



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS E FLORESTAIS
CURSO DE AGRONOMIA

RAMON SILVA MELO

**EXTRATO PIROLENHOSO NA BIOMASSA E NUTRIÇÃO DE MUDAS DE
PITANGUEIRAS SOB ESTRESSE SALINO**

MOSSORÓ

2025

RAMON SILVA MELO

**EXTRATO PIROLENHOSO NA BIOMASSA E NUTRIÇÃO DE MUDAS DE
PITANGUEIRAS SOB ESTRESSE SALINO**

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

Orientador: Prof. Dr. Vander Mendonça

Coorientador: MSc. Patrícia Elen Costa Amorim

MOSSORÓ

2025

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

M528 Melo, Ramon Silva .
 EXTRATO PIROLENHOSO NA BIOMASSA E NUTRIÇÃO DE
Meloe MUDAS DE PITANGUEIRAS SOB ESTRESSE SALINO / Ramon
 Silva Melo. - 2025.
 40 f. : il.

 Orientador: Vander Mendonça.
 Coorientador: Patrycia Elen Costa Amorim.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Agronomia, 2025.

 1. Eugenia uniflora L. . 2. Salinidade. . 3.
Nutrição de plantas.. 4. Vinagre de madeira. . 5.
Estresse abiótico.. I. Mendonça, Vander , orient.
II. Amorim, Patrycia Elen Costa, co-orient. III.
Título.

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

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

RAMON SILVA MELO

**EXTRATO PIROLENHOSO NA BIOMASSA E NUTRIÇÃO DE MUDAS DE
PITANGUEIRAS SOB ESTRESSE SALINO**

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

Defendida em: 30 / 07 / 2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Vander Mendonça (UFERSA)
Presidente

MSc. Patrycia Elen Costa Amorim (UFERSA)
Membro Examinador

MSc. Adriana Dos Santos Ferreira (UFERSA)
Membro Examinador

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

Dedico este trabalho à memória de Maria das Graças da Silva, que mesmo não estando mais entre nós, continua presente em meu coração todos os dias.

Tia, esta conquista também é sua, e onde quer que você esteja, espero que sinta o meu amor e orgulho em poder te homenagear.

Levo comigo tudo que aprendi ao seu lado.

(In Memoriam).

Aos meus pais, Francisco Inácio de Melo e Marinalva Conceição Silva Melo, minha base. Obrigado por todo apoio e tempo dedicado aos meus sonhos como se fossem os seus. Sem vocês, nada disso teria sido possível.

Esta conquista é nossa!

AGRADECIMENTOS

Agora, próximo de realizar meu sonho, expresso minha profunda gratidão a DEUS, por sempre está me guiando, protegendo e nunca ter me deixado faltar fé, coragem e perseverança em minha trajetória acadêmica. Sem os cuidados d'Ele, eu não teria conseguido.

Aos meus pais: Marinalva Conceição Silva Melo e Francisco Inácio De Melo, que sempre estão prontos para ajudar no que for preciso. Através da criação, amor e do exemplo de vida que me deram, me tornei uma pessoa mais forte e confiante. Eu amo vocês.

A minha segunda mãe (Tia Toinha), que nunca mediu esforços para me ajudar desde o primeiro dia de aula, até aqui. Obrigado por tudo titia, nunca irei esquecer o fez/faz por mim. Eu te amo.

A meu irmão Renato Melo e minha cunhada Nádia Alves, por todo acolhimento durante todos esses anos morando com vocês, obrigado.

A minha avó Rita Melo, que com todo amor e fé sempre elevou suas rezas por mim. Sei que, mesmo nos momentos em que eu esquecia de rezar, a senhora jamais se esqueceu.

Ao meu orientador Vander Mendonça, por todos os ensinamentos, trabalhos, aprendizados e conversas, durante esses anos no grupo de pesquisa. Obrigado professor.

A Patrycia Amorim, minha Coorientadora, que mesmo distante, sempre se fez presente em tudo que precisei. Obrigado por toda dedicação em me ajudar sempre.

A Adriana Ferreira, por todo apoio, orientação, confiança, amizade construída e dados cedidos para a realização desse projeto, sem você eu não teria conseguido. Obrigado.

Ao grupo de pesquisa GEPEF, onde tive a chance de aprender, crescer e compartilhar do trabalho em equipe. Sou grato por cada orientação recebida, pelos desafios que me fizeram evoluir e pelas amizades feitas.

Aos membros do GEPPARG, onde fui acolhido de forma tão especial e onde tive a oportunidade de aprender e crescer tanto como estudante quanto como pessoa. Meu sincero agradecimento ao professor Aurélio Barros, à professora Lindomar Silveira e ao professor João Everthon. Obrigado por todas as atividades, trabalhos, conversas e histórias compartilhadas, que guardarei para sempre na memória.

Agradeço ao PET Produção Animal pela oportunidade da bolsa, em especial ao professor Ernandes Rufino, por toda confiança ao longo desses anos. E a todas as amizades construídas ao longo do tempo em que fiz parte desse grupo.

Aos meus amigos/irmãos de caminhada: Jeferson Paiva, Sidney Braga, Juliano Fernandes, Pedro Lucas, Carlos Daniel, Bianca Pietra e Clara Araújo, com quem dividi noites de estudos, rotina, preocupações, brigas e muitos momentos inesquecíveis durante toda a jornada acadêmica, sem vocês tudo seria mais difícil. Obrigado pelas risadas, abraços, longas conversas sem hora marcada. A saudade há de ficar, mas que a ausência nunca signifique esquecimento. Obrigado por toda lealdade. Vocês fazem parte da minha história.

E, em especial, à Rislayne Fagundes, que estive ao meu lado em todos os momentos, sejam eles de alegria ou de dificuldades. Desde o primeiro dia, eu já sabia que nossa conexão seria boa, e o tempo só confirmou isso. Desculpa se às vezes “pego pesado”, mas saiba que sempre é pensando no seu bem. Cada momento que vivemos está guardado com carinho no lado esquerdo do peito. Obrigado por tudo, minha irmã de vida. Obrigado para sempre!

Por fim, agradeço a Banca Examinadora por aceitar o convite, pelas valiosas contribuições e por fazer parte desse momento tão importante da minha vida.

Muito obrigado, de verdade!

*“Não existe uma dor
Que transforme em perdedor
Quem nasceu pra ser campeão”.*

Bráulio Bessa

RESUMO

A pitangueira (*Eugenia uniflora* L.), é uma espécie frutífera nativa do Brasil, que possui grande potencial nutricional e medicinal. No entanto, o estresse salino pode limitar a absorção de nutrientes, e consequentemente o desenvolvimento das plantas. O extrato pirolenhoso tem se mostrado eficaz na mitigação desses efeitos, favorecendo o crescimento vegetal. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do extrato pirolenhoso na biomassa e nutrição de mudas de pitangueira sob estresse salino. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, adotando-se o delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 4×3 , correspondendo quatro níveis de salinidade da água de irrigação (0,5, 2,5, 4,5 e 6,5 dS m⁻¹) e três concentrações de extrato pirolenhoso (0, 1% e 2%), aplicados via água de irrigação, com quatro repetições. Foram avaliados a matéria fresca total, matéria fresca da raiz, e os teores de sódio, potássio, cálcio e magnésio nas folhas. Os níveis elevados de salinidade 4,5 e 6,5 dS m⁻¹ reduziram os teores foliares de potássio, independentemente da aplicação do extrato pirolenhoso (EP). O teor de magnésio diminuiu com a condutividade elétrica (CE) acima de 2,5 dS m⁻¹. O uso de 2% de extrato pirolenhoso com a CE de 2,5 dS m⁻¹ promoveram aumento significativo de magnésio. O teor de sódio foliar aumentou com o aumento da salinidade de 2,5 a 6,5 dS m⁻¹, enquanto o teor de cálcio diminuiu. Conclui-se que a CE acima de 2,5 dS m⁻¹ causou redução nos teores foliares de potássio, cálcio, magnésio, bem como na matéria fresca da raiz e matéria fresca total, e aumentou o teor foliar de sódio, independentemente da concentração do extrato utilizado. Com isso, o uso de água salina de até 2,5 dS m⁻¹, aliado à aplicação de EP a 2%, mostrou-se eficaz na mitigação do estresse salino, se apresentando como uma alternativa promissora para atenuar os efeitos negativos da salinidade no cultivo de pitangueiras.

Palavras-chave: *Eugenia uniflora* L. Salinidade. Nutrição de plantas. Vinagre de madeira. Estresse abiótico.

ABSTRACT

Surinam cherry (*Eugenia uniflora* L.) is a fruit species native to Brazil with great nutritional and medicinal potential. However, salt stress can limit nutrient uptake and, consequently, plant development. Pyroligneous extract has been shown to be effective in mitigating these effects, promoting plant growth. Therefore, this study aimed to evaluate the effect of pyroligneous extract on the biomass and nutrition of Surinam cherry seedlings under salt stress. The experiment was conducted in a greenhouse, using a randomized block design in a 4×3 factorial arrangement, corresponding to four irrigation water salinity levels (0.5, 2.5, 4.5, and 6.5 dS m⁻¹) and three pyroligneous extract concentrations (0, 1%, and 2%), applied via irrigation water, with four replicates. Total fresh matter, root fresh matter, and sodium, potassium, calcium, and magnesium contents in leaves were evaluated. High salinity levels of 4.5 and 6.5 dS m⁻¹ reduced foliar potassium contents, regardless of the application of pyroligneous extract (EP). Magnesium content decreased with electrical conductivity (EC) above 2.5 dS m⁻¹. The use of 2% pyroligneous extract with an EC of 2.5 dS m⁻¹ promoted a significant increase in magnesium. Leaf sodium content increased with salinity from 2.5 to 6.5 dS m⁻¹, while calcium content decreased. It was concluded that EC above 2.5 dS m⁻¹ reduced leaf potassium, calcium, and magnesium contents, as well as root fresh matter and total fresh matter, and increased leaf sodium content, regardless of the extract concentration used. Therefore, the use of saline water up to 2.5 dS m⁻¹, combined with the application of 2% EP, proved effective in mitigating salt stress, presenting a promising alternative to mitigate the negative effects of salinity on Surinam cherry cultivation.

Keywords: *Eugenia uniflora* L. Salinity. Plant nutrition. Wood vinegar. Abiotic stress.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Dados meteorológicos da temperatura e umidade relativa do ar (máxima e mínima) durante o experimento (Julho a dezembro de 2023)	24
Figura 2 – Mudanças de pitangueiras em casa de vegetação.....	25
Figura 3 – Condutivímetro digital e pHmetro de bancada.....	27
Figura 4 – Determinação de sódio (Na) e potássio (K) por fotometria de emissão de chama (A) e determinação de Cálcio (Ca) e magnésio (Mg) por espectrofotometria de absorção atômica (B).....	28
Figura 5 – Teores de potássio nos tecidos foliares de mudas de pitangueira submetidas à irrigação com água salina (CE 0,5; 2,5; 4,5 e 6,5 dS m ⁻¹) e à aplicação de extrato pirolenhoso (0; 1% e 2%), avaliados 80 dias após o início dos tratamentos.....	30
Figura 6 – Teores de magnésio nos tecidos foliares de mudas de pitangueira submetidas à irrigação com água salina (CE 0,5; 2,5; 4,5 e 6,5 dS m ⁻¹) e à aplicação de extrato pirolenhoso (0; 1% e 2%), avaliados 80 dias após o início dos tratamentos.....	31
Figura 7 – Teores de sódio (A) e cálcio (B) nos tecidos foliares de mudas de pitangueira submetidas à irrigação com água salina (CE 0,5; 2,5; 4,5 e 6,5 dS m ⁻¹) e à aplicação de extrato pirolenhoso (0; 1% e 2%), avaliados 80 dias após o início dos tratamentos.....	32
Figura 8 – Massa fresca de raízes (A) e massa fresca total (B) de mudas de pitangueira submetidas à irrigação com água salina (CE 0,5; 2,5; 4,5 e 6,5 dS m ⁻¹) e à aplicação de extrato pirolenhoso (0; 1 e 2%), avaliados 80 dias após o início dos tratamentos.	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Propriedades químicas e físicas do substrato utilizado no experimento antes da aplicação dos tratamentos	25
Tabela 2	–	Composição química da água de irrigação, incluindo as concentrações de ânions e cátions	26
Tabela 3	–	Resumo da análise de variância dos teores dos nutrientes, nos tecidos foliares, relação altura de planta e diâmetro de caule e massa fresca total.....	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Na Sódio

K Potássio

Ca Cálcio

Mg Magnésio

CE Condutividade elétrica

EP Extrato pirolenhoso

DAS Dias após a semeadura

NaCl Cloreto de sódio

mm Milímetros

MFT Massa fresca total

MFR Massa fresca da raiz

LISTA DE SÍMBOLOS

% Porcentagem

°C Celsius

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1 Aspectos gerais da pitangueira	18
2.2 Nutrição e efeitos da salinidade nas plantas	19
2.3 O extrato pirolenhoso e seus benefícios na agricultura.....	22
3. MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1 Local do experimento.....	24
3.2 Delineamento experimental.....	24
3.3 Material vegetal.....	25
3.4 Manejo das mudas.....	25
3.5 Aplicação do extrato pirolenhoso	26
3.6 Variáveis avaliadas.....	27
3.7 Análise estatística	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5 CONCLUSÕES	34
6. REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

A pitangueira (*Eugenia uniflora* L.) é uma planta frutífera nativa do Brasil, pertencente à família Myrtaceae, conhecida por sua ampla adaptabilidade a diferentes ambientes (Engela et al., 2021). Essa versatilidade é atribuída à diversidade metabólica da espécie e à sua habilidade de ajustar seu metabolismo conforme as condições ambientais (Engela et al., 2021). Além disso, as folhas e frutos da pitangueira contêm uma variedade de nutrientes e compostos bioativos que sustentam seu uso tradicional na medicina popular, principalmente para o tratamento de distúrbios estomacais, intestinais, febres e inflamações gerais (Fidelis et al., 2022).

Essa espécie é amplamente distribuída em regiões tropicais e subtropicais devido à sua capacidade de crescimento em uma ampla gama de condições de solo e clima (Engela et al., 2021). No entanto, o cultivo da pitangueira enfrenta desafios significativos causados por fatores abióticos, especialmente o excesso de sais no solo. A salinidade resulta em estresse osmótico e iônico, que prejudica a absorção de nutrientes essenciais, comprometendo o desenvolvimento saudável da planta (Gul et al., 2022).

O estresse salino afeta negativamente a capacidade das plantas de absorver água, induz toxicidade por íons como sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-) e causa danos decorrentes do estresse foto-oxidativo (Goharrizi et al., 2021). Como consequência, a produtividade e o crescimento das plantas são reduzidos, devido ao desequilíbrio osmótico e os efeitos específicos do sal sobre as funções fisiológicas (Raza et al., 2022; Ahmad e Anjum, 2023).

Diante desses desafios, torna-se fundamental buscar soluções que minimizem os efeitos do estresse salino, preservando o vigor e a produtividade das plantas. Nesse contexto, o extrato pirolenhoso, conhecido também vinagre de madeira, apresenta-se como uma alternativa promissora para mitigar estresses abióticos em plantas.

Proveniente da pirólise controlada da biomassa vegetal na ausência de oxigênio, sua produção resulta em uma substância rica em compostos bioativos capazes de estimular o crescimento e a resistência vegetal (Fačkovcová et al., 2020; Zhu et al., 2021; Abbaszadeh et al., 2022). Pesquisas indicam que a aplicação do extrato pirolenhoso pode retardar a senescência foliar, facilitar o acúmulo de matéria seca e melhorar o transporte de nutrientes para os órgãos reprodutivos, especialmente após a fase de crescimento vegetativo (Zhu et al., 2021). Em culturas como os citrus, o uso desse extrato aumentou a disponibilidade de cálcio e sódio no solo, promoveu a redução do pH e contribuiu para o equilíbrio nutricional geral (Mirsoleimani et al., 2023).

Além disso, o extrato pirolenhoso é amplamente utilizado na agricultura como bioestimulante, pois sua aplicação tanto foliar quanto no solo pode aprimorar o crescimento vegetal, a saúde do solo e contribuir para a redução da dependência de insumos químicos convencionais, tornando a produção mais sustentável (Sivaram et al., 2022; Jindo et al., 2022). Assim, diante dos efeitos prejudiciais do estresse salino sobre a pitangueira, como: redução do número de folhas, altura de planta, diâmetro de caule e área foliar, conforme relatado por Ferreira et al. (2025), a adoção de estratégias que incluam o uso do extrato pirolenhoso é crucial para incrementar a resistência das mudas e a produtividade da cultura.

Considerando o exposto, nossa hipótese é que a aplicação do extrato pirolenhoso mitiga os efeitos negativos do estresse salino, promovendo melhorias na biomassa e no estado nutricional das mudas de pitangueira. Assim, este trabalho tem como objetivo avaliar o extrato pirolenhoso na biomassa e nutrição de mudas de pitangueiras sob estresse salino.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos gerais da pitangueira

A família Myrtaceae está amplamente distribuída no Brasil e destaca-se tanto por sua relevância ecológica quanto por seu valor econômico. É uma das principais famílias de frutíferas comerciais do mundo e também uma das mais estudadas, devido ao elevado potencial agroindustrial de suas espécies (Gonçalves et al., 2025). Dentre as espécies, destaca-se a *Eugenia uniflora* L., comumente conhecida como pitanga ou cereja vermelha, nativa da flora brasileira e cultivada em todo o mundo, devido sua alta adaptabilidade em diversas condições de solo e clima (Silva et al., 2021; Souza et al., 2022).

A pitangueira é caracterizada por apresentar uma copa densa, podendo medir entre 2 e 9 m de altura, com ramificações, de formato arredondado, folhagem persistente e sistema radicular profundo, com uma raiz pivotante e numerosas raízes secundárias e terciárias (Fidelis et al., 2022). As flores são hermafroditas, podendo ser solitárias ou agrupadas em fascículos de 4 a 8 flores, localizadas na axila das brácteas na base dos ramos jovens, com corola composta por quatro pétalas livres, de cor branco-creme, caducas, obovaladas, com 6 a 8 mm de comprimento (Bezerra et al., 2018).

O fruto é uma baga de 1,5 a 3 cm de diâmetro e apresenta oito sulcos longitudinais (Silva, 2006). É composto, em média, por 77% de polpa e 23% de semente, sendo nutritivos e ricos em vitaminas C e A, com elevada concentração de antocianinas, flavonoides e carotenoides, o que a torna uma cultura promissora de compostos antioxidantes (Monteiro et al., 2021). Suas folhas são opostas, brilhantes, ovais, inteiras e de coloração verde-escuras ou vinho, quando estão novas (Silva, 2006), e possuem propriedades anti-inflamatórias e antioxidantes, sendo utilizadas na medicina tradicional para tratar problemas estomacais, febre, hipertensão e pode também auxiliar na cicatrização de feridas (Fidelis et al., 2022).

Segundo Tessaro et al. (2021), além de seu valor nutricional e medicinal da planta, os frutos preenchem um importante nicho econômico no Brasil e são usados para a produção de sucos, xaropes, geleias. Embora seus frutos sejam o principal produto comercial, as folhas também são valorizadas economicamente, pois, extratos obtidos das folhas têm demonstrado, em diversos estudos, amplas propriedades bioativas, com destaque para as atividades antioxidante e antimicrobiana, o que reforça seu potencial no desenvolvimento de produtos farmacêuticos e fitoterápicos (Tessaro et al., 2021).

Na medicina popular brasileira, as folhas de pitangueira são utilizadas na forma de chás, preparados por infusão, com aplicações tradicionais como no tratamento de doenças

hipertensivas, inflamatórias e antimicrobianas (Magalhães et al., 2025). Seus usos medicinais e alimentares fornecem uma base adequada para a pesquisa científica de suas propriedades, a validação de sua utilidade terapêutica e a exploração de sua taxonomia, morfologia e anatomia (Anconatani et al., 2021). A composição química das folhas é rica e desempenha papel fundamental na neutralização ou eliminação de radicais livres, como o câncer, podendo atuar no estágio inicial ou durante a propagação de processos oxidativos (Santos et al., 2023).

2.2 Nutrição e efeitos da salinidade nas plantas

A salinidade do solo e da água, caracterizada pelo acúmulo excessivo de sais solúveis, representa uma das principais restrições abióticas à produção global de alimentos, sendo especialmente crítica em regiões áridas e semiáridas (Minhas et al., 2020, Singh et al., 2022). Nessas áreas, a irrigação com água salina e a baixa precipitação agravam os efeitos negativos da salinização, reduzindo o crescimento e a produtividade das plantas (Shams et al., 2023).

A irrigação com água salina, na maioria das vezes, resulta em efeito adverso nas relações solo-água-planta, ocasionando restrição severa nas atividades fisiológicas e no potencial produtivo das plantas cultivadas (Dias et al., 2016; Hameed et al., 2021). Tais efeitos decorrem, devido ao estresse osmótico, que se manifesta imediatamente após a exposição ao sal, e dificulta a absorção de água, e ao estresse iônico, que se desenvolve ao longo do tempo com o acúmulo desequilibrado de íons tóxicos nos tecidos vegetais (Minhas et al., 2020, Cackett et al., 2022; Demo et al., 2025).

Além disso, a salinidade pode causar desequilíbrio hormonal e estresse oxidativo (Shams e Khadivi, 2023). Embora as plantas sejam suscetíveis aos efeitos nocivos da salinidade ao longo de seu ciclo de vida, os estágios iniciais, como germinação e estabelecimento das mudas, são mais vulneráveis a esse tipo de estresse (Atta et al., 2023).

Níveis elevados de sais podem causar modificações no desempenho das plantas, incluindo características morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e de funções moleculares, alterando a condutância estomática, produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), taxa fotossintética, peroxidação de membranas, desestabiliza a estrutura, a permeabilidade da membrana celular e a função das proteínas, podendo causar até a morte celular (Shams e Khadivi, 2023; Liu et al., 2024).

A salinidade também causa diversos distúrbios no crescimento das plantas, incluindo a inibição da divisão celular, alongamento, e da atividade fotossintética, necrose e clorose, amarelecimento, ressecamento e queda das folhas, crescimento reduzido de novos ramos, altura da planta, taxa de germinação e murcha foliar (Okon, et al; 2019; Hao et al., 2021).

Além disso, a salinidade reduz o acúmulo de biomassa e o equilíbrio hídrico, resultando em menor produtividade e aceleração da senescência, além de comprometer a estrutura do solo, prejudicando brotos, raízes e órgãos reprodutivos (Joshi et al., 2022; Acharya et al., 2024). Esses efeitos têm sido relatados em diferentes espécies, como *Eugenia uniflora* L. (Nofal et al., 2024), *Moringa oleifera* (Bayomy et al., 2023), *Psidium guajava* L. (Oliveira et al., 2023; Silva et al., 2024) e *Passiflora edulis* (Santos et al., 2025), demonstrando que a tolerância ao estresse salino varia entre espécies.

Vale destacar que com o aumento da salinidade, ocorre o acúmulo excessivo de íons, especialmente de sódio (Na^+), nos tecidos vegetais, o que provoca desequilíbrios na absorção de nutrientes. Esse acúmulo compromete a distribuição de macro e micronutrientes entre os diferentes órgãos da planta, tornando-a menos eficiente em sua nutrição (Joshi et al., 2022; Shams e Khadivi, 2023). Como consequência, observa-se a redução do crescimento, queda na produtividade e maior sensibilidade a outros estresses ambientais, como o déficit hídrico e temperaturas altas (Demo et al., 2025).

O fornecimento adequado, a eficiência de absorção e o uso de nutrientes são essenciais para suprir as exigências nutricionais das plantas, promovendo assim o crescimento, desenvolvimento e rendimento (Prado, 2021; Wang et al., 2025). Além disso, quando equilibrada, a nutrição vegetal fortalece os mecanismos de defesa das plantas, aumentando a tolerância a estresses bióticos e abióticos (Kaur et al., 2023).

Nesse contexto, os nutrientes minerais desempenham papéis fundamentais como componentes estruturais e funcionais de enzimas, atuando como ativadores ou reguladores de várias atividades enzimáticas (Tewari et al., 2021). Os macronutrientes essenciais, como potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) contribuem significativamente para o crescimento e desenvolvimento das plantas, influenciando diretamente na produção de biomassa e a qualidade dos frutos (Muneer et al., 2024).

O potássio desempenha papéis fundamentais na fisiologia vegetal, participando da regulação da condutância estomática, da fotossíntese, do transporte de assimilados via floema e da manutenção do equilíbrio iônico celular, além de contribuir para a tolerância a estresses abióticos (Cui e Tcherkez, 2021; Mostofa et al., 2022).

O cálcio atua diretamente na formação de paredes e membranas celulares, além de exercer papel fundamental na resposta a vários estímulos ambientais e sinais internos de crescimento vegetal (Yu et al., 2024).

Já o magnésio é essencial para a formação da molécula de clorofila, ativação de enzimas, e maior eficiência fotossintética, otimizando o uso de nitrogênio e podendo

aumentar a resistência a estresses abióticos (Tian et al., 2021; Ahmed et al., 2023). Além disso, é fundamental na regulação da absorção e transporte de fósforo, modulando a atividade dos transportadores e canais de fósforo (Ahmed et al., 2023).

Além desses nutrientes essenciais, alguns elementos são considerados benéficos para as plantas, como o sódio (Na), que em quantidades equilibradas exerce papel fundamental em vários processos vegetais, especialmente na manutenção do turgor celular, na regulação osmótica e o controle da polarização da membrana (Podar e Maathuis, 2022).

No entanto, as plantas enfrentam uma série de estresses bióticos e abióticos que podem alterar significativamente seus padrões de absorção e utilização de nutrientes (Wang et al., 2025). O estresse salino água afeta a disponibilidade de nutrientes ao competir pela absorção, translocação ou partição dentro da planta (Mishra et al., 2023). Isso ocorre devido à competição dos nutrientes com íons principais (Na^+ e Cl^-) (Balasubramaniam et al., 2023).

O aumento da concentração de Na^+ no solo e água reduz significativamente os níveis de potássio (K^+) e cálcio (Ca^{2+}) nas plantas, uma vez que o Na^+ compete com o K^+ pelos mesmos sítios de absorção nas raízes (Balasubramaniam et al., 2023). Em condições salinas, essa competição se intensifica devido às semelhanças físico-químicas entre os dois íons, levando à disputa pelo acesso às proteínas de transporte responsáveis pela entrada no simplasto. Como consequência, há uma redução na razão $\text{K}^+:\text{Na}^+$ no citosol, o que compromete a homeostase iônica e atividade fisiológica (Pooja et al., 2025), o que leva a danos às plantas causados pela deficiência de K^+ (Hao et al., 2021).

Souto et al. (2023) relataram que em *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener, o estresse salino reduziu a concentração foliar de K. Sousa et al. (2022) observaram diminuição no conteúdo de K em mudas de *Anacardium occidentale* L, sob estresse salino.

Além disso, o cálcio (Ca^{2+}), essencial na transdução de sinais de vários processos fisiológicos em plantas, também tem seus níveis celulares reduzidos em função da inibição competitiva provocada pelo Na^+ (Hao et al., 2021). Desequilíbrios em Ca^{2+} , podem afetar funções essenciais, como divisão celular, síntese da parede celular e transdução de sinal (Ahmed et al., 2023).

Em condições de estresse salino o Mg^{2+} pode competir com o Na^+ pelos locais de ligação de cátions da superfície da raiz (Tian et al., 2021), o que pode resultar em baixos níveis de Mg^{2+} nas plantas, levando à diminuição do conteúdo de clorofila e da atividade de enzimas antioxidantes, as quais desempenham um papel fundamental no combate ao estresse oxidativo (Ahmed et al., 2023). De acordo com Souza et al. (2024), a salinidade afetou negativamente o acúmulo de Ca^{2+} e Mg^{2+} em mudas de *Annona squamosa* L., o que resultou

em redução do crescimento das plantas. Diante desses efeitos deletérios da salinidade, torna-se relevante avaliar alternativas promissoras como o extrato pirolenhoso para mitigar esses impactos.

2.3 O extrato pirolenhoso e seus benefícios na agricultura

Conhecido como ácido pirolenhoso, vinagre de madeira e extrato pirolenhoso (EP), é um subproduto da pirólise de biomassa que consiste em uma mistura complexa de substâncias bioativas (Cândido et al., 2023). Sua composição contém em média de 70–90% de água e outros compostos orgânicos oxigenados, como fenóis, ácidos orgânicos, cetonas, aldeídos (Vieira et al., 2024).

O extrato pirolenhoso tem um papel significativo no aumento de atividades agrônômicas de plantas como a manga (*Mangifera indica* L) e o milho (*Zea mays*), beneficiando a germinação de sementes, índice de vigor, crescimento da planta, valor nutricional e rendimentos de colheitas (Kumar et al, 2025). O extrato pirolenhoso é comumente utilizado na agricultura, devido conter compostos bioativos que podem melhorar a produtividade e qualidade das plantas de tomate (*Solanum lycopersicon*) (Ofoe et al, 2022).

Segundo Kumar et al. (2025), o extrato pirolenhoso pode desempenhar papéis fundamentais nas plantas, como promoção do crescimento, aumentando a diversidade microbiana, melhorar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, pode ajudar na absorção e translocação de vários macros e micronutrientes que auxiliam no crescimento e desenvolvimento das plantas.

Foi demonstrado que o extrato pirolenhoso oferece vários benefícios à agricultura, sendo o mais notável o aumento na produtividade das culturas ao estimular a absorção de nutrientes pelas plantas e aumentar as taxas de fotossíntese (Cândido et al., 2023). Além disso, estudos sobre a aplicação de vinagre de madeira e biochar relataram aumento da fertilidade do solo e no desenvolvimento das plantas (Sivaram et al., 2022).

O vinagre de madeira é um produto natural, que apresenta propriedades antioxidantes e é amplamente utilizado na agricultura como antimicrobiano, antifúngico, inseticida e agente promotor da germinação, da melhoria da qualidade do solo e do crescimento vegetal (Ouattara et al., 2024). De acordo com Leifeld e Walz (2025), o extrato pirolenhoso tem sido a base de vários estudos e pesquisas, devido sua capacidade de melhorar a saúde do solo, aumentar a produtividade das colheitas, além de estimular o desenvolvimento das raízes e influenciar de forma direta a disponibilidade de nutrientes.

Mirsoleimani et al. (2023), concluiu que sua aplicação (devido sua acidez), o vinagre de madeira pode dissolver minerais e carbonatos no solo, liberar nutrientes essenciais, alterar propriedades químicas do solo, elevar a condutividade elétrica (CE), reduzir o pH e consequentemente aumentar a disponibilidade de cálcio e sódio para as espécies de citrus laranja azeda (*Citrus aurantium*) e limão mexicano (*Citrus aurantifolia*).

Li et al. (2025), confirma que o vinagre de madeira se destaca como uma ótima alternativa sustentável, devido sua ampla variedade de matéria prima. Sua aplicação na água de irrigação, mostra-se eficiente no tratamento de solos salinos e com pH elevado, favorecendo assim na recuperação do solo e contribui para o desenvolvimento das plantas de (*Vaccinium myrtillus*).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

A pesquisa com mudas de pitangueiras foi realizada em casa de vegetação, na Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), localizada em Mossoró, RN, Brasil (5°11'31"S e 37° 20'40"W), a uma altitude média de 18 metros. Segundo a classificação de Köppen, o clima de Mossoró é classificado como BSw_h, ou seja, clima tropical muito quente, seco e semiárido durante a maior parte do ano (Alvares et al., 2013).

Dados meteorológicos referentes à temperatura do ar (mínima e máxima) e umidade relativa do ar (mínima e máxima) durante o período experimental foram coletados diariamente por meio da Estação Meteorológica Automática da UFERSA, localizada em Mossoró, Rio Grande do Norte, na parte externa da casa de vegetação, como mostra a (Figura 1).

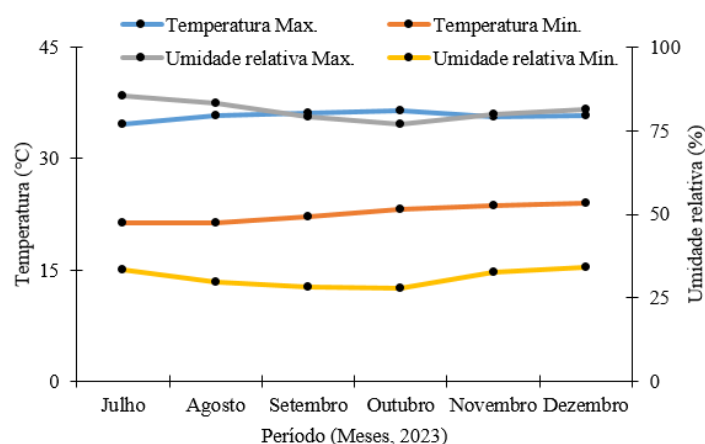


Figura 1. Dados meteorológicos da temperatura e umidade relativa do ar (máxima e mínima) durante o experimento (julho a dezembro de 2023).

3.2 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido utilizando um delineamento experimental em blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 3, sendo o primeiro fator constituído de quatro níveis de salinidade da água de irrigação (0,5, 2,5, 4,5 e 6,5 dS m⁻¹), enquanto o segundo fator correspondeu a três concentrações de extrato pirolenhoso (0, 1% e 2%), aplicados via água de irrigação, com quatro repetições e uma planta por parcela, totalizando 48 unidades experimentais, como mostra a Figura 2.



Figura 2. Mudanças de pitangueiras em casa de vegetação.

3.3 Material vegetal

As sementes utilizadas para produção das mudas de pitangueiras, foram colhidas de plantas matrizes em plena maturidade e com bom estado sanitário e localizadas no pomar da UFERSA, campus Mossoró (5°12'20" S, 37°19'17" W, 15 m). Após a colheita, as sementes foram manualmente retiradas da polpa e deixadas para secar ao ar livre por 24 horas, em ambiente aberto. Os vasos foram preenchidos com substrato comercial contendo (casca de pinus, cinza, vermiculita, turfa, serragem, bioestabilizadores e aditivos), em uma proporção de 2:1. Logo depois, três sementes foram semeadas em cada vaso plástico com capacidade de 4 dm³, a uma profundidade de 3cm. O substrato foi caracterizado quanto aos aspectos químicos pelo Laboratório de Nutrição de Plantas da UFERSA, conforme propôs (Teixeira et al., 2017), como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades químicas e físicas do substrato utilizado no experimento antes da aplicação dos tratamentos.

Areia grossa	Areia Fina	Areia	Silte	Argila	Classificação textural			CE dS ms ⁻¹	pH (H ₂ O)		
dag kg ⁻¹											
53	29	82	7	11	Solo arenoso.			0,41	5,70		
P ¹ mg dm ⁻³	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	SB	CTC	V	PST	
					(cmol dm ⁻³)						
185,4	0,55	0,68	6,31	1,75	0,04	3,14	9,30	12,43	75	4	

CE – Condutividade elétrica; pH – Potencial de hidrogênio; P, K⁺, Na⁺: Extratante Mehlich 1; SB - Soma de bases trocáveis (Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺); CTC - Capacidade de troca catiônica [SB + (H⁺ + Al³⁺)]; V% = (SB/CEC) × 100; PST - Porcentagem de sódio trocável = [Na⁺]/CTC.

3.4 Manejo das mudas

A irrigação foi controlada e realizada diariamente. Aos 90 dias após a semeadura (DAS), procedeu-se ao desbaste, mantendo a planta mais vigorosa. Simultaneamente, foram aplicados 100 mg de P dm⁻³, provenientes de superfosfato simples, às mudas de pitangueira,

para o desenvolvimento saudável das plantas, conforme Corrêa et al. (2003). A irrigação foi controlada e realizada diariamente pelo método do lisímetro de pesagem, determinando o volume de água evaporado ou transpirado ao longo de 24 horas, mantendo a capacidade de campo em 60% (Girardi et al., 2016).

A condutividade elétrica da água (CE) de $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ (controle), proveniente do sistema de abastecimento do campus da UFERSA, e as condutividades elétricas de 2,5; 4,5 e $6,5 \text{ dS m}^{-1}$ foram ajustadas pela adição de cloreto de sódio (NaCl), de acordo com a metodologia de Richards (1954). As águas de irrigação foram monitoradas utilizando um medidor de condutividade digital portátil, para garantir a precisão dos ajustes. Ao início do experimento foi realizada uma análise da água de irrigação sua composição química, como demonstra a Tabela 2.

Tabela 2. Composição química da água de irrigação, incluindo as concentrações de ânions e cátions.

Amostras (CE)dS m^{-1}	pH(H ₂ O)	K ⁺ mmol c L ⁻¹	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	RAS (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}	Cátions	Ânions	Dureza a mg L ⁻¹
0,5	8,50	0,26	4,59	0,74	1,46	2,40	0,10	3,50	4,4	7,0	6,0	110
2,5	8,10	0,25	27,1	4,50	4,70	23,0	0,40	3,20	12,6	36,6	26,6	460
4,5	8,30	0,25	48,1	2,00	3,70	39,0	0,40	3,00	28,5	54,1	42,4	285
6,5	8,30	0,25	67,3	2,00	4,00	55,0	0,40	3,00	38,9	73,5	58,4	300

CE - Condutividade elétrica; pH - Potencial hidrogeniônico; RAS - Razão de adsorção de sódio; CO₃²⁻ - Carbonato; HCO₃⁻ - Bicarbonato. Íons - Potássio, sódio, cálcio, magnésio, cloreto (K⁺; Na⁺; Ca²⁺; Mg²⁺; Cl⁻), respectivamente.

3.5 Aplicação do extrato pirolenhoso

O extrato pirolenhoso foi diluído nas concentrações de 0% (0 mL de EP: 1000 mL de água de abastecimento da UFERSA), 1% (10 mL de EP: 990 mL de água) e 2% (20 mL de EP: 980 mL de água de abastecimento da UFERSA). As concentrações de 0, 1% e 2% do extrato pirolenhoso utilizadas no experimento foram selecionadas com base nas recomendações do rótulo do produto (SP Pesquisa e Tecnologia®). As soluções de EP a 1 e 2% apresentaram condutividades elétricas médias de $0,59$ e $0,61 \text{ dS m}^{-1}$ e pH de 4,89 e 4,03, respectivamente. As medições foram realizadas com o auxílio de um condutivímetro digital (Figura 3A) e um pHmetro de bancada (Figura 3B).

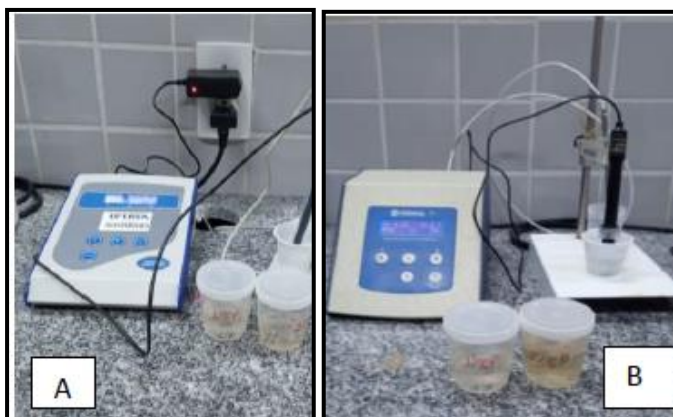


Figura 3. Condutivímetro digital (A) e pHmetro de bancada (B).

O extrato pirolenhoso utilizado foi submetido a uma análise química feita em Petrolina no estado de Pernambuco (PE). A amostra do produto apresentou as seguintes características: pH = 2,6; CE = 1,15 dS m⁻¹; Matéria orgânica = 8,07 g L⁻¹; C = 4,68 g L⁻¹; N = 1,45 g L⁻¹; P = 0,06 g L⁻¹; K = 2,5 Mg = 020 g L⁻¹; Ca = 1,20 g L⁻¹; Na = 0,30 g L⁻¹, C/N = 3,23 g L⁻¹; Fe = 52,0 mg L⁻¹; Cu = 5,0 mg L⁻¹; Mn = 4,0 mg L⁻¹; B = 91,0 mg L⁻¹; Zn = 2,0 mg L⁻¹.

Durante o experimento, foram realizadas cinco aplicações do extrato pirolenhoso via solo, utilizando uma proveta graduada para a irrigação. A solução foi preparada no dia de cada aplicação quinzenal.

3.6 Variáveis avaliadas

Após 80 dias da aplicação dos tratamentos, as folhas de pitangueira foram colhidas para a determinação da massa fresca. As amostras foram então pesadas em balança analítica com precisão de 0,0001 g. Posteriormente, o material foi seco em estufa com circulação de ar forçado a 65 °C até atingir peso constante, quando foram determinadas as massas secas das folhas.

Das 48 amostras, foram selecionadas 24 para a determinação nutricional, realizada no Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Os procedimentos de digestão e extração seguiram adaptações do manual de análises de solo, plantas e fertilizantes (Silva, 2009).

As amostras secas de folhas foram trituradas em moinho tipo Willey (0,5 mm), armazenadas e identificadas em frascos plásticos à temperatura ambiente até o momento da digestão ácida. Para a análise, pesaram-se 500 mg de amostra para cada cadinho de porcelana, que foram incinerados em mufla elétrica com temperatura controlada entre 500 e 550 °C por 6

horas, até a obtenção de cinza branca. Em seguida, os cadinhos foram retirados da mufla e resfriados em dessecador por 2 horas antes das etapas subsequentes.

Em seguida, a cinza foi dissolvida em 25 mL de HNO_3 1 mol L^{-1} (Silva, 1999), originando o Extrato 1, a partir do qual foram determinados os teores de nutrientes. Os digeridos finais foram filtrados em papel de filtro ($\varnothing = 150$ mm e 80 g/m^2). Todas as análises foram realizadas em triplicata. Para cada lote de amostras a ser analisado, foi conduzida uma prova em branco, seguindo os mesmos procedimentos aplicados às demais amostras.

Os procedimentos para a determinação de sódio e potássio foram realizados por fotometria de emissão de chama (Figura 4A), conforme a metodologia descrita por Carmo et al. (2000). Esse método baseia-se na atomização da solução do extrato, que é projetada sobre uma chama, excitando os átomos dos elementos. Os átomos excitados emitem luz em comprimentos de onda característicos aproximadamente 766 a 767 nm para potássio e 589 a 589,6 nm para sódio, e a intensidade dessa emissão é proporcional à concentração dos respectivos elementos na amostra. A análise é feita por calibração do fotômetro com soluções padrões para quantificação precisa dos teores de sódio e potássio.

Os teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica (Figura 4B). Retirou-se 1,0mL do extrato diluído para tubo de ensaio; adicionado 4,0mL da solução de lantânio a 1,14 gL^{-1} , determinado Ca e Mg no espectrômetro de absorção atômica conforme Carmo et al. (2000).



Figura 4. Determinação de sódio (Na) e potássio (K) por fotometria de emissão de chama (A) e determinação de Cálcio (Ca) e magnésio (Mg) por espectrofotometria de absorção atômica (B).

3.7 Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com o teste F a um nível de significância 1% a 5%. Em casos de resultados significativos, foram realizadas análises de regressão. O desdobramento da interação foi analisado pelo teste de Tukey ao nível de 5%. As análises foram realizadas utilizando o software SISVAR (Ferreira, 2019).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação entre a salinidade da água de irrigação e extrato pirolenhoso para teor foliar de potássio (K) e teor foliar de magnésio (Mg) ($p \leq 0,05$). Para matéria fresca total (MFT) e matéria fresca da raiz (MFR), ($p \leq 0,01$) (Tabela 3). Houve efeito da salinidade em todas as variáveis analisadas e efeito do extrato pirolenhoso para K e Mg. Houve efeito significativo da salinidade da água de irrigação para teor foliar de sódio ($p \leq 0,01$) e teor foliar de cálcio ($p \leq 0,01$) (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise de variância dos teores de sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nos tecidos foliares, massa fresca total (MFT) e matéria fresca da raiz (MFR) de mudas de pitangueira submetidas à irrigação com águas salinas e diferentes concentrações de extrato pirolenhoso.

Fonte de variação	DF	Quadrado médio Teor foliar (g kg ⁻¹)				Biomassa (g planta ⁻¹)	
		Na	K	Ca	Mg	MFT	MFR
Salinidade (S)	3	38,61**	49,64**	9,36**	0,10**	97,70**	15,48**
Extrato Pirolenhoso	2	0,38 ^{ns}	5,71**	1,14 ^{ns}	0,02**	0,21 ^{ns}	0,72 ^{ns}
Int. S x EP	6	0,63 ^{ns}	2,45*	0,29 ^{ns}	0,008*	5,30**	0,50 ^{ns}
Blocos	3	1,06 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,006 ^{ns}	1,76 ^{ns}	0,14 ^{ns}
Resíduo	33						
C.V. (%)		11,94	9,49	17,44	11,47	6,32	10,8

C.V – Coeficiente de variação **significativo ($p \leq 0.01$), * significativo ($p \leq 0.05$) e ^{ns} - não significativo pelo teste F.

As mudas irrigadas com água de CE 2,5 dS m⁻¹ e submetidas à aplicação de extrato de pirolenhoso (EP) apresentaram aumento nos teores foliares de potássio (K), atingindo 11,2 g

kg^{-1} com 1% de EP e $12,35 \text{ g kg}^{-1}$ com 2% de EP, o que representa incrementos de 7,86% e 16,43%, respectivamente, em relação ao controle ($10,32 \text{ g kg}^{-1}$) (Figura 5).

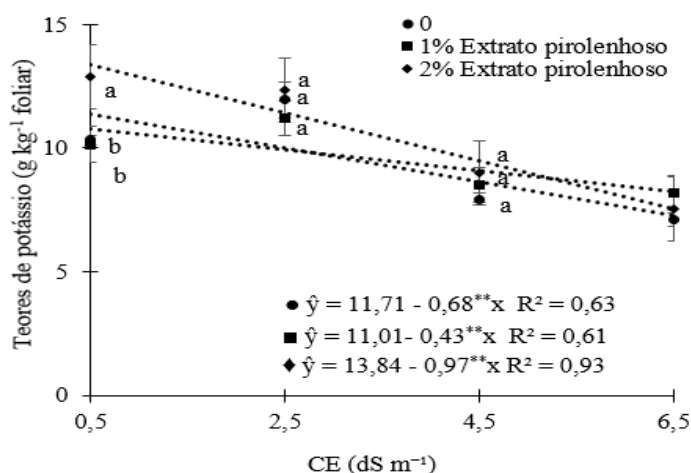


Figura 5. Teores de potássio nos tecidos foliares de mudas de pitangueira submetidas à irrigação com água salina (CE 0,5; 2,5; 4,5 e 6,5 dS m^{-1}) e à aplicação de extrato pirolenhoso (0; 1% e 2%), avaliados 80 dias após o início dos tratamentos. *As mesmas letras não diferem para diferentes concentrações de extrato pirolenhoso dentro de cada nível de salinidade pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ** significativo ($p \leq 0,01$). As barras verticais representam o erro padrão ($n = 4$).

Observou-se que as mudas irrigadas com água salina, com CE de 4,5 e 6,5 dS m^{-1} , apresentaram reduções nos teores foliares de K, independentemente da aplicação do extrato pirolenhoso. Estudos indicam que a salinidade de (2,0, 4,0, g L^{-1}) pode aumentar os teores de K em pitangueiras (Nofal et al., 2024).

O potássio exerce papel fundamental na osmorregulação e na ativação de enzimas, sendo seu aumento nos tecidos vegetais essencial para a manutenção do equilíbrio fisiológico das plantas sob condições de estresse salino (Mirsoleimani et al., 2023; Che et al., 2023).

O extrato pirolenhoso, devido à sua natureza ácida, favorece a dissolução de minerais que contêm potássio, aumentando sua concentração na solução do solo e facilitando sua absorção pelas plantas (Najafi-Ghiri et al., 2022; Yang et al., 2024).

Em relação ao teor de magnésio (Mg), nutriente essencial para a eficiência fotossintética (Tian et al., 2021), foi reduzido nas folhas de mudas de pitangueira irrigadas com água salina com CE superior a 2,5 dS m^{-1} (Figura 6). A aplicação de 2% de extrato pirolenhoso a uma CE de 2,5 dS m^{-1} promoveu um aumento significativo no teor foliar de Mg, atingindo $0,61 \text{ g kg}^{-1}$, o que representa um incremento de 19,67% em relação ao controle ($0,49 \text{ g kg}^{-1}$), enquanto a concentração de 1% de EP permaneceram estatisticamente semelhantes aos observados no tratamento controle, conforme ilustrado na Figura 6.

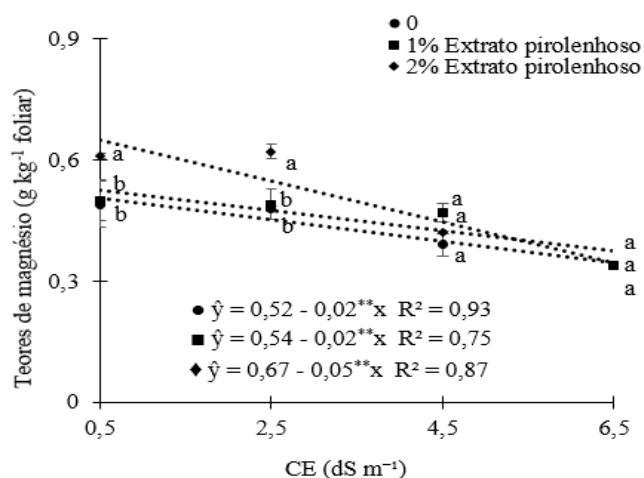


Figura 6. Teores de magnésio nos tecidos foliares de mudas de pitangueira submetidas à irrigação com água salina (CE 0,5; 2,5; 4,5 e 6,5 dS m⁻¹) e à aplicação de extrato pirolenhoso (0; 1% e 2%), avaliados 80 dias após o início dos tratamentos. *As mesmas letras não diferem para diferentes concentrações de extrato pirolenhoso dentro de cada nível de salinidade pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ** significativo ($p \leq 0,01$). As barras verticais representam o erro padrão ($n = 4$).

O acúmulo excessivo de sódio, pode causar danos às células foliares, como desorganização das membranas, inibição de processos metabólicos, redução da fotossíntese e absorção de nutrientes (Hualpa-Ramirez et al., 2024). El-Ezz et al. (2022), quando avaliaram os efeitos da salinidade da água em plantas de uva (*Vitis vinifera* L.), constataram que o teor de Mg nas folhas diminuiu significativamente com o aumento dos níveis de CE, corroborando assim com os resultados obtidos nesta pesquisa.

Com o aumento da salinidade de 2,5 para 6,5 dS m⁻¹, os teores médios foliares de (Na) aumentaram de 4,77 para 7,46 g kg⁻¹, enquanto os teores de Ca diminuíram de 4,19 para 2,70 g kg⁻¹, em comparação ao controle, que apresentaram valores de 3,53; 4,60 g kg⁻¹, respectivamente, conforme ilustrado na (Figura 7). Essas respostas são indicativas do desequilíbrio iônico causado pelo excesso de Na⁺ que prejudica o transporte, absorção e teor de Ca²⁺, fenômeno amplamente reconhecido em situações de estresse salino excessivo (Wang et al., 2023).

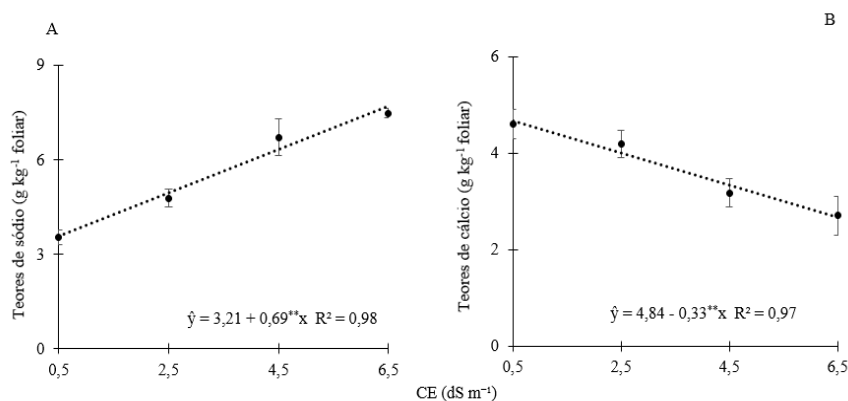


Figura 7. Teores de sódio (A) e cálcio (B) nos tecidos foliares de mudas de pitangueira submetidas à irrigação com água salina (CE 0,5; 2,5; 4,5 e 6,5 dS m⁻¹) e à aplicação de extrato pirolenhoso (0; 1% e 2%), avaliados 80 dias após o início dos tratamentos. *As mesmas letras não diferem para diferentes concentrações de extrato pirolenhoso dentro de cada nível de salinidade pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ** significativo ($p \leq 0,01$). As barras verticais representam o erro padrão ($n = 4$).

As plantas não conseguem se desenvolver e produzir de forma eficiente, isso porque o estresse salino prejudica a absorção de Ca, K e água nas células vegetais (Lindberg e Premkumar., 2023). O acúmulo de sódio nas partes aéreas ocorre, em grande parte, pela sua redistribuição interna via fluxo de transpiração, sendo transportado pelo xilema e se acumulando nas folhas (Sharmin et al., 2021).

De acordo com Sharbbir et al. (2022), o cálcio exerce um papel fundamental na sinalização celular e na mitigação do estresse salino em plantas, ao promover a ativação de mecanismos de defesa, tais como os sistemas antioxidantes, bem como ao favorecer o acúmulo de osmoprotetores.

Entretanto, conforme descrito por relato por Hualpa-Ramirez et al. (2024), em condições de elevada salinidade, a presença de concentrações tóxicas de íons de sódio (Na⁺) no citoplasma pode competir com o Ca²⁺ pelos sítios de ligação na membrana plasmática, comprometendo sua função.

Para a massa fresca da raiz (MFR), os tratamentos com CE de 0,5 e 2,5 dS m⁻¹ apresentaram as maiores médias, com 5,71 e 5,68 g por planta, respectivamente (Figura 8 A). Conforme Karlova et al., (2021), a plasticidade do sistema radicular, é um fator importante para o desenvolvimento e sobrevivência das plantas, pois permite ajustar sua arquitetura em condições adversas como seca e salinidade.

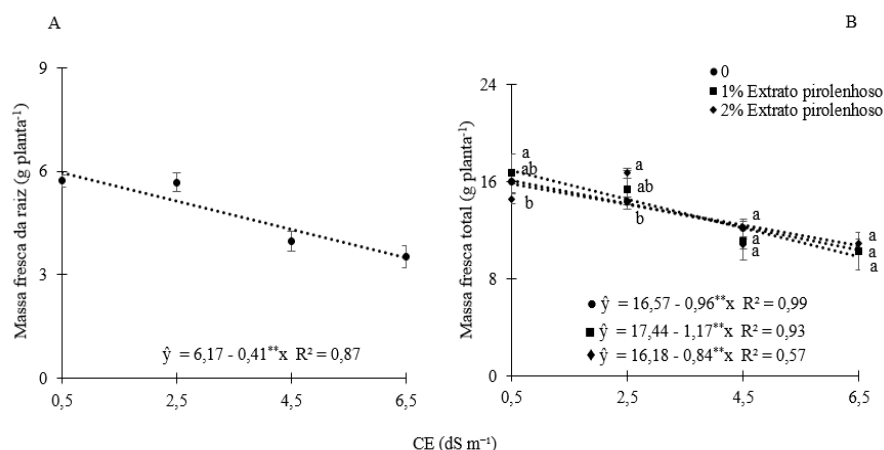


Figura 8. Massa fresca de raízes (A) e massa fresca total (B) de mudas de pitangueira submetidas à irrigação com água salina (CE 0,5; 2,5; 4,5 e 6,5 dS m⁻¹) e à aplicação de extrato pirolenhoso (0; 1 e 2%), avaliados 80 dias após o início dos tratamentos. *As mesmas letras não diferem para diferentes concentrações de extrato pirolenhoso dentro de cada nível de salinidade pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ** significativo ($p \leq 0,01$). As barras verticais representam o erro padrão ($n = 4$).

A aplicação de 1% e 2% de extrato pirolenhoso em mudas irrigadas com água de CE 2,5 dS m⁻¹ promoveu aumentos de 4,13% e 4,26%, respectivamente, na massa fresca total (MFT) (Figura 8B), em comparação ao controle (CE 0,5 dS m⁻¹). Esse resultado pode estar relacionado ao desenvolvimento radicular estimulado pela salinidade moderada, em combinação com maiores concentrações de extrato pirolenhoso, o que favorece o aumento da capacidade de absorção de água, nutrientes e rendimento da cultura, que são fatores essenciais para a produção de biomassa (Leifeld e Walz, 2025).

Resultados semelhantes foram observados por Yang et al. (2024), que relataram aumentos na altura e na espessura do caule em plantas de algodão (*Gossypium*) submetidas ao estresse salino e tratadas com vinagre de madeira, contribuindo significativamente para o incremento da biomassa.

5 CONCLUSÕES

A condutividade elétrica acima de $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ causou redução nos teores de potássio, magnésio e cálcio nos tecidos foliares, bem como na massa fresca da raiz e massa fresca total de mudas de pitangueira e aumentou o teor foliar de sódio independentemente da concentração utilizada do extrato.

Assim, o uso de água salina com condutividade elétrica de até $2,5 \text{ dS m}^{-1}$, aliado à aplicação de extrato pirolenhoso a 2%, mostrou-se eficiente na mitigação do estresse salino em mudas de pitangueira, favorecendo maior acúmulo de K, Mg e Ca nas folhas e incremento de biomassa.

De forma geral, o extrato pirolenhoso se apresenta como uma alternativa promissora para atenuar os efeitos negativos da salinidade no cultivo de pitangueiras, contribuindo para o desenvolvimento das plantas mesmo em condições de irrigação com água salina.

6. REFERÊNCIAS

- ABBASZADEH, N. et al. Investigation of the effects of biochar and wood vinegar on morpho-physiological traits of African marigold under salt stress. **Horticultural Plants Nutrition**, v.5, p.151-161, 2022.
- ACHARYA, B. R. et al. Strategies for combating plant salinity stress: the potential of plant growth-promoting microorganisms. **Frontiers in Plant Science**, v.15, p.1406913, 2024.
- AHMAD, R.; ANJUM M.A. Mineral Nutrition Management in Fruit Trees Under Salt Stress: A Review **Erwerbs-Obstbau**, v.65, p.397–405, 2023.
- AHMED, N. et al. The power of magnesium: unlocking the potential for increased yield, quality, and stress tolerance of horticultural crops. **Plant Science**, v. 14, 2023.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.711-728, 2013.
- ANCONATANI, L.M. et al. *Eugenia uniflora* L. In: Máthé, Á.; Bandoni, A. (eds). **Medicinal and Aromatic Plants of South America Vol. 2**. v.2, p.191–203, 2021.
- ARIF, Y. et al. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.156, p.64-77, 2020.
- ATTA, K. et al. Impacts of salinity stress on crop plants: improving salt tolerance through genetic and molecular dissection. **Frente Plant Sci**, v.14, e. 1241736, 2023.
- BALASUBRAMANIAM, T. et al. Plants' response mechanisms to salinity stress. **Plants**, v. 12, n. 12, p. 2253, 2023.
- BAYOMY, H. M. et al. Response of Moringa oleifera trees to salinity stress conditions in Tabuk region, Kingdom of Saudi Arabia. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 30, n. 10, p. 103810, 2023.
- BEZERRA, J. E.F.; LIRA JUNIOR, J. S., SILVA JUNIOR, J. F. *Eugenia uniflora* Pitanga. Beldroega. In: CORADIM, L.; CAMILLO, J.; PAREYN, F. G. C. (Orgs.). **Espécies Nativas da Flora Brasileira de Valor Econômico Atual ou Potencial: Plantas para o futuro: Região Nordeste**. 1 ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, v. 1, p. 262-269, 2018.
- CKETT, L. et al. Salt-Specific Gene Expression Reveals Elevated Auxin Levels in *Arabidopsis thaliana* Plants Grown Under Saline Conditions. **Frontiers in Plant Science**, v.13, p.804716, 2022.
- CÂNDIDO, N. R. et al. Extratos pirolenhosos de casca de coco, acácia negra e eucalipto: caracterização físico-química e avaliação in vitro como potenciais inibidores da urease. **Química Nova**, v.46, n.10, p.961-971, 2023.
- CARMO, C. D. S. et al. Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos. **Circular Técnica nº 6**, p.1-41, 2000.

CHE, Y. et al. Potassium alleviates over-reduction of the photosynthetic electron transport chain and helps to maintain photosynthetic function under salt-stress. **Physiologia plantarum**, v. 175, e. 13981, 2023.

CORRÊA M. C. et al. Response of guava to rates and placement of phosphate fertilizer. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, p.164-169, 2003.

CUI, J.; TCHERKEZ, G. Potassium dependency of enzymes in plant primary metabolism. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 166, p. 522 – 530, 2021.

DEMO, Addis Hailu et al. Impact of soil salinity, sodicity, and irrigation water salinity on crop production and coping mechanism in areas of dryland farming. **Agrosystems, Geosciences & Environment**, v. 8, n. 1, e.70072, 2025.

DIAS, N.S.; BLANCO, F.F.; SOUZA, E.R.; FERREIRA, J.F.S.; SOUSA NETO, O.N.; QUEIROZ, I.S.R. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. 12f. In: GHEYI, R. H.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. **INCTSal**. ISBN 978-85-420-0948-4. Fortaleza - CE, 2016.

El-Ezz, S. F.A. et al. A Comparison of the Effects of Several Foliar Forms of Magnesium Fertilization on ‘Superior Seedless’ (*Vitis vinifera* L.) in Saline Soils. **Coatings**, v.12, p.201, 2022.

ENGELA, M. R. G. da S. et al. Metabolic and physiological alterations indicate that the tropical broadleaf tree *Eugenia uniflora* L. is sensitive to ozone. **Science of The Total Environment**, v.769, p.145080, 2021.

FACKOVCOVÁ, Z. et al. Effects of wood distillate (pyroligneous acid) on sensitive bioindicators (lichen and moss). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.204, p.111117, 2020.

FERREIRA, A. D. S. et al. Pyroligneous acid extract as an attenuator of salt stress in Surinam cherry. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 29, n.2, e.291047, 2025.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects splitplot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v.37, p.529-535, 2019.

FIDELIS, M. et al. Pitanga (*Eugenia uniflora* L.) as a source of bioactive compounds for health benefits: A review. **Arabian Journal of Chemistry**, v.15, p.103691, 2022.

GIRARDI, L. B. et al. Evapotranspiration and crop coefficients of potted *Alstroemeria* × *Hybrida* grown in greenhouse. **Irriga**, v.21, p.817-829, 2016.

GOHARRIZI, K. J. et al. Physiological, biochemical, and metabolic responses of abiotic plant stress: salinity and drought. **Turkish Journal of Botany**, v.45, p.623-642, 2021.

GONÇALVES, J. et al. Estudo Comparativo das Propriedades Biológicas de Frutos e Folhas de *Eugenia uniflora* L. Relacionadas à Prevenção de Doenças Cardiovasculares. **Life**, v.15, n.2, p.147, 2025.

GUL, Z. 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.

HAMEED, A. et al. Effects of Salinity Stress on Chloroplast Structure and Function. **Cells**, v.10, n.8, p.2023, 2021.

HAO, Shanhu et al. A review on plant responses to salt stress and their mechanisms of salt resistance. **Horticulturae**, v. 7, n. 6, p. 132, 2021.

HUALPA- RAMIREZ, E. et al. Stress salinity in plants: New strategies to cope with in the foreseeable scenario. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.208, e. 108507, 2024.

JINDO, K. et al. Sustainable Plant Growth Promotion and Chemical Composition of Pyroligneous Acid When Applied with Biochar as a Soil Amendment. **Molecules**, v.27, n.11, p.3397, 2022.

JOSHI, S. et al. Ion transporters and their regulatory signal transduction mechanisms for salinity tolerance in plants. **Physiologia Plantarum**, v.174, n.4, p.13702, 2022.

KAUR, S. et al. Protective and defensive role of anthocyanins under plant abiotic and biotic stresses: An emerging application in sustainable agriculture. **Journal of Biotechnology**, v. 361, p. 12-29, 2023.

KUMAR, S. et al. Unravelling the multifarious role of wood vinegar made from waste biomass in plant growth promotion, biotic stress tolerance, and sustainable agriculture. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v.176, p.106851, 2025.

LEIFELD, J.; WALZ, I. Pyroligneous Acid Effects on Crop Yield and Soil Organic Matter in Agriculture—A Review. **Agronomy**, v.15, n.4, p.927, 2025.

LI, Z. et al. Progress and Prospect of Saline-Alkaline Soil Management Technology: A Review. **Applied sciences**, v. 15, e. 4567, 2025.

LIU, C.; JIANG, Xi.; YUAN, Z. Plant responses and adaptations to salt stress: a review. **Horticulturae**, v. 10, n. 11, p. 1221, 2024.

MAGALHÃES, C. G. et al. Phenolic compounds and biological potential of *Eugenia uniflora* L.: A short review. **Eclética Química**, v.50, e1589, 2025.

MALAVOLTA, E. et al. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS, v.2, p.319, 1997.

MINHAS, P. S. et al. Coping with salinity in irrigated agriculture: Crop evapotranspiration and water management issues. **Agricultural Water Management**, v. 227, p. 105832, 2020.

MIRSOLEIMANI, A. et al. Relationships between soil and plant nutrients of citrus - rootstocks as influenced by potassium and wood vinegar application. **Journal of Soils and Sediments**, v.23, p.1439–1450, 2023.

MISHRA, A. K. et al. Promising management strategies to improve crop sustainability and to amend soil salinity. **Front Environ Sci**, v. 10, 2022.

MONTEIRO, G. et al. Saccharomyces: Biotransformação do Suco de Pitanga pela Tannase de *Saccharomyces cerevisiae* CCMB 520. São Paulo, **IntechOpen**, 2021.

MOSTOFA, M. G. et al. Potassium in plant physiological adaptation to abiotic stresses. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 186, p. 279 – 289, 2022.

MUNEER, A. M. et al. Nutrient stress signals: Elucidating morphological, physiological, and molecular responses of fruit trees to macronutrients deficiency and their management strategies. **Scientia Horticulturae**, v.329, e. 112985, 2024.

NAJAFI-GHIRI, M. et al. Influence of wood Vinegar and Potassium Application on Soil Properties and Ca/K Ratio in citrus Roostocks. **J Soil Sci Plant Nutr**, v.22, p. 334-344, 2022.

NOFAL, et al. Growth and Quality of Brazilian Cherry (*Eugenia uniflora* L.) Ornamental Shrubs under Salinized Irrigation Water with Natural Siwa Halite. **Egyptian Journal of Soil Science**, v.64, n.3, p.777–789, 2024.

OFOE, R. et al. Effect of Pyroligneous Acid on the Productivity and Nutritional Quality of Greenhouse Tomato. **Plants**, v.11, n.13, p.1650, 2022.

OKON, O. G. et al. Effect of Salinity on Physiological Processes in Plants. **Microorganisms in Saline Environments: Strategies and Functions**, v.56, p. 237-262, 2019.

OLIVEIRA, C. J. A. et al. Saline stress and salicylic acid on growth and quality of guava'paluma'seedlings. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.18, n.1, 2023.

OUATTARA, H. A. A. et al. Vinagres de Madeira: Processos de Produção, Propriedades e Valorização. **Forest Products Journal**, v.73, n.3, p.239–249, 2023.

PODAR, D.; MAATHIUS, F. J. M. et al. Primary nutrient sensors in plants. **iScience**, v.25, e.104029, 2022.

POOJA, P. et al. Role played by arbuscular mycorrhizal fungi in amelioration of salinity stress: a review. **Plant and Soil**, p. 1-16, 2024.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora Unesp, 2021. 719 p.

RAZA, A. et al. Smart reprogramming of plants against salinity stress using modern biotechnological tools. **Critical Reviews in Biotechnology**, v.43, n.7, p.1035–1062, 2022.

RICHARD, L. A. *Diagnóstico e melhoramento de solos salinos e alcalinos*. Washington, DC: Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, 1954. (Manual Agrícola, n. 60).

SANTOS, M. W. N. D. et al. Morphophysiology of yellow passion-fruit seedlings cultivated with macrophyte (*Eichhornia Crassipes*) under salt stress. **Revista Ambiente & Água**, v. 20, e.3012, 2025.

SANTOS, P. N. A. et al. Optimization of Energized Dispersive Guided Extraction (EDGE) of Antioxidants from *Eugenia uniflora* L. (Pitanga) Leaves Using Response Surface Methodology. **Microchemical Journal**, v.187, p.108411, 2023.

SCHNITZER, J. A. et al. Pyroligneous extract doses in orchids culture. **Ceres**, v.62, p.1, 2015.

- SHABBIR, R. et al. Calcium homeostasis and potential roles to combat environmental stresses in plants. **South African Journal of Botany**, v.148, p.683–693, 2022.
- SHAMS, M.; KHADIVI, A. Mechanisms of salinity tolerance and their possible application in the breeding of vegetables. **BMC Plant Biol** v.23, p.139, 2023.
- SHARMIN, S. et al. The influence of transpiration on foliar accumulation of salt and nutrients under salinity in poplar (*Populus × canescens*). **PLOS One**, v.16, n.6, p.e0253228, 2021.
- SILVA, S. M. Pitanga. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n. 1, 2006.
- SILVA, S. P. et al. Determinação de polifenóis totais e flavonoides em *Eugenia uniflora* L. (pitanga): fruto in natura, polpa congelada e geleia. **Brazilian Journal of Health Review**, v.4, n.6, p.28471–28483, 2021.
- SILVA, S. T. de A. et al. Use of Proline to Induce Salt Stress Tolerance in Guava. **Plants**, v.13, p. 1887, 2024.
- SINGH, P. et al. Salt stress resilience in plants mediated through osmolyte accumulation and its crosstalk mechanism with phytohormones. **Frontiers in Plant Science**, v.13, p.1006617, 2022.
- SIVARAM, A. K. et al. Effect of Pyroligneous Acid on the Microbial Community Composition and Plant Growth-Promoting Bacteria (PGPB) in Soils. *Soil Systems*, v.6, e.1, 2022.
- SOUSA, V. F. de O. et al. Salinity-tolerant dwarf cashew rootstock has better ionic homeostasis and morphophysiological performance of seedlings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 2, p. 92-100, 2022.
- SOUTO, A. G. et al. Salinity and mulching effects on nutrition and production of grafted sour passion fruit. **Plants**, v. 12, n. 5, p. 1035, 2023.
- TEIXEIRAA, P. C. et al. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p.573, 2017.
- TESSARO, L. et al. Gelatin and/or chitosan-based films activated with “Pitanga” (*Eugenia uniflora* L.) leaf hydroethanolic extract encapsulated in double emulsion. **Food Hydrocolloids**, v.107, p.106523, 2021.
- TEWARI, R. K. et al. Oxidative Stress Under Macronutrient Deficiency in Plants. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.21, p. 832- 859, 2021.
- TIAN, X. Y. et al. Physiological and molecular advances in magnesium nutrition of plants. **Plant and Soil**, v. 468, n. 1, p. 1-17, 2021.
- UFERSA - Universidade Federal Rural do Rio Grande do Norte. Estações Meteorológicas Automáticas (EMA). 2023. Available on: < <https://siemu.ufersa.edu.br/hobolink/mossoro> >. Acesso em: Abr. 2025.

VIEIRA, W. R. et al. Evaluation of the use of pyroligneous extract obtained from vacuum pyrolysis of residual biomass for onychomycosis treatment. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v.41, p.1177–1192, 2024.

WANG, L. et al. The interaction of nutrient uptake with biotic and abiotic stresses in plants. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 67, n. 3, p. 455-487, 2025.

YANG, L. et al. Effect of Combined Application of Wood Vinegar Solution and Biochar on Saline Soil Properties and Cotton Stress Tolerance. **Plants**, v.13, n.17, p.2427, 2024.

YU, W. et al. Function and application of calcium in plant growth and development. **Acta Agronomica Sinica**, v. 50, e.4, p. 793 – 807, 2024.

ZHAO, C. et al. Mechanisms of plant responses and adaptation to soil salinity. **The Innovation**, v.1, n.1, p.100017, 2020.

ZHU, K. et al. Wood vinegar as a complex growth regulator promotes the growth, yield, and quality of rapeseed. **Agronomy**, v.11, p.510, 2021.