a expansão foliar e o acúmulo de biomassa nos tecidos da parte aérea.

Na Figura 4D verifica-se que o aumento de salinidade na água de irrigação promoveu efeito significativo sobre a MFPA, o menor valor foi observado (9,4 g) em plantas irrigadas com APP-4, sendo 19,93% inferior as porta-enxertos sob APP-1 (11,74 g), no entanto, as diluições APP-2 e APP-3 não diferiram estatisticamente das plantas irrigadas com água de abastecimento. Os efeitos negativos do aumento da salinidade sobre o crescimento podem estar associados à redução das taxas fotossintéticas, possivelmente causada pela desnaturação das enzimas envolvidas na fase de carboxilação, devido à toxicidade dos altos teores de sais. Essa condição dificulta a fixação de CO_2 e reduz a produção de fotoassimilados essenciais para o desenvolvimento da biomassa (Silva et al., 2023).

Os diferentes genótipos de cajueiro diferiram de forma significativa quanto à relação raiz/parte aérea. Observa-se, na Figura 5A, o maior valor (0,534) em porta-enxertos do cultivar 'Faga 11', o que representa superioridade de 40,64% em comparação com o cultivar 'CCP 76'.

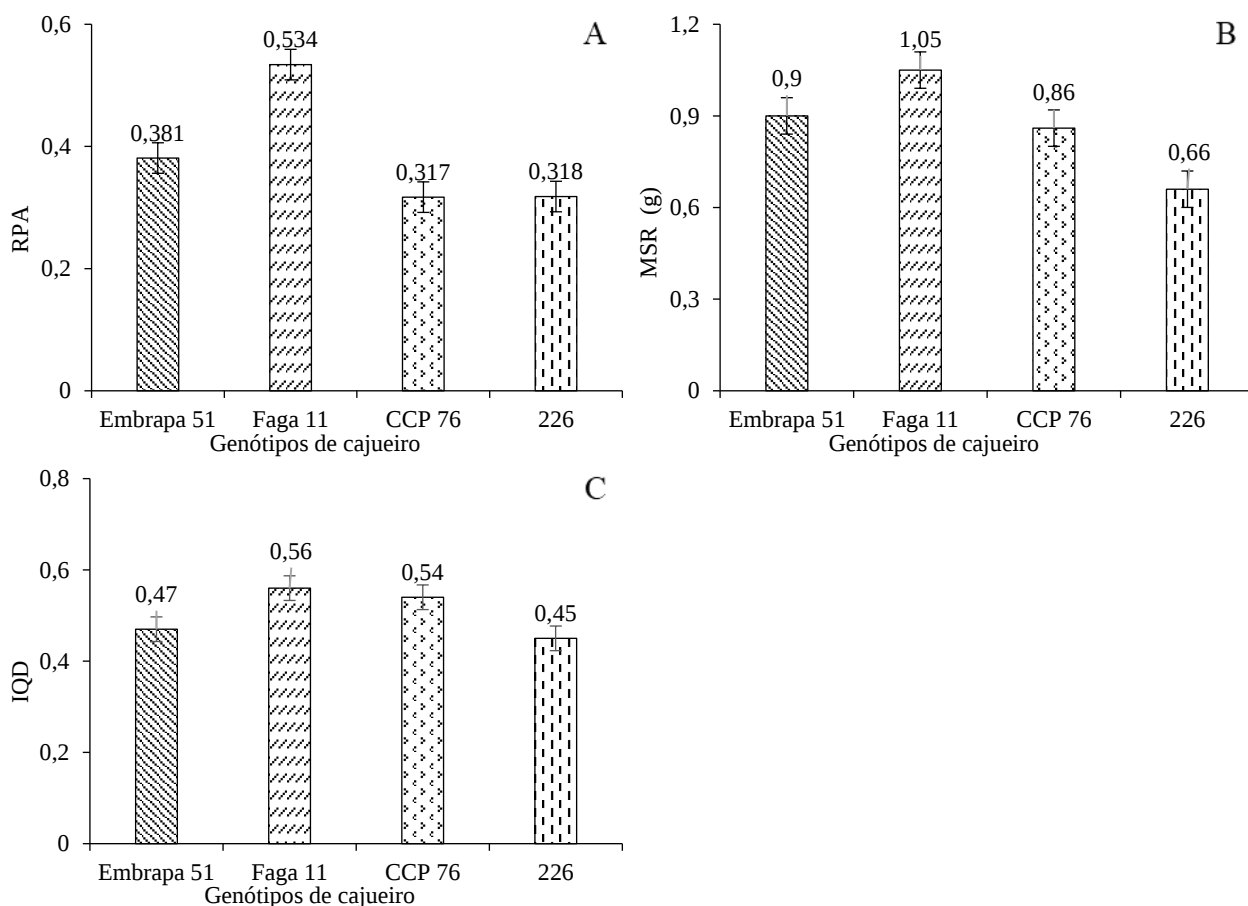


Figura 5. Relação raiz/parte aérea – RPA (A), massa seca de raízes – MSR (B) e índice de qualidade de Dickson – IQD (C) em função dos distintos cultivares de cajueiro.

Os cultivares de cajueiro diferiram estatisticamente em termos de massa seca de raízes e índice de qualidade de Dickson e, conforme ilustrado nas Figuras 5B e 5C vê-se os maiores valores (1,05g e 0,56) em porta-enxertos do cultivar 'Faga 11', que não diferiu estatisticamente do Embrapa 51 e CCP 76 e superou o '226' em 37,14% e 19,64%, respectivamente, provavelmente atribuível à heterogeneidade genética dos cultivares.

6 CONCLUSÕES

O cultivar ‘Embrapa 51’ foi o mais tolerante ao estresse salino da água produzida do petróleo, e o Faga 11 que apresentou melhor crescimento vegetativo.

Os porta-enxertos de cajueiro dos cultivares ‘Embrapa 51’, ‘Faga 11’ e ‘CCP 76’ superaram o ‘226’ em termos de produção de fitomassa e qualidade de mudas.

A água produzida do petróleo em diluição com água de abastecimento na proporção 3:1 (75% de água não salobra + 25% de água produzida do petróleo) favorece o crescimento e a produção de massa fresca da parte aérea de porta-enxertos de materiais genéticos de cajueiro.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- AL-GHOUTI, M. A.; KHAN, M. Produced water treatment: An overview. **Journal of Water Process Engineering**, v. 37, p. 101419, 2020.
- AL-MARRI, M. J.; AL-AJMI, A.; ALMOMANI, F. Environmental impacts of produced water discharge from oil and gas industry. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 31, p. 1–15, 2024.
- AMARAL, C. F. et al. Qualidade das águas subterrâneas no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 26, p. 1–15, 2021.
- ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Anuário estatístico da indústria brasileira de petróleo, gás natural e biocombustíveis**. Rio de Janeiro: ANP, 2023.
- ANDRADE, A. P. S. Aspectos morfofisiológicos do cajueiro. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2013.
- AQUINO, A. R. L.; ABREU, M. L.; HOTT, M. C. Qualidade nutricional do caju e da castanha-de-caju. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 42, n. 2, p. 1–12, 2020.
- ASA – ARTICULAÇÃO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. **O semiárido brasileiro: características e desafios**. Recife: ASA, 2025.
- ASA BRASIL. **Convivência com o Semiárido**. Recife: ASA, 2025.
- BADER, M. S. H.; REDDY, K. R.; CROWLEY, D. Produced water management and reuse: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 305, p. 114380, 2022.
- BARROS, R. M. et al. Reúso de águas residuárias na agricultura: histórico e perspectivas. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 4, p. 587–596, 2015.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 2003.
- DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**, v. 36, p. 10–13, 1960.
- DOS SANTOS, A. R. et al. Variabilidade genética de populações naturais de cajueiro no Nordeste brasileiro. **Scientia Agricola**, v. 76, n. 5, p. 1–10, 2019.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cajucultura: aspectos técnicos e econômicos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2018.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema de produção do cajueiro**. Brasília: Embrapa, 2019.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **A cultura do cajueiro no Brasil**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2020.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cajueiro: informações técnicas**. Brasília: Embrapa, 2022.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivares de cajueiro recomendadas para o semiárido**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2024.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Embrapa 51: características agronômicas**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2025.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Salinity management in agriculture**. Rome: FAO, 2021.

FERREIRA, D. F. **SISVAR: sistema de análise de variância**. Lavras: UFLA, 2019.

FIGUEIREDO, J. R. et al. Caracterização físico-química da água produzida na Bacia Potiguar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 6, p. 635–642, 2014.

FIGUEIRÊDO, M. C. B. Gestão integrada dos recursos hídricos no semiárido brasileiro. Fortaleza: UFC, 2024.

FLOWERS, T. J.; COLMER, T. D. Plant salt tolerance: adaptations in halophytes. **Annals of Botany**, v. 115, p. 327–331, 2015.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

IGP – INSTITUTO GEOLÓGICO DO PETRÓLEO. **Relatório técnico sobre água produzida**. Natal: IGP, 2022.

LCCP et al. Caracterização agronômica de clones de cajueiro-anão precoce. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 44, p. 85–96, 2023.

MACHADO, R. M. A.; SERRALHEIRO, R. P. Salinity management in agriculture. **Agricultural Water Management**, v. 187, p. 1–7, 2017.

MENDONÇA, V. et al. Produção de mudas frutíferas de qualidade. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 2, p. 1–10, 2010.

MIRANDA, F. R. et al. Desempenho agronômico de clones de cajueiro sob estresse hídrico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, p. 1–12, 2021.

MUNNS, R.; GILLIHAM, M. Salinity tolerance of crops. **New Phytologist**, v. 208, p. 668–673, 2015.

NEFF, J. M. et al. Produced water: overview of composition and management. **Environmental Science & Technology**, v. 45, p. 579–600, 2011a.

- NUNES, J. C. et al. Estresse salino em culturas agrícolas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 3, p. 423–434, 2017.
- OLIVEIRA, F. A. et al. Uso de águas alternativas na irrigação. **Irriga**, v. 19, p. 1–12, 2014.
- ONU/UNESCO. **Relatório mundial das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos**. Paris: UNESCO, 2023.
- PACHECO, C. F. et al. Ácido abscísico e respostas ao estresse salino. **Plant Physiology Reports**, v. 26, p. 45–56, 2021.
- PAIVA, J. R. et al. Avaliação agronômica de clones de cajueiro. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2015.
- PARIHAR, P. et al. Effect of salinity stress on plants. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, p. 4056–4075, 2015.
- PINTO, M. A. S. Reúso de água produzida na agricultura. **Revista Água & Sociedade**, v. 11, p. 45–60, 2016.
- RENGASAMY, P. Soil salinity and sodicity. *Soil Research*, v. 60, p. 1–15, 2022.
- RIZK, A. et al. Growth responses of crops under saline irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 290, p. 108538, 2024.
- RODRIGUES, J. O. Desertificação no semiárido brasileiro. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 11, p. 55–70, 2017.
- SILVA, E. M. et al. Salinidade e crescimento vegetal. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, p. 1–10, 2020.
- SILVA, E. M. et al. Respostas fisiológicas de plantas ao estresse salino. **Acta Botanica Brasilica**, v. 35, p. 1–12, 2021.
- SILVA, J. R.; COSTA, M. C.; MELO, A. L. Gestão ambiental da água produzida. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, v. 26, p. 1–14, 2022.
- SILVA, L. A. et al. Crescimento vegetal sob salinidade elevada. **Journal of Plant Stress**, v. 17, p. 1–9, 2023.
- SILVA, L. H. et al. Melhoramento genético do cajueiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, p. 1–10, 2019.
- SILVA, M. A. Manejo do cajueiro-anão precoce. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2019.
- SILVA-LUZ, C. L.; PIRANI, J. R. Anacardiaceae do Brasil. **Flora do Brasil**, v. 50, p. 1–30, 2020.

SUDENE – SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **Semiárido brasileiro**. Recife: SUDENE, 2025.

SUASSUNA, J. A. Recursos hídricos no semiárido. Campina Grande: UFCG, 2019.

UFRR – UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA. **Tecnologias sociais para o semiárido**. Boa Vista: UFRR, 2024.

VASCONCELOS, L. F. Polinização do cajueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 1–8, 2011.

YOUSEF, A. F.; GIBLAWEY, M.; EL-NAAS, M. H. Produced water characteristics and treatment. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 8, p. 104003, 2020.