

Jader Silveira (Org.)

CIÊNCIAS AGRÁRIAS

*Tecnologias
e Revolução
no Campo*



uniatual
EDITORIA

Jader Silveira (Org.)

CIÊNCIAS AGRÁRIAS

*Tecnologias
e Revolução
no Campo*



uniatual
EDITORIA

© 2025 – Uniatual Editora

www.uniatual.com.br

universidadeatual@gmail.com

Organizador

Jader Luís da Silveira

Editor Chefe: Jader Luís da Silveira

Editoração e Arte: Resiane Paula da Silveira

Capa: Freepik/Uniatual

Revisão: Respectivos autores dos artigos

Conselho Editorial

Ma. Heloisa Alves Braga, Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais, SEE-MG

Me. Ricardo Ferreira de Sousa, Universidade Federal do Tocantins, UFT

Me. Guilherme de Andrade Ruela, Universidade Federal de Juiz de Fora, UFJF

Esp. Ricael Spirandeli Rocha, Instituto Federal Minas Gerais, IFMG

Ma. Luana Ferreira dos Santos, Universidade Estadual de Santa Cruz, UESC

Ma. Ana Paula Cota Moreira, Fundação Comunitária Educacional e Cultural de João Monlevade, FUNCEC

Me. Camilla Mariane Menezes Souza, Universidade Federal do Paraná, UFPR

Ma. Jocilene dos Santos Pereira, Universidade Estadual de Santa Cruz, UESC

Ma. Tatiany Michelle Gonçalves da Silva, Secretaria de Estado do Distrito Federal, SEE-DF

Dra. Haiany Aparecida Ferreira, Universidade Federal de Lavras, UFLA

Me. Arthur Lima de Oliveira, Fundação Centro de Ciências e Educação Superior à Distância do Estado do RJ, CECIERJ

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Ciências Agrárias: Tecnologias e Revolução no Campo - Volume 1
S587c / Jader Luís da Silveira (organizador). – Formiga (MG): Uniatual Editora, 2025. 197 p.: il.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-86013-91-7
DOI: 10.5281/zenodo.15799951

1. Ciências Agrárias. 2. Agronomia geral. 3. Multidisciplinar e Interdisciplinar. I. Silveira, Jader Luís da. II. Título.

CDD: 630.7
CDU: 631/63

Os artigos, seus conteúdos, textos e contextos que participam da presente obra apresentam responsabilidade de seus autores.

Downloads podem ser feitos com créditos aos autores. São proibidas as modificações e os fins comerciais.

Proibido plágio e todas as formas de cópias.

Uniatual Editora
CNPJ: 35.335.163/0001-00
Telefone: +55 (37) 99855-6001
www.uniatual.com.br
universidadeatual@gmail.com
Formiga - MG
Catálogo Geral: <https://editoras.grupomultiatual.com.br/>

Acesse a obra originalmente publicada em:
<https://www.uniatual.com.br/2025/07/ciencias-agrarias-tecnologias-e.html>



AUTORES

**Andreia do Nascimento Lima
Anna Rebeca Silva Nóbrega Montenegro
Dalcione Lima Marinho
Débora Sterfanny Andrade de Lima
Djavan Pinheiro Santos
Eudinete Ribeiro de Sousa
Gessica Caitano de Almeida
Giovanna Ellen Soares Correia
Isabelly Marcela Araújo Pequeno
João Carlos Rocha dos Anjos
João Pedro de Andrade Paiva
Joelson Souza Isidro dos Santos
Jordânia Medeiros Soares
José Gil dos Anjos Neto
Luana Maria Alves da Silva
Luciano Marcelo Fallé Saboya
Maria Sallydelândia de Farias Araújo
Mateus Pereira de Macêdo
Mayra Gislayne Melo de Lima
Pedro Ivo Silva da Nóbrega
Regiana dos Santos Moura
Rezanio Martins Carvalho
Risoneide de Cássia Zeferino Silva**

APRESENTAÇÃO

É com imenso apreço e elevada consideração pelo saber científico que apresentamos ao público leitor a obra *Ciências Agrárias: Tecnologias e Revolução no Campo*, resultado de um esforço coletivo e interdisciplinar que visa lançar luz sobre as profundas transformações que vêm moldando o cenário rural nas últimas décadas. Esta obra, rica em conteúdo e fundamentada em rigorosa pesquisa acadêmica, se propõe a discutir, com profundidade e senso crítico, a intrincada relação entre ciência, tecnologia e o desenvolvimento agrário, abordando os múltiplos impactos da inovação no campo – sejam eles econômicos, sociais, ambientais ou culturais.

A agricultura, em seu sentido mais amplo, jamais foi uma atividade estática. Desde os primeiros cultivos nas margens férteis dos grandes rios até as mais modernas lavouras geridas por sistemas de inteligência artificial, o fazer agrícola sempre esteve atrelado ao progresso humano. Contudo, nunca antes na história da humanidade se testemunhou uma aceleração tão vertiginosa e disruptiva nos processos produtivos rurais quanto aquela observada no século XXI. Nesse contexto, esta obra se insere como contribuição indispensável ao debate contemporâneo, ao apresentar uma visão sistêmica e aprofundada sobre os avanços tecnológicos que vêm impulsionando uma verdadeira revolução no campo – revolução esta que transcende os limites da produtividade e se desdobra em novos paradigmas de sustentabilidade, gestão de recursos e soberania alimentar.

Ao longo de seus capítulos, o leitor encontrará discussões que envolvem a adoção da agricultura de precisão, os impactos da biotecnologia e da genética vegetal e animal, a gestão racional dos recursos hídricos e edáficos, a mecanização agrícola com suporte de tecnologias digitais, além de reflexões sobre políticas públicas, extensão rural e os desafios da inclusão social no campo tecnológico. A proposta é, portanto, não apenas descrever as inovações, mas também problematizá-las à luz das realidades locais e globais, considerando os distintos contextos socioeconômicos que compõem o tecido agrário nacional e internacional. A obra também se debruça sobre a necessidade de formação continuada dos profissionais da área, destacando o papel das universidades,

institutos de pesquisa e centros de inovação como agentes fundamentais na promoção de um desenvolvimento rural equilibrado, ético e resiliente.

Este livro destina-se a um amplo espectro de leitores: estudantes, pesquisadores, docentes, técnicos, agricultores, formuladores de políticas públicas e todos aqueles que, de alguma maneira, se interessam pelos rumos da agricultura contemporânea. Sua leitura proporcionará não apenas o conhecimento técnico e científico necessário para a compreensão do atual estágio das ciências agrárias, mas também uma reflexão crítica sobre o papel da tecnologia como ferramenta de transformação social. Que esta obra sirva de inspiração e guia para aqueles que acreditam no poder da ciência como instrumento de progresso e justiça, e que veem no campo não apenas um espaço de produção, mas um território vivo, pulsante e fundamental para a construção de um futuro mais sustentável e solidário.

Boa leitura!

SUMÁRIO

Capítulo 1 CENÁRIO ATUAL DO CANAL DE BODOCONGÓ DENTRO DO CAMPUS SEDE DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE <i>Isabely Marcela Araújo Pequeno; Maria Sallydelândia de Farias Araújo; Mateus Pereira de Macêdo; Anna Rebeca Silva Nóbrega Montenegro; Luciano Marcelo Fallé Saboya; Débora Sterfanny Andrade de Lima; Pedro Ivo Silva da Nóbrega</i>	09
Capítulo 2 VARIABILIDADE TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA E DAS CONDIÇÕES ESTRUTURAIS DE UM CANAL NA UFCG <i>Anna Rebeca Silva Nóbrega; Maria Sallydelândia de Farias Araújo; Mayra Gislayne Melo de Lima; Pedro Ivo Silva da Nóbrega</i>	30
Capítulo 3 DEGRADAÇÃO DO SOLO: ESTUDO DE CASO DE UMA PROPRIEDADE RURAL NO MUNICÍPIO DE SOLEDADE, PARAÍBA <i>Isabely Marcela Araújo Pequeno; Maria Sallydelândia de Farias Araújo; Mateus Pereira de Macêdo; Anna Rebeca Silva Nóbrega Montenegro; Luciano Marcelo Fallé Saboya</i>	43
Capítulo 4 TECNOLOGIAS PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE MARACUJAZEIRO: DA SEMENTE AO TRANSPLANTIO <i>Regiana dos Santos Moura; Rezanio Martins Carvalho; José Gil dos Anjos Neto; Risoneide de Cássia Zeferino Silva; João Carlos Rocha dos Anjos; Luana Maria Alves da Silva; Eudinete Ribeiro de Sousa; Jordânia Medeiros Soares; Djavan Pinheiro Santos</i>	64
Capítulo 5 INFLUÊNCIA DA PULVERIZAÇÃO DE CAULIM NO DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO DA BETERRABA <i>Giovanna Ellen Soares Correia; Maria Sallydelândia de Farias Araújo; Mayra Gislayne Melo de Lima; Anna Rebeca Silva Nóbrega; Joelson Souza Isidro dos Santos; João Pedro de Andrade Paiva</i>	92
Capítulo 6 REVISÃO SOBRE A TOLERÂNCIA À SALINIDADE EM ESPÉCIES DE MARACUJÁ: PRODUÇÃO DE MUDAS E ESTRATÉGIAS DE ADAPTAÇÃO <i>Regiana dos Santos Moura; Rezanio Martins Carvalho; João Carlos Rocha dos Anjos; José Gil dos Anjos Neto; Risoneide de Cássia Zeferino Silva; Luana Maria Alves da Silva; Eudinete Ribeiro de Sousa; Jordânia Medeiros Soares; Djavan Pinheiro Santos</i>	111
Capítulo 7 AVALIAÇÃO EX-ANTE NA ELABORAÇÃO DO POLÍTICA NACIONAL DE AGROECOLOGIA E PRODUÇÃO ORGÂNICA <i>Dalcione Lima Marinho; Andreia do Nascimento Lima; Gessica Caitano de Almeida</i>	148
Capítulo 8 DIAGNOSE VISUAL E REDUÇÃO DE BIOMASSA EM OCIMUM BASILICUM L. SOB OMISSÃO DE MACRONUTRIENTES E MICRONUTRIENTES <i>Regiana dos Santos Moura; Jordânia Medeiros Soares; Rezanio Martins Carvalho; Eudinete Ribeiro de Sousa; João Carlos Rocha dos Anjos; José Gil dos Anjos Neto; Risoneide de Cássia Zeferino Silva; Luana Maria Alves da Silva; Djavan Pinheiro Santos</i>	174



Capítulo 1

CENÁRIO ATUAL DO CANAL DE BODOCONGÓ DENTRO DO CAMPUS SEDE DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

Isabelly Marcela Araújo Pequeno

Maria Sallydelândia de Farias Araújo

Mateus Pereira de Macêdo

Anna Rebeca Silva Nóbrega Montenegro

Luciano Marcelo Fallé Saboya

Débora Sterfanny Andrade de Lima

Pedro Ivo Silva da Nóbrega

**CENÁRIO ATUAL DO CANAL DE BODOCONGÓ DENTRO DO CAMPUS
SEDE DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**

Isabelly Marcela Araújo Pequeno

*Graduanda do curso de Engenharia Agrícola, UFCG. Email:
marcelaisabelly09@gmail.com*

Maria Sallydelândia de Farias Araújo

*Docente da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG; Doutora em Engenharia Agrícola. Email:
sallydelandia@gmail.com*

Mateus Pereira de Macêdo

*Graduado em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG.
Email: mpmacedo1998@gmail.com*

Anna Rebeca Silva Nóbrega Montenegro

*Doutoranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG;
Mestre em Engenharia Agrícola. Email: anna.rebsil@gmail.com*

Luciano Marcelo Fallé Saboya

*Docente da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG; Doutor em Engenharia Agrícola. , UFCG. Email:
luciano.marcelo@tecnico.ufcg.edu.br*

Débora Sterfanny Andrade de Lima

*Graduanda em Engenheira Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.
Email: deboralimaa06@gmail.com.*

Pedro Ivo Silva da Nóbrega

Doutorando em Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS;

Mestre em Administração, UFCG. Email: pedroivo049@gmail.com.

RESUMO

O diagnóstico ambiental urbano é essencial para identificar problemas como poluição hídrica, descarte inadequado de lixo, desmatamento e falta de saneamento. Com essas informações, é possível planejar ações eficazes para um manejo urbano sustentável, como criação de políticas públicas, desenvolvimento de projetos de infraestrutura verde e promoção da educação ambiental. Este estudo apresenta os resultados do diagnóstico ambiental realizado no canal que passa no interior do Campus Sede da Universidade Federal de Campina Grande, integrando avaliação in loco e análises laboratoriais de qualidade de água, mediante 3 amostras de água coletadas no córrego de Bodocongó, no ponto geográfico 07°15'18" S, 35°52'28" W. Mediante análise físico-química, a água foi enquadrada como C3S1, condutividade elétrica média de 1,24 dS·m⁻¹, classificada com alta salinidade, e RAS de 2,83, apresentando baixo risco de sodificação, indicando restrições para irrigação em solos mal drenados. Contudo, a contaminação microbiológica por Coliformes Totais e Escherichia coli ($>1,01 \times 10^3$ NMP/100 mL) e metais pesados – especialmente chumbo (0,327 mg/L) e cádmio (0,031 mg/L) – representa o maior risco ambiental e sanitário. O diagnóstico identificou quatro fatores de degradação: (1) lançamento de efluentes domésticos e industriais não tratados, (2) acúmulo crônico de resíduos sólidos, (3) assoreamento progressivo, e (4) ocupação irregular das áreas de preservação permanente. Como medidas urgentes, recomenda-se: (1) interdição do uso direto da água, (2) implantação de sistema de monitoramento mensal, e (3) recuperação da mata ciliar com espécies nativas. Os resultados destacam a necessidade de políticas institucionais alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 6 e 11, incluindo educação ambiental e integração entre pesquisa acadêmica e gestão pública. O estudo evidencia a dualidade do canal como problema ambiental e oportunidade para desenvolvimento de tecnologias locais de tratamento de água, servindo de modelo para outros corpos hídricos urbanos no semiárido.

Palavras-chave: Qualidade de água, poluição de mananciais, reuso de água, metais pesados.

ABSTRACT

Urban environmental diagnosis is essential to identify problems such as water pollution, improper waste disposal, deforestation, and lack of sanitation. With this information, it is possible to plan effective actions for sustainable urban management, such as creating public policies, developing green infrastructure projects, and promoting environmental education. This study presents the results of the environmental

diagnosis conducted in the canal that runs through the Main Campus of the Federal University of Campina Grande, integrating on-site assessments and laboratory analyses of water quality. Three water samples were taken from the Bodocongó stream, at the geographic point 07°15'18" S, 35°52'28" W. Through physical-chemical analysis, the water was classified as C3S1, with an average electrical conductivity of 1.24 dS m⁻¹, classified as high salinity, and RAS of 2.83, presenting a low risk of sodification, indicating restrictions for irrigation in poorly drained soils. However, microbiological contamination by Total Coliforms and Escherichia coli ($>1.01 \times 10^3$ NMP/100 mL) and heavy metals – especially lead (0.327 mg/L) and cadmium (0.031 mg/L) – represents the greatest environmental and health risk. The diagnosis identified four degradation factors: (1) discharge of untreated domestic and industrial effluents, (2) chronic accumulation of solid waste, (3) progressive silting, and (4) irregular occupation of permanent preservation areas. As urgent measures, the following are recommended: (1) prohibition of direct use of water, (2) implementation of a monthly monitoring system, and (3) recovery of riparian forests with native species. The results highlight the need for institutional policies aligned with Sustainable Development Goals 6 and 11, including environmental education and integration between academic research and public management. The study highlights the duality of the canal as an environmental problem and an opportunity for the development of local water treatment technologies, serving as a model for other urban water bodies in the semi-arid region.

Keywords: Water quality, water source pollution, water reuse, heavy metals.

INTRODUÇÃO

A poluição de recursos hídricos é um desafio mundial, com mais de 80% das águas residuais urbanas sendo lançadas sem tratamento adequado nos corpos hídricos, agravando riscos ambientais e à saúde pública (WHO, 2023). Metais pesados, como chumbo e cádmio, além de patógenos, afetam bilhões de pessoas, comprometendo ecossistemas e violando o direito humano à água segura (WHO, 2022). Em regiões em desenvolvimento, o crescimento urbano acelerado intensifica esses problemas, já que a infraestrutura de saneamento não acompanha a demanda populacional (UNEP, 2023).

No Brasil, 50% dos rios urbanos estão altamente poluídos por esgotos domésticos e industriais, sendo o Nordeste uma das regiões mais afetadas devido à escassez hídrica e à má gestão de recursos (ANA, 2023). No semiárido, que abriga cerca de 28 milhões de pessoas, a combinação de secas recorrentes e contaminação de rios, como o Bodocongó (Bacia do Paraíba), reflete falhas históricas no tratamento de efluentes (Mello et al., 2022).

Em Campina Grande, os corpos hídricos urbanos enfrentam quatro ameaças principais: (1) lançamento de esgoto não tratado (cerca de 60% dos efluentes da cidade, segundo Proença et al., 2021), (2) contaminação por metais pesados de origem industrial, (3) acúmulo de resíduos sólidos e (4) degradação das matas ciliares.

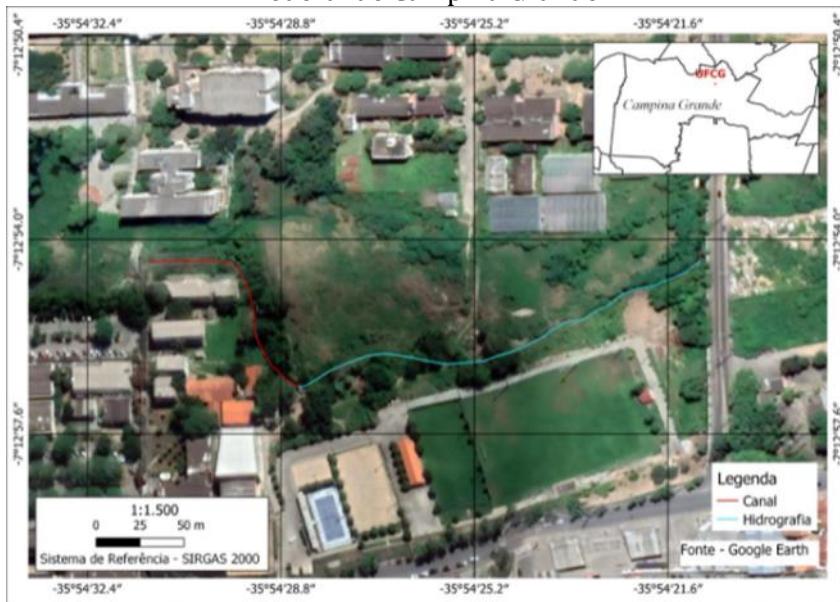
Apesar dos esforços globais em monitoramento e estratégias de reuso (UNESCO, 2023), faltam estudos locais que integrem diagnósticos de campo com análises laboratoriais detalhadas, como espectrometria de massas com ICP-MS, para canais urbanos no semiárido, dificultando a criação de políticas públicas eficientes (Souza et al., 2024).

Diante disso, este trabalho visa avaliar a qualidade da água do canal da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG – por meio de análises físico-químicas e microbiológicas, além da quantificação de metais pesados (chumbo, cádmio e cobre) e propor medidas de mitigação alinhadas ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 (água potável). Além disso, objetiva-se identificar pontos de degradação ambiental na região imediata da estrutura do canal que percorre o interior da UFCG. Ao combinar dados empíricos com soluções aplicáveis, o estudo busca propor a transformação de corpos hídricos degradados em modelos de resiliência para o semiárido urbano.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida nas dependências do Campus Sede da Universidade Federal de Campina Grande, localizado no município de Campina Grande, Paraíba, situado pelas coordenadas geográficas de 07°15'18" S, 35°52'28" W e altitude média de 550 m. No interior do campus, a área de estudo foi delimitada ao entorno do canal, no qual drena o canal do açude de Bodocongó (Figura 1).

Figura 1. Delimitação do curso do canal que drena no interior do Campus Sede da Universidade Federal de Campina Grande.



Para o desenvolvimento dessa pesquisa utilizou-se da combinação de abordagens qualitativas e quantitativas. Quanto aos objetivos da pesquisa, são abordados pela tipologia exploratória, identificando os principais fatores e problemas que afetam a qualidade da água e o ambiente local; e pela tipologia descritiva, descrevendo a qualidade da água a partir dos parâmetros físicos, químicos e biológicos, além de mapear a degradação ambiental do local em estudo. Para isso, utilizou-se das técnicas e instrumentos de pesquisa dos tipos: campo, a partir da coleta de dados no próprio ambiente do estudo, obtendo informações contextuais e compreendendo o fenômeno em seu ambiente real; e experimental, estabelecendo relações de causa e efeito a partir de variáveis (Soares et al., 2023).

Durante o período de estudo, foram executadas diversas atividades de campo e laboratoriais, abordando as etapas de visitas in loco para a realização do diagnóstico ambiental, coleta e transporte de amostras de água para análise nos laboratórios. O propósito dessa pesquisa de campo foi avaliar a qualidade de água com fim para irrigação e as condições atuais, quanto aos aspectos estruturais e ambientais, do canal.

O canal do açude de Bocodongó que drena no interior da UFCG foi definido como objeto de estudo, com foco no córrego próximo as casas de vegetação pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA/CTRNUFCG), com coordenadas $7^{\circ}12'56.1''$ Sul e $35^{\circ}54'25.5''$ Oeste (Figura 2), sendo este o ponto onde foram realizadas as coletas para a posterior caracterização da água.

Figura 2. Localização do ponto de coleta de água do córrego situado no Campus Sede da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).



Fonte: Google Earth (2025).

Para a caracterização da qualidade de água, três amostras foram coletadas e, posteriormente, analisadas, durante 3 meses sequenciais, fevereiro, março e abril de 2025, a fim de avaliar a qualidade da água em estudo. Os procedimentos de coleta e transporte das amostras de água foram realizados de acordo com o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (Brandão, 2011).

As análises físico-químicas das amostras de água foram realizadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS), pertencente ao Campus Sede da UFCG, com avaliação dos seguintes parâmetros: pH, Condutividade Elétrica (CE), Cálcio, Magnésio, Sódio, Potássio, Carbonatos, Cloretos, Sulfatos e a Relação de Adsorção de Sódio (RAS). Além disso, no Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES), também pertencente ao Campus Sede da UFCG, foram analisados os parâmetros microbiológicos referentes à presença e à quantidade de Coliformes Totais e *Escherichia coli*, além da análise dos seguintes metais pesados: cobre (Cu^{2+}), cádmio (Cd^{2+}) e chumbo (Pb^{2+}), utilizando o Método 3113 B (*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 24^a edição), com limites mínimos de detecção de 0,001 mg/L para todos os metais analisados.

Para classificação da qualidade da água do canal durante o período em análise, foram obtidos valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros analisados, os quais foram discutidos de acordo com os estudos de Ayres e Westcot (1985), Richards (1954), além da Resolução do CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

O diagnóstico ambiental do canal urbano no Campus Sede da UFCG foi realizado mediante uma abordagem metodológica integrada, seguindo dois eixos complementares de investigação. Primeiramente, foram conduzidas observações de campo sistemáticas conforme protocolos adaptados de Costa et al. (2021), registro fotográfico (Souza & Almeida, 2020) e identificação de fontes poluidoras visíveis (metodologia CETESB, 2022). Complementando estas abordagens, aplicaram-se ferramentas técnicas especializadas, incluindo análises laboratoriais de água segundo *Standard Methods* (APHA, 2022) e espectrometria de massa (ICP-MS) para detecção de metais pesados (método EPA 6020B).

Foram coletados dados primários por meio de inspeções visuais sistemáticas e registros fotográficos da área de estudo, que permitiram a identificação de pontos críticos, como lançamento de efluentes, acúmulo de resíduos sólidos, presença de vegetação espontânea e sinais de assoreamento. Essas observações foram complementadas com a análise de dados secundários disponíveis em documentos técnicos, licenças ambientais e planos municipais, conforme preconizado por Pinto et al. (2022), que destacam a importância dessas fontes para um diagnóstico confiável em áreas urbanas.

Uma das principais ferramentas adotadas na análise foi o método VERAH (*Vulnerability Exploration for Aquatic Habitats*) para avaliação integrada de vulnerabilidade em corpos hídricos urbanos, que avalia cinco categorias ambientais: Vegetação, Erosão, Resíduos, Água/Assoreamento e Habitação. Desenvolvido para contextos urbanos, o método VERAH permite uma leitura rápida e objetiva da degradação ambiental com base em parâmetros visuais e qualitativos (Souza et al., 2023). Esse método foi aplicado em diferentes pontos do canal, permitindo a comparação entre trechos mais e menos impactados, conforme metodologia utilizada por Souza et al. (2023) no município de São Raimundo Nonato – PI.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 observa-se as condições atuais do entorno do canal urbano, evidenciando a degradação ambiental da área, com presença de vegetação invasora, obstruções estruturais e sinais de assoreamento, que comprometem a funcionalidade do sistema de drenagem e a qualidade ambiental do local.

Figura 3. Canal urbano de drenagem pluvial que percorre o interior da Universidade Federal de Campina Grande. Trecho do canal com vegetação herbácea predominante (a); ponte sobre o canal com presença de vegetação na estrutura de concreto (b); (c) Acúmulo de água com sinais de poluição e presença de vegetação invasora nas margens (c); visão geral de trecho canalizado com expressivo crescimento de vegetação (d).



A Figura 3(a) mostra a presença de vegetação nas proximidades do canal. Áreas como essa são importantes para a recarga hídrica e o controle de enxurradas, mas requerem ações de conservação e requalificação paisagística para manter sua funcionalidade ecológica (Furrer et al., 2023). Na Figura 3(b), observa-se o canal de concreto com vegetação presente nas bordas e em rachaduras da estrutura. A presença dessa vegetação em estruturas de drenagem urbana aponta para a falta de manutenção e potencial comprometimento da capacidade de escoamento do canal (Carneiro et al., 2022).

A Figura 3(c) evidencia acúmulo de água escura, possivelmente contaminada por esgoto doméstico, além de presença de vegetação invasora nas margens. Há indícios de poluição orgânica, como biofilme e espuma, o que reforça a hipótese de lançamento clandestino de efluentes sem tratamento. Essa situação compromete a qualidade da água e oferece riscos à saúde pública, favorecendo ainda a proliferação de vetores e a eutrofização (ANA, 2023; IBGE, 2023). A Figura 3(d) mostra o canal parcialmente obstruído por vegetação densa, o que reduz sua seção útil e pode causar alagamentos

durante chuvas intensas. A gestão sustentável de áreas como essa é fundamental para prevenir riscos e melhorar a qualidade ambiental urbana.

A Figura 4 apresenta diferentes trechos de uma área urbana com vegetação espontânea e evidências de interferência antrópica. Essas imagens ilustram a complexidade do ambiente urbano e a importância do manejo adequado dessas áreas para a conservação ambiental e prevenção de problemas.

Figura 4. Trechos de canal urbano presente no interior do campus sede da Universidade Federal de Campina Grande. Presença de vegetação invasora e acúmulo de resíduos sólidos nas margens (a) e (b); área adjacente ao canal com vegetação esparsa e solo exposto (c); parte do canal parcialmente obstruída por vegetação densa e árvores (d).



Na Figura 4(a) observa-se uma cobertura herbácea densa, composta por gramíneas e plantas invasoras como *Ricinus communis* e *Ipomoea spp.*, típicas de ambientes antropizados e solos empobrecidos. Embora a presença vegetal possa exercer papel positivo na retenção de solo e infiltração de água, sua composição predominante de espécies invasoras revela desequilíbrio ecológico e ausência de planejamento paisagístico adequado (Carneiro et al., 2022).

A Figura 4(b) mostra acúmulo de lixo e resíduos sólidos entre a vegetação, o que indica um possível descarte irregular. A presença de materiais como plásticos, papéis e restos vegetais em decomposição contribui para a obstrução da drenagem, proliferação de vetores e poluição difusa. Esse cenário reforça a importância de políticas públicas de

educação ambiental e fiscalização, além de implantação de infraestrutura verde para contenção e coleta desses resíduos (Furrer et al., 2023; IBGE, 2023).

Na Figura 4(c) verifica-se o solo exposto e arenoso com vegetação rala, composta por espécies espontâneas adaptadas à degradação. A presença do campus universitário ao fundo evidencia a oportunidade de uso dessa área para fins de educação ambiental e projetos de recuperação paisagística com espécies nativas (Santos et al., 2021). Por fim, a Figura 4(d) mostra o canal com grande volume de vegetação nas margens e a presença de um fluxo de água aparentemente poluído (coloração escura), sugerindo lançamento de efluentes industriais ou domésticos. A vegetação arbustiva encobrindo essa parte do canal pode dificultar inspeções e manutenções, além de favorecer a proliferação de animais peçonhentos.

A Figura 5 mostra pontos de uma área no campus sede da UFCG com vegetação espontânea e um canal de escoamento parcialmente encoberto. Observam-se resíduos orgânicos, indícios de contaminação da água e obstruções causadas pelo crescimento desordenado da vegetação.

Figura 5. Situação do canal urbano presente no campus sede da Universidade Federal de Campina Grande com vegetação densa e sinais de obstrução. (a) Vista geral do canal com acúmulo de vegetação nas margens; (b) áreas adjacentes tomadas por plantas invasoras e resíduos orgânicos; (c) canal parcialmente encoberto por vegetação; (d) parte do canal obstruído por vegetação alta.



Na Figura 5(a), observa-se a água de coloração escura, indicando possível lançamento de esgoto doméstico ou efluentes não tratados. A vegetação presente é composta por espécies herbáceas e invasoras, que não cumprem adequadamente a função ecológica de uma mata ciliar nativa. A ausência de uma faixa vegetada estruturada nas margens compromete o controle da erosão, a filtragem de poluentes e a proteção da biodiversidade local (ANA, 2023).

A Figura 5(b) revela uma área com vegetação densa de gramíneas e sinais de deposição irregular de resíduos orgânicos (como feixes de capim seco e troncos). Este tipo de descarte compromete o uso do solo, podendo atrair vetores de doenças e dificultar o manejo paisagístico. A falta de contenção e destinação adequada de resíduos orgânicos em áreas urbanas tem sido apontada como um fator de degradação ambiental e de proliferação de doenças vetoriais (Santos et al., 2021; IBGE, 2023).

Na Figura 5(c), o foco está sobre o canal com escoamento visivelmente poluído, obstruído por vegetação marginal. Esse fluxo contaminado, além de impactar a fauna aquática, representa risco direto à saúde pública se não houver tratamento ou monitoramento sistemático (Furrer et al., 2023; ANA, 2023). A Figura 5(d) mostra uma área com vegetação densa de gramíneas, encobrindo uma parte do canal. Esse tipo de cobertura vegetal pode mascarar estruturas de drenagem, dificultando inspeções e intervenções técnicas, além de representar risco de acidentes. O planejamento urbano deve considerar o manejo da vegetação em áreas de drenagem para garantir funcionalidade e segurança (Carneiro et al., 2022).

A Figura 6 destaca o canal que atravessa a área do campus, evidenciando o acúmulo de água contaminada e a presença de vegetação aquática e marginal.

Figura 6. Trecho do canal de drenagem nas proximidades dos blocos do campus sede da Universidade Federal de Campina Grande. Vista geral do canal com presença de água escura, vegetação marginal e indícios de poluição por resíduos orgânicos (a), (b) e (c); ponto de acúmulo de água com vegetação densa (d).



A Figura 6(a) mostra claramente a proximidade entre o edifício institucional e o canal. A água apresenta coloração escura, com indícios de contaminação orgânica (provável esgoto doméstico). Segundo Oliveira Júnior et al. (2023), esse tipo de lançamento é comum em áreas urbanas consolidadas e compromete severamente a qualidade da água, o equilíbrio biológico do ecossistema e a saúde pública. A legislação brasileira (Resolução CONAMA nº 430/2011) exige que qualquer lançamento de efluentes em corpos hídricos seja previamente tratado e respeite os limites de carga poluidora.

A presença de uma mancha iridescente sobre a água na Figura 6(b) sugere contaminação por óleos e graxas ou efluentes industriais, o que pode derivar de resíduos de manutenção predial, refeitórios ou laboratórios. Tais substâncias reduzem a oxigenação da água e afetam diretamente a fauna aquática (Moraes et al., 2023).

A Figura 6(c) confirma a condição de canalização do corpo hídrico. A proximidade da vegetação rasteira às margens do canal sugere ausência de manutenção adequada e favorece a ocupação por espécies invasoras e vetores de doenças, como roedores e mosquitos (Almeida et al., 2020). É possível observar na Figura 6(d) que o ponto focal é a

vegetação espontânea sobre uma possível área do trecho de drenagem sem a estrutura concretada. O solo úmido e a formação de pequenas poças indicam que o trecho de drenagem natural do canal leva à criação de áreas de alagamento lateral.

De acordo com os resultados do monitoramento dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados nas três amostras de água (Tabela 1), observa-se características importantes para avaliação da qualidade da água, especialmente no contexto do uso agrícola.

Tabela 1. Valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos das três amostras de água coletadas no córrego do interior do Campus Sede da Universidade Federal de Campina Grande no período estudado (fevereiro a abril de 2025).

Parâmetros	Unidades	Valores		
		Máximo	Médio	Mínimo
pH	-	7,50	7,50	7,49
Condutividade Elétrica	(dS.m ⁻¹)	1,26	1,24	1,21
Cálcio	(mg L ⁻¹)	62,92	37,80	26,85
Magnésio	(mg L ⁻¹)	70,74	36,81	36,81
Sódio	(mg L ⁻¹)	126,26	126,26	111,07
Potássio	(mg L ⁻¹)	14,86	14,86	14,08
Carbonatos	(mg L ⁻¹)	32,41	28,20	24,00
Bicarbonatos	(mg L ⁻¹)	233,70	233,70	193,43
Cloreto	(mg L ⁻¹)	164,84	164,84	163,78
Sulfatos	(mg L ⁻¹)	Presente	Presente	Presente
Relação de Adsorção de Sódio (RAS)	-	2,90	2,83	2,75
Classe de água	-	C3	C3	C3
Coliformes Totais	NMP/100 ml	>1,01 x 10 ³	>1,01 x 10 ³	>1,01 x 10 ³
Escherichia Coli	NMP/100 ml	>1,01 x 10 ³	>1,01 x 10 ³	>1,01 x 10 ³

Legenda: NMP: número mais provável.

O pH médio de 7,50, variando entre 7,49 e 7,50, indica neutralidade e conformidade com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (CONAMA, 2005), que atualizou os limites para águas doces (6,0 a 9,0). Este valor está dentro do intervalo considerado ideal para irrigação (6,5-8,4) conforme Ayres e Westcot (1985).

A condutividade elétrica apresentou média de 1,24 dS·m⁻¹, classificando a água como C3 (alta salinidade). Como destacado por Lima et al. (2023) águas nesta classe exigem práticas de manejo específicas, corroborando os estudos de Silva Neto et al. (2022) sobre manejo de solos salinos em condições semiáridas. A relação de adsorção de

sódio (RAS) apresentou valor médio de 2,83, enquadrando a água em estudo na classe S1 (baixo risco de sodificação), permitindo seu uso na maioria dos solos sem riscos de degradação estrutural, como demonstrado nas pesquisas recentes de Almeida et al. (2024) sobre permeabilidade de solos. Diante desses valores, a água em análise é classificada como C3S1 de acordo com o diagrama de classificação de Richards (1954) que relaciona a RAS e a condutividade elétrica.

A classificação C3S1 obtida para as águas do canal em estudo corrobora estudos recentes sobre recursos hídricos no semiárido (Bezerra et al., 2023), indicando água com alta salinidade, porém com baixo risco de sodificação. Embora esta característica imponha restrições ao uso agrícola, especialmente em solos mal drenados, os resultados demonstram a viabilidade da irrigação quando adotadas as práticas de manejo específicas recomendadas por Cavalcante et al. (2024) e Dias et al. (2023). Entre as principais medidas destacam-se: seleção de culturas tolerantes à salinidade, aplicação de lâminas de água para lixiviação de sais, uso de sistemas de irrigação por gotejamento, incorporação de matéria orgânica e gesso agrícola para melhorar as condições do solo, além de monitoramento constante da condutividade elétrica e do potencial osmótico na zona radicular.

Quanto à concentração de íons, os teores de cálcio ($37,80 \text{ mgL}^{-1}$) e magnésio ($36,81 \text{ mgL}^{-1}$) estão dentro dos limites recomendados pelas novas diretrizes da ANA (2023) para água de irrigação. No entanto, como alertado por Costa Júnior et al. (2022) valores elevados de magnésio (maiores que $70,74 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) podem contribuir para problemas de incrustação em sistemas modernos de irrigação. O nível de sódio ($126,26 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) está abaixo do limite crítico estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021) para risco de sodificação.

A análise microbiológica das águas do canal da UFCG revelou contaminação fecal alarmante, com níveis de coliformes totais e *Escherichia coli* superiores a $1,01 \times 10^3$ NMP/100 mL em todas as amostras. Esses resultados indicam contaminação por esgoto sanitário não tratado, tornando a água totalmente inadequada para irrigação de culturas consumidas cruas, conforme as diretrizes da Organização Mundial da Saúde – OMS (WHO, 2022).

Esses resultados corroboram com o estudo de Ribeiro et al. (2023) em corpos hídricos do semiárido brasileiro, que identificou contaminação microbiana similar em 85% dos pontos analisados, principalmente devido a lançamentos de esgoto doméstico.

Assim como os autores, destaca-se a urgência na implementação de sistemas de tratamento de esgoto e fiscalização de descargas irregulares.

Contudo, é fundamental ressaltar que a contaminação microbiológica previamente identificada ($>1,01 \times 10^3$ NMP/100 mL de *E. coli*) impõe restrições adicionais, limitando severamente o uso para culturas consumidas cruas, conforme as diretrizes da OMS (WHO, 2022). Portanto, a utilização desta água na agricultura exige não apenas o manejo adequado da salinidade, mas também tratamento prévio para eliminação de patógenos, tornando essencial a implementação de sistemas de tratamento combinados com as boas práticas agrícolas para o uso seguro deste recurso hídrico.

A inovação desse trabalho está na integração desses dados microbiológicos com análises de metais pesados e parâmetros físico-químicos, fornecendo um diagnóstico mais completo que reforça a necessidade de ações imediatas para garantir a segurança hídrica. Os resultados das análises realizadas entre fevereiro e abril de 2025 na água do canal que percorre o interior do Campus sede da UFCG revelaram uma situação crítica quanto à presença de metais pesados, com destaque para as concentrações de chumbo (Pb^{2+}) e cádmio (Cd^{2+}) que excederam significativamente os valores de referência estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021 (Tabela 2).

Tabela 2. Concentrações de metais pesados em amostra de água do Campus Sede da Universidade Federal de Campina Grande e valores de referência da Portaria GM/MS nº 888/2021.

Parâmetros	Limite mínimo de detecção	Resultados (mg/L)	Valor de referência (*)
Cobre (Cu^{2+})	0,001	0,59	2,0
Cádmio (Cd^{2+})	0,001	0,031	0,003
Chumbo (Pb^{2+})	0,001	0,327	0,01

(*) Estabelecido pela Legislação Brasileira, através da Portaria 888/2021 do Ministério da saúde.

Observa-se na Tabela 2 que o chumbo apresentou concentração média de 0,327 mg/L, valor 32,7 vezes superior ao limite de 0,01 mg/L, enquanto o cádmio registrou 0,031 mg/L, excedendo em 10,3 vezes o valor de referência de 0,003 mg/L. O cobre (Cu^{2+}), por sua vez, manteve-se dentro dos limites aceitáveis com 0,59 mg/L, abaixo do valor máximo permitido de 2,0 mg/L.

Estes resultados assumem particular relevância quando comparados com estudos recentes sobre contaminação por metais pesados em ambientes urbanos. Pesquisas conduzidas por Lima et al. (2023) em corpos hídricos do semiárido brasileiro demonstram que concentrações de chumbo superiores a 0,1 mg/L podem desencadear

processos de bioacumulação na cadeia trófica, com impactos particularmente severos em ecossistemas aquáticos. No caso específico do cádmio, os níveis encontrados são preocupantes, pois estudos toxicológicos recentes (Cavalcante et al., 2024) indicam que concentrações acima de 0,005 mg/L já são suficientes para causar danos genotóxicos em organismos aquáticos.

A análise temporal dos dados coletados no trimestre (fevereiro – abril/2025) revelou uma estabilidade nas concentrações dos metais pesados em estudo, sem variações sazonais significativas. Este padrão persistiu mesmo considerando o regime pluviométrico do período em estudo do município de Campina Grande-Paraíba, que registrou 58,3 mm em fevereiro, 102,7 mm em março (mês mais chuvoso) e 87,5 mm em abril, segundo dados da AESA (2025). A ausência de correlação entre os picos de precipitação e os níveis de contaminação sugere que as fontes poluidoras são contínuas – provavelmente associadas a descargas industriais ou domésticas – e não ao arraste superficial ocasionado pelas chuvas.

Esta estabilidade na contaminação por metais pesados reflete principalmente o legado histórico de atividades industriais na região (especialmente do setor têxtil) e o acúmulo de sedimentos contaminados no leito do córrego. Já a presença constante de *E. coli* ($>1,01 \times 10^3$ NMP/100 mL) está diretamente associada às deficiências atuais do saneamento básico - apenas 68% dos bairros adjacentes (Bodocongó, Catolé e Universitário) possuem rede de esgoto, segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (BRASIL, 2023).

Do ponto de vista da saúde pública, a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2023) alerta que concentrações de chumbo acima de 0,01 mg/L na água representam riscos significativos para o desenvolvimento neurológico infantil, enquanto a exposição crônica ao cádmio nestes níveis está associada a disfunções renais e ósseas (Santos et al., 2024). Estas informações reforçam a necessidade urgente de medidas mitigadoras, conforme proposto pelo recente protocolo da FIOCRUZ (2025) para áreas com contaminação por metais pesados.

Como recomendações imediatas, sugere-se: (1) a interdição do uso desta água para quaisquer finalidades sem tratamento prévio; (2) a implementação de um programa de monitoramento mensal; (3) a investigação detalhada das fontes de contaminação; e (4) a implantação de medidas de remediação, com destaque para tecnologias emergentes como

a fitorremediação com espécies hiperacumuladoras (Almeida et al., 2024) e o uso de nanomateriais adsorventes (Ribeiro et al., 2025).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O diagnóstico ambiental do entorno do canal revela um cenário de degradação marcado por: (1) lançamento de efluentes não tratados, (2) acúmulo de resíduos sólidos, (3) processos de assoreamento, e (4) ocupação irregular das áreas de preservação permanente. Esses fatores, combinados com a ausência de infraestrutura adequada de saneamento, criam um ciclo vicioso de deterioração ambiental.

Como medidas prioritárias, recomenda-se: (1) a imediata interdição do uso da água sem tratamento adequado; (2) a implementação de um programa de monitoramento contínuo com metodologias analíticas avançadas; (3) a identificação e remediação das fontes de contaminação por metais pesados; e (4) a recuperação das áreas degradadas no entorno do canal. Essas ações devem ser acompanhadas por um amplo programa de educação ambiental e pela integração com as políticas institucionais de sustentabilidade da UFCG.

Além disso, evidencia-se a importância da gestão sustentável dos recursos hídricos no ambiente universitário e a necessidade de políticas públicas mais efetivas no controle da poluição de corpos hídricos urbanos. A continuidade das pesquisas é fundamental para transformar este desafio ambiental em uma oportunidade de desenvolvimento de tecnologias inovadoras de remediação.

Do ponto de vista da composição físico-química, a água foi classificada como C3S1, indicando alta salinidade (com condutividade elétrica média de $1,24 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) e baixo risco de sodificação (RAS média de 2,83). Esta classificação, embora permita o uso para irrigação em condições controladas, torna-se inviável devido à alta contaminação microbiológica, com presença sistemática de Coliformes Totais e *Escherichia coli* em níveis superiores a $1,01 \times 10^3 \text{ NMP}/100 \text{ mL}$.

Quanto a análise de metais pesados, destaca-se as concentrações de chumbo (0,327 mg/L) e cádmio (0,031 mg/L) que excederam em 32,7 e 10,3 vezes, respectivamente, os valores máximos permitidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021. Esses níveis representam riscos ecotoxicológicos significativos, com potencial de

bioacumulação na cadeia alimentar e efeitos deletérios sobre a saúde humana e os ecossistemas aquáticos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA (AESÁ). Relatório pluviométrico anual: Campina Grande – 2025. João Pessoa: AESA, 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Diretrizes para qualidade da água na agricultura. Brasília: ANA, 2023.

ALMEIDA, G. H.; DIAS, N. S.; FERREIRA, C. D.; SANTOS, A. B. Fitorremediação de metais pesados em solos degradados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 48, e0223001, 2024.

ALMEIDA, R. C.; SOUZA, L. F.; OLIVEIRA, P. M.; RIBEIRO, M. R. **Riscos sanitários em canais urbanos obstruídos**. *Saúde Pública*, v. 54, n. 6, e00232020, 2020.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 24. ed. Washington: APHA, 2022.

AYRES, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture**. Rome: FAO, 1985. (Irrigation and Drainage Paper, 29).

BEZERRA, F. M. S.; ALVES, J. M.; COSTA, L. P. Qualidade de águas no semiárido: avanços e desafios. **Revista Caatinga**, v. 36, n. 2, p. 412-425, 2023.

BRANDÃO, C. J. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimentos, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo: CETESB, 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**. Diário Oficial da União, Brasília, 7 maio 2021.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS): diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2023**. Brasília: MDR, 2023.

CARNEIRO, J. P.; MARTINS, A. B.; SOUZA, L. F. Vegetação em estruturas de drenagem urbana: impactos e manejo. **Revista de Gestão de Águas Urbanas**, v. 8, n. 3, p. 45-59, 2022.

CAVALCANTE, L. F.; RIBEIRO, M. S.; ALMEIDA, G. H. **Estratégias modernas para irrigação com águas salobras**. Irriga, v. 29, n. 1, p. 1-15, 2024.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Manual de identificação de fontes poluidoras em corpos hídricos**. São Paulo: CETESB, 2022.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.** Diário Oficial da União, Brasília, 18 mar. 2005.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011.** Diário Oficial da União, Brasília, 16 mai. 2011.

COSTA JÚNIOR, J. F.; LIMA, R. T.; OLIVEIRA, P. M. Incrustações em sistemas de irrigação: causas e prevenção. Engenharia Agrícola, v. 42, n. 3, e20210089, 2022.

COSTA, M. F.; SABOYA, L. M. F.; LIMA, D. S. A.; PEQUENO, I. M. A. Protocolos para diagnóstico ambiental em áreas urbanas. **Revista de Gestão Ambiental**, v. 15, n. 1, p. 34-50, 2021.

DIAS, N. S.; SILVA, A. B.; FERREIRA, C. D. **Manejo sustentável de solos salinos.** Brasília: Embrapa, 2023. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento).

FIOCRUZ. FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ. Protocolo para áreas contaminadas por metais pesados. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 2025.

FURRER, O. J.; MARTINS, L. P.; SANTOS, R. M. Infraestrutura verde para gestão de águas urbanas. **Revista de Planejamento Urbano**, v. 12, n. 2, p. 78-92, 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2023. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

LIMA, G. S.; ALVES, J. M.; COSTA, L. P. Tolerância de culturas à salinidade: atualizações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 4, e20220134, 2023.

MELLO, J. A. B.; SILVA, R. T.; LIMA, C. D.; OLIVEIRA, M. N.; SANTOS, P. R. Degradação de recursos hídricos no semiárido brasileiro: desafios e soluções. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 45-60, 2022.

MORAES, D. L.; CARNEIRO, J. P.; LIMA, R. T.; COSTA JÚNIOR, J. F. Contaminação por óleos e graxas em corpos hídricos urbanos. Environmental Pollution, v. 316, 120678, 2023.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. Q.; SILVA, M. N.; LIMA, R. T. Obstrução em sistemas de irrigação localizada. Water, v. 15, n. 8, 1502, 2023.

PINTO, A. L.; FARIA, M. S.; MONTENEGRO, A. R. S. N.; BEZERRA, F. M. S. Análise de dados secundários em diagnósticos ambientais urbanos. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 67, n. 3, p. 112-130, 2022.

PROENÇA, L. C.; FERNANDES, A. B.; COSTA, G. H.; MARTINS, D. L. Impactos do lançamento de efluentes urbanos em corpos hídricos: estudo de caso em Campina Grande-PB. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 26, n. 4, p. 789-800, 2021.

RIBEIRO, M. R.; ALMEIDA, G. H.; LIMA, C. D. Qualidade microbiológica de águas para irrigação no Nordeste. **Revista Ambiente & Água**, v. 18, e2832, 2023.

RIBEIRO, M. S.; CAVALCANTE, L. F.; SILVA NETO, J. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. Q. Nanomateriais adsorventes para remediação de águas contaminadas. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 13, n. 1, 109876, 2025.

RICHARDS, L. A. (Ed.). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: U.S. Department of Agriculture, 1954. 160 p. (Agriculture Handbook, 60).

SANTOS, E. F.; CAVALCANTE, L. F.; ALMEIDA, G. H.; FURRER, O. J. **Recuperação de áreas degradadas com espécies nativas no semiárido**. Caatinga, v. 34, n. 4, p. 901-915, 2021.

SANTOS, P. R.; MARTINS, A. B.; SOUZA, L. F. Efeitos crônicos da exposição ao cádmio em populações urbanas. **Environmental Research**, v. 244, 117924, 2024.

SILVA NETO, J. A.; LIMA, R. T.; OLIVEIRA, P. M. Manejo de solos salino-sódicos no semiárido. **Journal of Arid Environments**, v. 196, 104656, 2022.

SOARES, P. L.; RIBEIRO, M. S.; CARVALHO, E. F.; DIAS, N. S. **Métodos de pesquisa em ciências ambientais: abordagens qualitativas e quantitativas**. São Paulo: Editora UFSCar, 2023.

SOUZA, E. R.; ALVES, J. M.; COSTA, L. P. Relação de adsorção de sódio: revisão de conceitos. **Ciência Rural**, v. 53, n. 2, e20210645, 2023.

SOUZA, L. M.; ALMEIDA, G. H. **Técnicas de registro fotográfico em estudos ambientais**. Fotografia & Ciência, v. 12, n. 2, p. 78-92, 2020.

SOUZA, R. T.; ALVES, J. M.; NÓBREGA, P. I.; MACEDO, M. P. **Monitoramento de metais pesados em corpos hídricos urbanos: avanços metodológicos**. Química Nova, v. 47, n. 2, p. 210-225, 2024.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (UNESCO). **Water security and sustainable development**. Paris: UNESCO, 2023.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Global Environment Outlook 2023**. Nairobi: UNEP, 2023.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for drinking-water quality**. 5. ed. Geneva: WHO, 2023.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for drinking-water quality**. 5. ed. Geneva: WHO, 2022.



Capítulo 2

VARIABILIDADE TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA E DAS CONDIÇÕES ESTRUTURAIS DE UM CANAL NA UFCG

Anna Rebeca Silva Nóbrega

Maria Sallydelândia de Farias Araújo

Mayra Gislayne Melo de Lima

Pedro Ivo Silva da Nóbrega



VARIABILIDADE TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA E DAS CONDIÇÕES ESTRUTURAIS DE UM CANAL NA UFCG

Anna Rebeca Silva Nóbrega

*Doutoranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande,
anna.rebsil@gmail.com*

Maria Sallydelândia de Farias Araújo

*Docente da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de
Campina Grande, Doutora em Engenharia Agrícola, sallydelandia@gmail.com*

Mayra Gislayne Melo de Lima

*Doutora em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande,
mayramelo.ufcg@live.com*

Pedro Ivo Silva da Nóbrega

*Mestre em Administração, Universidade Federal de Campina Grande,
prof.pedroivo.sn@gmail.com*

RESUMO

A qualidade da água para irrigação e a condição estrutural dos canais são fatores essenciais para a gestão eficiente dos recursos hídricos, interferindo na sustentabilidade dos sistemas agrícolas e na preservação dos ecossistemas aquáticos. Diante disso, este estudo teve por objetivo avaliar e classificar a qualidade da água de um canal localizado na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), além de suas características estruturais, em função da variabilidade temporal. Foram monitorados parâmetros físico-químicos e biológicos da água, além da identificação de manifestações patológicas no canal em dois períodos distintos: Período I – 2021 e Período II – 2023. Baseado nos resultados, têm-se que a água apresentou risco potencial de salinidade, sendo classificada como “C3S1”, com restrição “Moderada” para irrigação, o que a torna inadequada para solos com drenagem deficiente e culturas

sensíveis à salinidade. Além disso, foram constatadas patologias comuns em canais abertos, como manchas, eflorescências, fissuras, armaduras metálicas expostas e vegetação no Período I – 2021. No Período II – 2023, ainda foram observadas manchas e eflorescências no interior da estrutura, mas com redução de outros danos, indicando melhorias decorrentes de ações corretivas. Por fim, ressalta-se que, embora desafios ainda persistam na qualidade da água e na estrutura do canal, as intervenções realizadas ao longo do tempo contribuíram significativamente para sua recuperação, sendo fundamentais para minimizar impactos ambientais e garantir sua funcionalidade e preservação.

Palavras-chaves: Monitoramento; Gestão dos recursos hídricos; Sazonalidade hídrica.

ABSTRACT

The quality of irrigation water and the structural condition of canals are essential factors for the efficient management of water resources, affecting the sustainability of agricultural systems and the preservation of aquatic ecosystems. With this in mind, the aim of this study was to assess and classify the water quality of a canal located at the Federal University of Campina Grande (UFCG), as well as its structural characteristics, according to temporal variability. Physico-chemical and biological water parameters were monitored, as well as identifying pathological manifestations in the canal in two different periods: Period I - 2021 and Period II - 2023. . Based on the results, the water presented a potential risk of salinity and was classified as "C3S1", with a "Moderate" restriction for irrigation, which makes it unsuitable for soils with poor drainage and crops sensitive to salinity. In addition, common pathologies in open canals were found, such as stains, efflorescence, cracks, exposed metal reinforcement and vegetation in Period I - 2021. In Period II - 2023, stains and efflorescence were still observed inside the structure, but with a reduction in other damage, indicating improvements resulting from corrective actions. Finally, it should be noted that, although challenges still persist in terms of water quality and the structure of the canal, the interventions carried out over time have contributed significantly to its recovery, and are fundamental to minimizing environmental impacts and ensuring its functionality and preservation.

Keywords: Monitoring; Water resource management; Water seasonality.

INTRODUÇÃO

A intensa e crescente urbanização vem ocasionando impactos negativos para a população urbana, especialmente em regiões semiáridas, onde a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos estão sujeitas a flutuações sazonais. Conforme Silva e

Silva (2020) com o passar do tempo os problemas ocasionados aos corpos hídricos vem se tornando cada vez mais complexos de sanar e a recuperação ambiental demandará cada vez mais esforços e recursos econômicos.

No caso do canal de irrigação da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), localizado no semiárido paraibano, o monitoramento contínuo da qualidade da água é fundamental para garantir a eficiência dos sistemas de irrigação e a preservação do ambiente circundante. De acordo com Oliveira e Queiroz (2022) a agricultura irrigada depende essencialmente de dois fatores que são a quantidade e a qualidade da água disponível, de modo que a qualidade da água empregada para irrigação pode ser um critério para determinação dos seus possíveis usos, visando garantir a segurança dos consumidores, a proteção dos empreendimentos agrícolas e a conservação do solo.

Para fins agrícolas, a qualidade da água deve obedecer a uma classificação baseada na concentração de alguns íons, dentre os quais destacam-se: sódio, potássio, cloretos e os sulfatos, além de outros parâmetros, como sólidos dissolvidos e a condutividade elétrica (Gama et al., 2023), visto que esses fatores são determinantes para o sucesso do cultivo e para a manutenção do equilíbrio ecológico nas áreas irrigadas. Nesse sentido, a variabilidade temporal da qualidade da água reflete as dinâmicas climáticas e hidrológicas da região, sendo influenciada tanto por fenômenos naturais, como a variabilidade pluviométrica, quanto por ações antrópicas, como a introdução de práticas agrícolas intensivas e o manejo inadequado dos recursos hídricos.

Ademais, a análise da qualidade da água de um canal de irrigação ao longo do tempo é essencial para detecção de padrões de degradação ou melhoria, permitindo ajustes no manejo e na operação do sistema. De modo que o monitoramento da qualidade da água propicia uma avaliação contínua dos impactos que as atividades humanas e as variações climáticas podem ocasionar sobre os recursos hídricos da região.

Nesse âmbito, essa pesquisa tem por objetivo avaliar e classificar a qualidade da água de um canal localizado na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), além de suas características estruturais, em função da variabilidade temporal, visando compreender as possíveis influências antrópicas e naturais na dinâmica hídrica do local.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no Campus I da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), situado no município de Campina Grande, Paraíba, Brasil. O município se localiza nas coordenadas geográficas 07°15'18" de latitude Sul, 35°52'28" de longitude Oeste e altitude média de 550 m, com predominância do clima mesotérmico, semiúmido, classificado de acordo com Köppen como do tipo CSa, caracterizado por condições quentes e semiáridas com estações chuvosas (fevereiro a julho) e secas (agosto a janeiro) (Andrade et al., 2022). Apresentando, além disso, precipitação média anual de 850 mm e a temperatura média é de 27 °C (Jales Filho et al., 2022).

Na pesquisa foi definido como objeto de estudo um córrego, contribuinte do açude de Bodocongó, que percorre o interior da UFCG, em que há retirada de água para irrigação de plantas que contribuem com a paisagem universitária. Ademais, as águas do córrego também são utilizadas em diversas pesquisas na instituição, em especial, na Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, na irrigação de culturas agrícolas.

O ponto de coleta de água utilizado na pesquisa estava situado nas proximidades das casas de vegetação pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA/CTRN/UFCG), com coordenadas 7°12'56.1"S 35°54'25.5"W (Figura 1). As amostras de água foram coletadas e, em seguida, analisadas em dois períodos distintos: Período I - Meses de setembro e dezembro de 2021 e Período II – Meses de setembro e outubro de 2023, para análise da influência da variabilidade temporal na qualidade da água do córrego.

Figura 1. Localização do ponto de coleta de água do córrego situado no Campus I, da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), no município de Campina Grande, Paraíba, Brasil.



Fonte: Google Earth (2023).

As análises das amostras coletadas foram analisadas nos Laboratórios de Irrigação e Salinidade (LIS) e de Referência em Dessoralização (LABDES), ambos pertencentes à UFCG, Campus I. Os procedimentos de coleta e transporte das amostras de água foram realizados baseados no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (Brandão, 2011).

Foram avaliados os parâmetros físico-químicos: pH, Condutividade Elétrica (CE), Cálculo, Magnésio, Sódio, Potássio, Carbonatos, Cloretos e Sulfatos. Além disso, foi analisado o risco de salinidade (CE), a toxicidade (teores de sódio e cloreto) e a Relação de Adsorção de Sódio (RAS). Quanto aos parâmetros biológicos foram analisados a presença e a quantidade de Coliformes Totais e Escherichia Coli.

Baseado nos valores médios obtidos nos resultados, foi realizada a classificação da água do córrego em períodos distintos segundo os estudos de Ayres e Westcot (1999), Richards (1954) e Nakayama e Bucks (1986), além da Resolução do CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento.

Ademais, a partir de visitas *in loco* foram obtidas as principais características estruturais do canal, com o auxílio de uma trena, sendo determinados: profundidade, comprimento e a largura. Também foram identificadas, registradas por fotografias e analisadas as manifestações patológicas presentes na estrutura do canal ao decorrer do período de estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados médios dos parâmetros físico-químicos e biológicos das águas do córrego do interior da UFCG, Campus I, coletadas em momentos distintos (Período I - Meses de setembro e dezembro de 2021 e Período II – Meses de setembro e outubro de 2023) podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios dos parâmetros físico-químicos e biológicos das amostras de água coletadas no córrego do interior da UFCG nos dois períodos estudados (Período I - setembro e dezembro de 2021; Período II - setembro e outubro de 2023).

Parâmetro	Unidade	Valores Médios	
		Período I - 2021	Período II - 2023
pH	-	7,9	7,5
Condutividade Elétrica	(dS.m ⁻¹)	1,0	1,5
Cálcio	(mg L ⁻¹)	65,8	52,1
Magnésio	(mg L ⁻¹)	24,1	41,8
Sódio	(mg L ⁻¹)	158,8	175,4
Potássio	(mg L ⁻¹)	5,6	21,5
Carbonatos	(mg L ⁻¹)	0,0	0,0
Cloreto	(mg L ⁻¹)	159,6	205,3
Sulfatos	(mg L ⁻¹)	Presente	Presente
Relação de Adsorção de Sódio (RAS)	-	4,3	4,4
Classe de água	-	C3S1	C3S1
Coliformes Totais	NPM/100 ml	>1,01 x 10 ³	>1,01 x 10 ³
Escherichia Coli	NPM/100 ml	>1,01 x 10 ³	>1,01 x 10 ³

Fonte: Autores (2025)

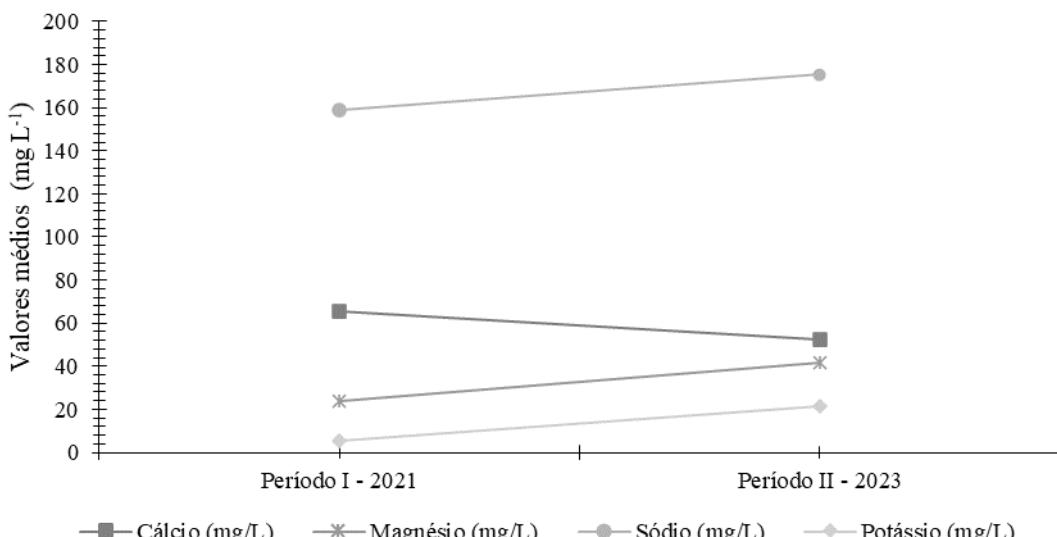
Analizando os dados presentes na Tabela 1, é possível observar algumas distinções e semelhanças durante os períodos analisados. Os valores médios de pH tiveram diferença de 0,4 de um período para outro, permanecendo entre 7,5 e 8,0, que segundo a classificação de Ayres e Westcot (1999) encontram-se em um intervalo normal, relativo à toxicidade. Todavia é importante destacar que o pH da água utilizada na irrigação além de interferir na disponibilidade dos elementos químicos no solo, pode propiciar a obstrução dos emissores utilizados na irrigação localizada (Franca et al., 2022). Diante disso, em relação ao risco de obstrução desses emissores, a água analisada apresenta risco moderado (pH entre 7 e 8), conforme Nakayama e Bucks (1986).

Quanto aos valores médios de condutividade elétrica, em ambos os períodos estudados, as águas são classificadas como C3, com salinidade alta (CE entre 0,75 e 2,25 dS m⁻¹, a 25°C) e restrição moderada para uso na irrigação, segundo Ayres e Westcot (1999) (Tabela 1). Referente à Relação de Adsorção de Sódio (RAS) nos períodos analisados, as águas foram classificadas como S1 ($RAS_{PI-2021} = 4,3$ e $RAS_{PII-2023} = 4,4$), por apresentarem baixa concentração de sódio, sendo classificado de acordo com Richards (1954) como C3S1.

Os autores Ayers e Westcot (1999) discutem que o uso de água C3 pode ocasionar redução significativa no rendimento de culturas sensíveis a moderadamente sensíveis à salinidade ao utilizar a irrigação convencional. Além disso, Alexandre et al. (2021) ressaltam que águas com altos teores de salinidade não devem ser utilizadas em solos com deficiência de drenagem e propõem a necessidade da seleção de culturas tolerantes aos sais nessas situações, sendo imprescindível práticas especiais para o controle da salinidade em caso de uso em solos com drenagem adequada.

Observa-se ainda na Tabela 1 a redução no nível de cálcio e aumento nos níveis de magnésio, sódio e potássio, conforme ilustrado na Figura 2. De acordo com Sousa et al. (2021), grandes concentrações de sódio e excesso de nutrientes são características de água resíduária e podem ocasionar efeitos adversos ao solo e às culturas, sendo fundamental o cuidado com o manejo da irrigação.

Figura 2. Valores médios referentes aos níveis de cálcio, magnésio, sódio e potássio nos períodos analisados.



Fonte: Autores (2025).

Com relação à concentração de carbonatos, é possível observar na Tabela 1, a presença de valores nulos em ambos os períodos estudados. Nota-se ainda a presença de sulfato nas análises. Segundo Nascimento (2020), altas concentrações de carbonatos e sulfatos provocam incrustações e o consequente risco de entupimento das tubulações na irrigação localizada.

Referente aos níveis de cloreto na água nos períodos analisados, de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), não há nenhuma restrição para uso na

irrigação, visto que os valores encontrados foram inferiores ao limite de 250 mg L⁻¹. Contudo, observa-se um aumento de 45,7 mg L⁻¹ no valor médio desse parâmetro no período analisado, de modo que no segundo período o valor se aproxima do limite estipulado pela Resolução citada.

Cavalcante et al. (2020) enfatizam que devido ao fato de o elemento cloreto não ser retido ou adsorvido pelas partículas presentes no solo, ele se desloca com facilidade junto da água e é absorvido pelas raízes das plantas e transportado até as folhas, local em que fica acumulado em função da transpiração. De modo que, se a quantidade desse elemento presente na água for superior ao limite de tolerância da planta, há ocorrência de problemas características de toxicidade como, por exemplo, necroses e queimaduras que se iniciam no ápice das folhas.

Avaliando-se os resultados microbiológicos da água em períodos distintos, houve presença de coliformes totais e de escherichia coli (Tabela 1). De acordo com Rosá et al. (2022) a existência de bactérias do grupo coliformes são indicadores de qualidade da água, podendo sinalizar um possível impacto ambiental resultante das atividades desenvolvidas nos arredores do corpo hídrico, uma vez que a qualidade da água é fundamental para a saúde pública. Além disso, os autores reforçam que quando há precarização das condições sanitárias, a água se transforma em um meio de proliferação de patógenos como, por exemplo, a Escherichia coli, além dos coliformes.

Além da caracterização físico-química e microbiológica da água que percorre o interior do Campus I da UFCG em um canal aberto, foi realizada a caracterização estrutural desse canal. Dessa forma, foi constatado que o canal em estudo apresenta, aproximadamente, 7,0 metros de largura, 1,55 metros de profundidade e o trecho de drenagem equivale a 380 metros de comprimento, sendo uma parte revestida e outra não revestida. Durante os dois períodos observou-se a presença de manifestações patológicas estruturais, contudo destaca-se melhorias dessas patologias entre a primeira análise e a segunda.

Dentre as patologias encontradas no canal, no Período I – 2021 destacam-se na parte revestida a existência de manchas, que podem ter sido causadas por agentes externos como as chuvas e sujidades (Figura 3A), e eflorescências (Figura 3B) que podem ser atribuídas à umidade e configura-se como um problema estético que pode acarretar danos funcionais à longo prazo (Oliveira et al., 2021).

Figura 3. Presença de manchas (A) e eflorescências (B) na parte revestida do canal que percorre o interior do Campus I da UFCG no Período I – 2021.



Fonte: Autores (2021).

Além disso, foi possível observar a presença de fissuras nas paredes do canal e de pontos com armadura metálica exposta (Figura 4A), propiciando a corrosão dos metais presentes na estrutura em concreto. Segundo Moura et al. (2021), as fissuras não oferecem grandes riscos à estrutura da construção, porém, elas permitem a passagem de água de chuva, facilitando a proliferação de bolores e levando as fissuras a evoluírem em espessura e profundidade. Também foi verificado a presença de vegetação e lodo no revestimento do canal (Figura 4B), que são caracterizadas como patologias comumente encontradas em canais abertos e que comprometem suas estruturas.

Figura 4. Presença de fissuras na estrutura (A) e vegetações (B) no interior do canal que percorre o interior do Campus I da UFCG no Período I – 2021.



Fonte: Autores (2021).

No segundo período analisado (Período II – 2023) foi possível observar melhorias quanto as patologias observadas no Período I, visto que no ano de 2023 foi realizada a limpeza da área do canal retirando a vegetação presente e reparos de fissuras e pontos de armadura exposta (Figura 5A). Contudo, foi possível ainda notar a presença de manchas e eflorescências (Figura 5B) na área.

Figura 5. Situação do interior do canal que percorre o interior do Campus I da UFCG no Período II – 2023.



(A)



(B)

Fonte: Autores (2023).

CONCLUSÕES

Para os períodos em estudo, as águas do canal, que percorre o interior do Campus I da Universidade Federal de Campina Grande, apresentaram riscos potenciais de salinidade, sendo classificadas como “C3S1”, com classe de grau de restrição “moderado” para irrigação, sendo inadequado seu uso em solos com deficiência de drenagem e em culturas com baixa tolerância a salinidade.

Além disso, foram identificadas no canal algumas manifestações patológicas encontradas comumente em canais abertos, destacando a presença de manchas, eflorescências, fissuras, armaduras metálicas exposta e vegetação no Período I – 2021. No Período II – 2023 ainda foi observado a presença de manchas e eflorescências no interior da estrutura. Todavia, ressalta-se a predominância de melhorias estruturais no canal, devido à realização de ações corretivas.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, L. M.; BRITO, A. P. M. DE; SANTOS, I. M. DE; SILVA, F. D. B. DA; SOUSA, G. G. DE; NOGUEIRA, R. DA S. Espacialização da qualidade da água subterrânea destinada a irrigação na comunidade agrícola de Barreiros, Aratuba-CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.15, n. 1, p.36-47. 2021.
- ANDRADE, E. M. G.; SILVA, S. S. da; LIMA, G. S. de; SOARES, L. A. dos A.; SILVA, A. A. R. da; LACERDA, C. N. de. Cultivo inicial de cajueiro anão precoce com água salina e esterco bovino. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 17, n. 1, p. 10-16, 2022.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D.W. A qualidade de água na agricultura. 29 ed. Traduzido por: H. R. Gheyi, J. F. Medeiros E F. A.V. Damasco. Campina Grande: UFPB. 1999.
- BRANDÃO, C.J. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: Água, sedimentos, comunidade aquáticas e efluentes líquidos. **CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**. Brasília: ANA. 2011.
- BRASIL, Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Disponível em:<
<https://licenciamento.cetesb.sp.gov.br>> Acesso em: abr. 2022.
- CAVALCANTE, K. L.; MACIEL, W. M.; MACIEL, H. M.; NOGUEIRA, D. H.; PEREIRA, S. M. Análise Físico-Químico da Qualidade de Efluentes para Fins de Reuso na Irrigação no Município de Iguatu -CE. **Brazilian Journal of Development** v.6, n.10, p.81778-81794. 2020.
- GAMA, E. M.; REIS, A. C. P.; MATOS, R. P.; GOMES, F. J. S. Qualidade da água em áreas de cultivo de alface. **RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR**, v. 4, n. 5, p. 1-13, 2023.
- JALES FILHO, R. C.; MELO, Y. L.; VIÉGAS, P. R. A.; OLIVEIRA, A. P. da S.; ALMEIDA NETO, V. E. de A.; FERRAZ, R. L. de; GHEYI, H. R.; CAROL, P.; LACERDA, C. F. de; MELO, A. S. de. Salicylic acid and proline modulate water stress tolerance in a traditional variety of cowpeas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 1, p. 18-25, 2022.
- MOURA, F. L., MIRANDA, W. P., & PINHEIRO, É. C. N. M. Manifestações patológicas: Fissuras em estrutura de concreto armado e alvenaria estrutural, estudo de caso em duas obras unifamiliares. **Brazilian Journal of Development**, 7(12), 110033-110052. 2021.
- OLIVEIRA, D. B. C., DE OLIVEIRA, L. F., DE ALBUQUERQUE SOARES, W., & MONTEIRO, E. C. B. Levantamento de manifestações patológicas em uma Estação de Tratamento de Esgoto na RMR: elaboração de mapa de danos. **Brazilian Journal of Development**, 7(3), 31594-31610. 2021.

FRANCA, C. L. E.; AMORIM, M. C. C. DE; OLSZEVSKI, N.; BELÉM, C. DOS S. Uso de água cinza tratada na irrigação de frutícola no semiárido: Aspectos legais e qualidade do solo. **Revista Verde**, v. 17, n. 3, p. 167-177. 2022.

NASCIMENTO, D. M. A importância da qualidade da água para seu uso na irrigação. **Boletim do Tempo Presente**, 9(1), 70-92. 2020.

NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. Trickles irrigation for crop production Phoenix: Agricultural Research Service, U.S. **Water Conservation Laboratory**. 383 p. 1986.

OLIVEIRA, J. R. de; QUEIROZ, T. M. de. Qualidade da água para irrigação na bacia hidrográfica do Rio Branco, no Sudoeste Mato-grossense: região de expansão do agronegócio. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente - RAMA**, v. 15, n. 4, p. 1-24, 2022.

SOUZA, F. G. G., DE CARVALHO, R. D. S. C., DE MELO, M. R. M., & GRASSI FILHO, H. Absorção de macronutrientes e sódio pelo tomateiro submetido a irrigação com e sem déficit hídrico, utilizando diferentes concentrações de água residuária. **IRRIGA**, 26(1), 65-76. 2021.

RICHARDS, L. A. (ed): Diagnosis and Improvement of saline and alkali soils. Washington D. C.: United States Salinity Laboratory Staff. 166 pg., USDA. **Agriculture Handbook nº 60**. 1954.

ROSÁ, F.; RIBEIRO, G. F.; CMARGO, L. G.; OLIVEIRA, A. B. R. DE; GANEM, J. DOS S.; FERREIRA, L.; TANHOLI, J.; CRUZ, S. P. DA. Coliformes e bactérias resistentes a antibióticos em água de rios e poços em curitibanos. **9º Congresso Florestal Brasileiro**, v. 1, n. 1, p. 361-364. 2022.

SILVA, H. B.; SILVA, C.E. da. Qualidade da água de um parque urbano em Teresina, PI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n. 5, p. 2371-2387, 2020.



Capítulo 3

DEGRADAÇÃO DO SOLO: ESTUDO DE CASO DE UMA PROPRIEDADE RURAL NO MUNICÍPIO DE SOLEDADE, PARAÍBA

Isabelly Marcela Araújo Pequeno

Maria Sallydelândia de Farias Araújo

Mateus Pereira de Macêdo

Anna Rebeca Silva Nóbrega Montenegro

Luciano Marcelo Fallé Saboya



DEGRADAÇÃO DO SOLO: ESTUDO DE CASO DE UMA PROPRIEDADE RURAL NO MUNICÍPIO DE SOLEDADE, PARAÍBA

Isabelly Marcela Araújo Pequeno

Graduanda em Engenheira Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG.

Maria Sallydelândia de Farias Araújo

Docente da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG; Doutora em Engenharia Agrícola.

Mateus Pereira de Macêdo

Graduado em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG.

Anna Rebeca Silva Nóbrega Montenegro

*Doutoranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG;
Mestre em Engenharia Agrícola.*

Luciano Marcelo Fallé Saboya

Docente da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG; Doutor em Engenharia Agrícola.

RESUMO

A erosão dos solos no semiárido brasileiro representa um grave problema socioambiental, comprometendo a sustentabilidade das atividades agropecuárias e a conservação dos recursos naturais. Diante desse cenário, o estudo tem como objetivo investigar os processos erosivos em uma área rural no semiárido brasileiro, destacando os fatores condicionantes e os impactos socioambientais da degradação do solo. A pesquisa foi conduzida na propriedade Sítio Manoel de Barros, localizada no município de Soledade, no estado da Paraíba, o qual é caracterizado por clima semiárido, solos pouco profundos e vegetação de Caatinga Hiperxerófila. A metodologia utilizada inclui visita in loco, observação direta, registro fotográfico e análise morfopedológica, a fim

de identificar áreas degradadas mediante o processo de erosão laminar, em sulcos e voçorocas, que foi agravado pela ausência de cobertura vegetal, manejo inadequado do solo e precipitações concentradas. Foi observado a severidade dos processos erosivos, com perda de solo fértil, assoreamento de corpos hídricos e redução da capacidade produtiva da terra. As imagens documentadas ilustraram estágios avançados de degradação, como sulcos profundos e voçorocas, além de erosão marginal em reservatórios. A degradação observada na propriedade rural estudada é resultado da combinação de fatores naturais, como clima semiárido e relevo acidentado, e antrópicos, como manejo inadequado da área e ausência de práticas conservacionistas. Nesse contexto, destaca-se a necessidade urgente de práticas conservacionistas, como terraceamento, revegetação com espécies nativas e construção de barreiras vegetativas, para mitigar os impactos e recuperar as áreas degradadas. A implementação de medidas mitigadoras é essencial para conter a erosão e promover a recuperação das áreas degradadas, favorecendo a capacidade produtiva da propriedade.

Palavras-chave: Desertificação, Conservação do solo, Impacto Ambiental, Manejo do solo.

ABSTRACT

Soil erosion in the Brazilian semiarid region represents a serious socio-environmental problem, compromising the sustainability of agricultural activities and the conservation of natural resources. Given this scenario, the study aims to investigate the erosion processes in a rural area in the Brazilian semiarid region, highlighting the conditioning factors and socio-environmental impacts of soil degradation. The research was conducted on the "Sítio Manoel de Barros" property, located in Soledade city, Paraíba state, which is characterized by a semiarid climate, shallow soils and hyperxerophilic Caatinga vegetation. The methodology included on-site visits, direct observation, photographic records, and morpho-pedological analysis to identify areas degraded by the process of laminar erosion in furrows and gullies, which was aggravated by the lack of vegetation cover, inadequate soil management, and concentrated precipitation. The results showed the severity of the erosion processes, with loss of fertile soil, silting of water bodies, and reduction of the land's productive capacity. The documented images illustrate advanced stages of degradation, such as deep furrows and gullies, in addition to marginal erosion in reservoirs. The degradation observed on the rural property studied is the result of a combination of natural factors, such as the semiarid climate and rugged terrain, and anthropogenic factors, such as inadequate management of the area and lack of conservation practices. In this context, the study highlighted the urgent need for conservation practices, such as terracing, revegetation with native species, and construction of vegetative barriers, to mitigate the impacts and recover degraded areas. The implementation of mitigating measures is essential to contain erosion and promote the recovery of degraded areas, favoring the property's productive capacity.

Keywords: Desertification, Soil conservation, Environmental impact, Soil management.

INTRODUÇÃO

A degradação do solo, especialmente por processos erosivos, é um dos principais desafios ambientais enfrentados em áreas rurais, comprometendo a produtividade agrícola, a qualidade dos recursos hídricos e a sustentabilidade dos ecossistemas (Oliveira et al., 2020).

A região semiárida da Paraíba, que abrange a maior parte do estado (198 dos 223 municípios), apresenta características edafoclimáticas típicas do Semiárido brasileiro, como solos pouco profundos, baixa cobertura vegetal e precipitações concentradas em períodos curtos e de alta intensidade (Araújo et al., 2020). Esses fatores, somados ao uso inadequado da terra, aceleram a degradação, gerando sulcos, voçorocas e perda de capacidade produtiva, o que impacta diretamente as comunidades rurais dependentes da agricultura de subsistência (Medeiros et al., 2019). Padrões similares são observados em outras áreas do Semiárido Nordestino, evidenciando a necessidade de políticas regionais de manejo sustentável do solo.

No município de Soledade, no estado da Paraíba, localizado no semiárido brasileiro, a combinação de fatores como as características dessa região, manejo inadequado do solo e práticas agrícolas intensivas tem potencializado a ocorrência de erosões em diversas propriedades rurais, acarretando perdas significativas de solo fértil e assoreamento de corpos hídricos (Santos et al., 2018).

Nesse contexto, o diagnóstico da erosão em áreas rurais desse município se justifica pela necessidade de compreender os impactos socioeconômicos decorrentes da degradação do solo. Silva e Almeida (2021) indicam que a perda de terras agricultáveis gera diminuição na produção de alimentos, redução da renda familiar e aumento do êxodo rural, agravando os problemas socioeconômicos no campo.

Este cenário é especialmente crítico no município de Soledade, onde a agricultura de subsistência sofre impactos diretos da perda de solos produtivos. Portanto, conforme destacado pela EMBRAPA (2021), diagnósticos ambientais integrados são cruciais para identificar áreas de risco e orientar ações de recuperação. Este estudo visa analisar os processos erosivos em uma área rural do município, avaliando fatores como solo,

declividade, cobertura vegetal e ações antrópicas, para propor estratégias de manejo sustentável adaptadas ao semiárido.

Nesse cenário, esse estudo visa analisar os processos erosivos em uma área rural do município, avaliando fatores como solo, declividade, cobertura vegetal e ações antrópicas, para propor estratégias de manejo sustentável adaptadas ao semiárido. Os resultados buscarão contribuir tanto para incentivar políticas públicas de conservação do solo quanto para futuras iniciativas de recuperação de áreas degradadas na região.

MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental está situada na propriedade rural privada denominada Sítio Manoel de Barros, no município de Soledade, Paraíba, com as coordenadas geográficas de 07º 02' 15,18" de latitude Sul e 36º 38' 79,42" de longitude Oeste, e uma altitude de 560 metros.

Localizado na Microrregião do Curimataú Ocidental Paraibano, o município de Soledade (Figura 1) possui uma área territorial de 560,042 km², distante aproximadamente 177 km da capital João Pessoa. O município está inserido nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Paraíba, mais especificamente na sub-bacia do Rio Curimataú, apresentando uma população estimada de 13.773 habitantes, com densidade demográfica de 24,6 hab/km² (IBGE, 2022).

Figura 1. Localização do município de Soledade no estado da Paraíba.



Fonte: adaptado de AESA (2009).

Quanto a caracterização, a propriedade rural apresenta uma área total de 16,0 hectares, tendo como principal atividade a agricultura de subsistência (milho, feijão) e pecuária extensiva, atividades que, quando praticadas sem técnicas conservacionistas, aceleram os processos de degradação do solo. O suprimento hídrico para as demais atividades rotineiras como higiene pessoal e alimentação, por exemplo, nos momentos de déficit pluviométrico, é assegurado por seis cisternas com capacidade de 16.000 litros cada e três barragens, sendo uma delas do tipo trincheira.

O clima predominante no município em questão é o semiárido quente (BSh, segundo Köppen), caracterizado por temperaturas médias anuais em torno de 26°C e precipitação média anual de, aproximadamente, 600 mm, com chuvas concentradas em poucos meses do ano (março a maio) e longa estação seca (APAC, 2023). A vegetação típica é a Caatinga Hiperxerófila, com espécies adaptadas às condições de aridez, como cactáceas e arbustos espinhosos.

Quanto ao relevo, a área de estudo apresenta predominantemente formas suaves onduladas (100-300m de altitude), com solos característicos do semiárido, como Neossolos Litólicos e Regolíticos, Luvissolos e Planossolos, altamente susceptíveis aos processos erosivos quando submetidos a manejo inadequado (EMBRAPA, 2018).

O diagnóstico dos processos erosivos foi realizado através de uma abordagem prática baseada em visita in loco, observação direta e registro fotográfico, contando apenas com a presença do pesquisador e de um morador local que auxiliou no acesso à área. A metodologia adotada permitiu uma avaliação inicial eficiente das condições erosivas sem a necessidade de equipamentos complexos ou grande equipe de trabalho.

A primeira ação realizada foi uma visita de reconhecimento em março de 2025, sendo percorrido toda a área afetada. Durante essa visita, identificou-se visualmente os principais focos de erosão, registrando fotograficamente os danos em diferentes ângulos para documentação. As observações foram anotadas em caderno de campo, incluindo características gerais da área e pontos específicos de interesse.

Para a avaliação dos tipos de erosão presentes, foi adotado uma classificação simples baseada em características visíveis, distinguindo entre erosão laminar (perda superficial de solo), sulcos (canais alongados) e áreas com risco de formação de voçorocas. Para isso, foram utilizadas técnicas de análise morfopedológica, seguindo diretrizes estabelecidas por autores como Lepsch (2015) e Guerra et al. (2020).

A análise das condições do local incluiu a observação do tipo de solo exposto, verificação da presença de vegetação remanescente e identificação dos pontos de concentração de água que contribuíam para os processos erosivos. Essas observações possibilitou compreender os principais fatores causadores da degradação na área.

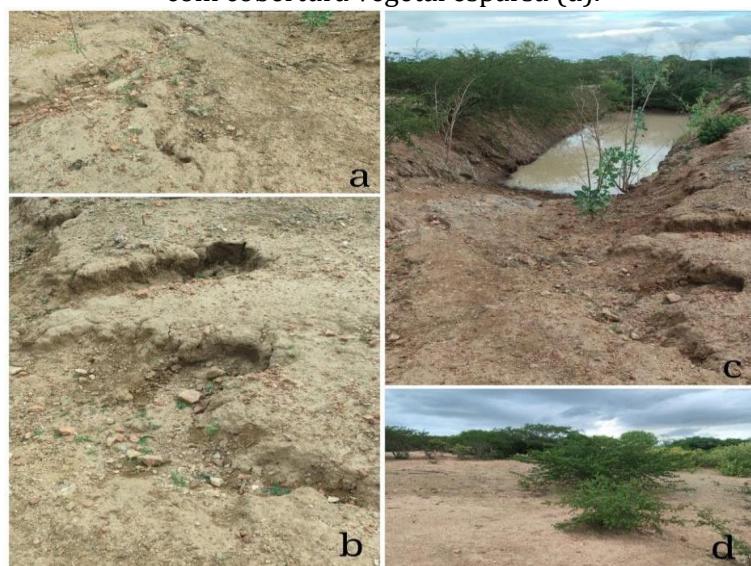
A documentação dos resultados foi feita através da organização de um álbum fotográfico com as imagens coletadas, contendo a caracterização geral da área, descrição dos tipos de erosão encontrados, análise das prováveis causas e sugestões preliminares para contenção dos processos erosivos.

Esta abordagem metodológica mostrou-se adequada para um diagnóstico inicial, permitindo identificar claramente os principais pontos críticos de erosão na propriedade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A propriedade rural analisada apresentou diversos focos de erosão, sendo necessário a indicação de práticas conservacionistas para a área. A Figura 2 mostra um processo de erosão em sulcos e laminar na área de estudo.

Figura 2. Evidências de erosão hídrica na área em estudo, demonstradas mediante a formação de sulcos e ravinas iniciais (a) e (b), canal de escoamento com sinais de degradação (c) e área com cobertura vegetal esparsa (d).



Na Figura 2(a), observa-se o estágio inicial da erosão, caracterizado pela formação de sulcos superficiais decorrentes do impacto direto das gotas de chuva e do aumento do escoamento superficial. Essa condição é intensificada pela ausência de cobertura vegetal,

que deixa o solo exposto e mais vulnerável ao desprendimento de partículas, conforme demonstrado por Oliveira et al. (2020) em estudos sobre dinâmica erosiva no semiárido.

A Figura 2(b) evidencia um estágio mais avançado do processo, com formação de ravinas devido ao aprofundamento e alargamento dos sulcos iniciais. Como alertam Panagos et al. (2021) em análise global sobre degradação do solo, esse patamar representa grave comprometimento da estrutura edáfica, exigindo intervenções complexas e de maior custo para recuperação. A progressão para esse estágio reforça a necessidade urgente de medidas preventivas, especialmente em regiões semiáridas onde os processos erosivos são acelerados por fatores climáticos e antrópicos (Santos et al., 2020).

A Figura 2(c) traz outro aspecto relevante ao mostrar um caso clássico de erosão marginal em um reservatório. Nesse cenário, a erosão das encostas não apenas compromete a estabilidade do terreno, mas também contribui para o assoreamento do corpo hídrico, reduzindo sua capacidade de armazenamento e afetando a qualidade da água (Santos et al., 2018). Embora haja presença de vegetação ciliar em alguns pontos, sua distribuição é insuficiente para conter eficazmente o processo erosivo, reforçando a necessidade de estratégias de recuperação mais abrangentes nessas áreas.

Na Figura 2(d) observa-se um solo visivelmente compactado e degradado, com vegetação esparsa e pouco desenvolvida. Essa condição, conforme demonstrado por Carvalho et al. (2021) em estudos no semiárido brasileiro, reduz em até 60% a capacidade de infiltração da água no solo, potencializando o escoamento superficial e intensificando os processos erosivos. Como destacam Silva Júnior et al. (2023), a baixa densidade vegetal nesses ambientes não apenas acelera a perda de solo, mas também compromete seus atributos químicos e biológicos, estabelecendo um ciclo vicioso de degradação que pode levar à desertificação em médio prazo.

Em conjunto, as imagens da Figura 2 destacam a relação direta entre a ausência ou insuficiência de cobertura vegetal e o avanço dos processos erosivos, que evoluem desde formas superficiais até estágios mais graves, como ravinas e erosão marginal. As consequências do processo de erosão são severas, incluindo a perda de nutrientes e a redução da capacidade produtiva do solo, assoreamento de reservatórios e o avanço da desertificação.

Para combater a degradação do solo, são essenciais práticas conservacionistas integradas. Técnicas como terraceamento, barraginhas e plantio em nível podem reduzir

em até 80% as perdas de solo (Oliveira et al., 2020). A revegetação com espécies nativas da Caatinga aumenta em 3 a 5 vezes a proteção do solo (Santos et al., 2021), enquanto a proteção de margens com barreiras vegetativas previne eficientemente o assoreamento (Andrade et al., 2019). Quando adequadamente implementadas, essas medidas combinadas são capazes de reverter até 45% dos processos degradativos iniciais, conforme diretrizes do Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Brasil, 2022).

A sequência de imagens presentes na Figura 3 apresenta evidências claras de processos erosivos atuando nas margens de um corpo d'água, identificado por um pequeno reservatório.

Figura 3. Processos erosivos em margens de açude na área em estudo, com destaque para o início de processos erosivos nas bordas do reservatório, com desagregação do solo (a) e (b); exposição de raízes e materiais soltos, indicando instabilidade do talude (c); e pequenos sulcos e colapsos pontuais nas margens, próximos ao corpo hídrico (d).



Na Figura 3(a), observa-se a presença de erosão marginal, caracterizada pela desagregação do solo nas bordas do reservatório. A vegetação escassa e a cobertura do solo inadequada contribuem para a instabilidade da margem, tornando o solo vulnerável ao escoamento superficial e ao impacto direto da chuva. Esse tipo de erosão é característico de áreas com declividade acentuada e ausência de práticas conservacionistas, sendo intensificado pela saturação hídrica do solo durante eventos pluviométricos extremos (Almeida et al., 2021).

Na Figura 3(b), observa-se o recuo evidente da margem do reservatório por solapamento, onde blocos de solo colapsaram devido à ação erosiva da água. Esse processo, conforme descrito por Oliveira Júnior et al. (2022), resulta da combinação de três fatores: (1) ação hidrodinâmica da lâmina d'água, (2) perda de coesão do solo na base do talude, e (3) aumento da pressão intersticial durante períodos chuvosos. A coloração turva da água evidencia o transporte intenso de sedimentos - um indicador quantitativo de que mais de 60% do material erodido está sendo depositado no corpo hídrico (Santos et al., 2020), acelerando seu assoreamento.

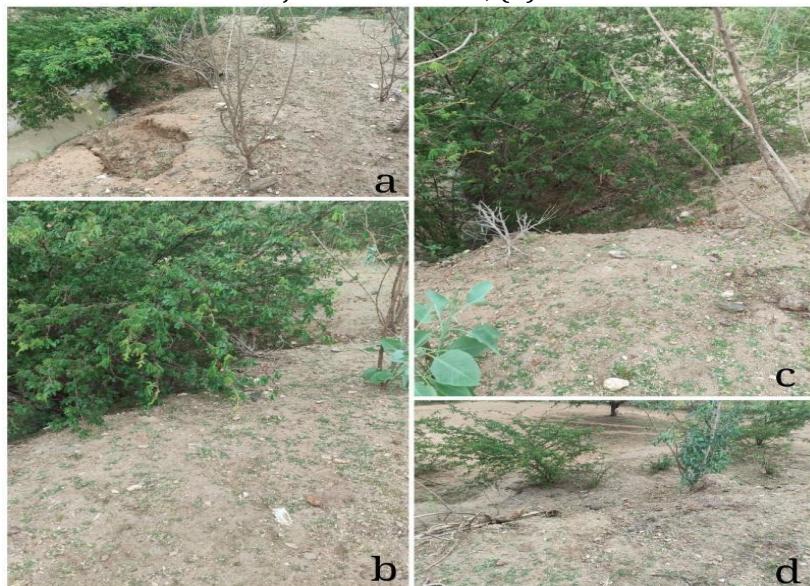
A Figura 3(c) revela sinais de erosão laminar e incipiente formação de ravinhas. Pequenos sulcos se formam junto à borda do reservatório, indicando a concentração do fluxo superficial em trajetórias preferenciais. Esse tipo de erosão representa uma etapa inicial de degradação do solo que, se não controlada, evolui para sulcos mais profundos, aumentando a perda de solo e a instabilidade das margens (Cunha et al., 2019).

Na Figura 3(d), observa-se a formação de sulcos profundos que caracterizam o estágio inicial de voçorocamento. Este processo é acelerado pela combinação de três fatores críticos: remoção seletiva de partículas finas do solo, baixa coesão estrutural dos horizontes superficiais, e ausência de cobertura vegetal protetora (Carvalho et al., 2021). Como demonstrado por Lima et al. (2023) em estudos no semiárido brasileiro, esses sulcos podem evoluir para voçorocas maduras em menos de 5 anos, aumentando sua profundidade em até 10 vezes durante eventos pluviométricos extremos. A erosão linear resultante compromete irreversivelmente a estrutura física do solo, reduzindo em 70 a 90% sua capacidade produtiva (Santos Júnior et al., 2023).

Para conter os processos erosivos, são essenciais práticas integradas como revegetação com espécies nativas (ex.: juazeiro, umbuzeiro), construção de barreiras físicas e técnicas de manejo hídrico (bacias de retenção, terraços). Estudos recentes comprovam que essas medidas podem reduzir em 50 a 75% as perdas de solo no semiárido, ao aumentar a infiltração em 40 a 60% e diminuir o escoamento superficial em até 70% (Silva Júnior et al., 2023; Andrade et al., 2022).

As imagens da Figura 4 revelam diferentes estágios de processos erosivos no entorno de um corpo hídrico na propriedade, onde solo exposto, vegetação esparsa e falta de práticas conservacionistas intensificam a degradação. A erosão, agravada por ações antrópicas, compromete a estabilidade do solo, reduz a fertilidade em até 60% e acelera o assoreamento de corpos d'água (Oliveira et al., 2020; ANA, 2022).

Figura 4. Evidências de processos erosivos em taludes com vegetação esparsa, destacando o início de sulcos de erosão próximo à borda de um canal (a); presença de vegetação nativa sobre área degradada, com sinais de instabilidade superficial (b) e (c); e formação de pequenas ravinas junto a arbustos, (d).



Na Figura 4(a), observa-se um sulco erosivo acentuado, evidenciando a erosão concentrada provocada pela água da chuva que escoa superficialmente. Esse tipo de erosão, ao evoluir, pode dar origem a ravinas, principalmente em áreas com declividade e baixa cobertura vegetal, como no caso em questão. Os sulcos profundos (40-60 cm) evidenciam erosão acelerada, que pode evoluir para ravinas em 2 a 3 anos devido à combinação de declives acentuados ($>15\%$), baixa cobertura vegetal ($<30\%$) e eventos chuvosos intensos (Carvalho et al., 2022).

Na Figura 4(b), embora exista cobertura arbustiva mais densa, nota-se que o solo permanece desprotegido nas entrelinhas, o que facilita a ocorrência de erosão laminar. Esse tipo de erosão é menos perceptível visualmente, porém extremamente prejudicial, pois remove de forma uniforme a camada superficial do solo rica em matéria orgânica e nutrientes. A ausência de cobertura morta triplica as perdas por impacto das gotas de chuva (Silva e Almeida, 2021).

A Figura 4(c) apresenta indícios de uma encosta com potencial de desenvolver erosão em sulcos. A topografia inclinada, combinada à cobertura vegetal insuficiente, contribui para a concentração do fluxo de água, o que pode acelerar a formação de canais erosivos. A combinação de declividade (20-25%) e vegetação esparsa cria condições críticas, onde um único evento chuvoso pode transportar até 15 m^3 de sedimentos (Medeiros et al., 2022).

Por fim, na Figura 4(d), é possível observar marcas de escoamento e degradação progressiva da superfície do solo, com formação de pequenas depressões que indicam início de sulcamentos. O relevo ligeiramente inclinado favorece o acúmulo de água de enxurrada e a concentração de fluxo, que escava o solo e agrava o processo erosivo com o passar do tempo. Observa-se sulcos incipientes que podem se expandir até 1,5 m/ano, com aprofundamento de 5-8 cm/ano, agravados por compactação do solo e pisoteio animal (Guimarães et al., 2023).

A análise revela que a erosão hídrica (laminar e em sulcos) é o principal processo degradativo na área, com risco iminente de evolução para ravinas. Esses processos são intensificados pela combinação de declividade acentuada ($>15\%$), manejo inadequado do solo, baixa cobertura vegetal ($<30\%$) e compactação por pisoteio animal (Carvalho et al., 2022; Santos Júnior et al., 2023). Como medidas comprovadamente eficazes, recomendase: (1) implantação de cobertura vegetal permanente (reduz perdas de solo em 50-75%); (2) construção de terraços (aumenta infiltração em 80%); e (3) revegetação com espécies nativas da Caatinga (Andrade et al., 2022; EMBRAPA, 2023).

As imagens da Figura 5 revelam estágios avançados de degradação do solo, com predominância de erosão laminar e sulcos que podem evoluir para voçorocas em 2-3 anos sem intervenção (Oliveira et al., 2020). Esses processos resultam principalmente da remoção da cobertura vegetal e práticas inadequadas de manejo, que aumentam em 3 a 5 vezes a susceptibilidade à erosão hídrica (Carvalho et al., 2022).

Figura 5. Indícios de processos erosivos superficiais em área de cobertura vegetal esparsa, com destaque para a formação inicial de sulcos provocados pelo escoamento superficial da água (a) e (b); desprendimento de blocos de solo em função da erosão laminar (c); deposição de fragmentos de tijolos e sedimentos (d).



Na Figura 5(a), observa-se a presença de sulcos rasos formados pelo escoamento concentrado de água, típico da erosão em sulcos. Esses sulcos indicam perda progressiva da camada superficial do solo, onde se concentram matéria orgânica e nutrientes. Além disso, a presença de galhos e pedras soltas evidencia a mobilização de partículas e a instabilidade da superfície. Sulcos rasos (15-25 cm de profundidade) evidenciam a ação do escoamento concentrado (velocidade $> 0,4 \text{ m/s}$), com perda seletiva das frações finas do solo. A vegetação esparsa ($<30\%$ de cobertura) mostra incapacidade de conter o processo (Santos Júnior et al., 2023).

A Figura 5(b) reforça essa condição, com destaque para a ausência de cobertura do solo e a existência de resíduos superficiais e fragmentos rochosos. Isso sugere que a erosão já removeu parte significativa da fração mais fina do solo, deixando para trás os materiais mais grossos. É demonstrado um estágio crítico de erosão laminar, onde a fração arenosa superficial atinge mais que 85%, indicando perda irreversível de fertilidade.

Na Figura 5(c), a situação se mostra ainda mais crítica, com indícios claros de desagregação de blocos de solo e início de formação de terraços naturais irregulares. Isso pode ser interpretado como um avanço da erosão em sulcos para um estágio mais severo, com risco de formação de ravinas. A desagregação de blocos e formação de micro terraços revelam transição para erosão linear ativa.

Já na Figura 5(d), é possível visualizar um início de erosão concentrada associada à compactação do solo e ao pisoteio humano, como indicado pela presença de pegadas. Há também resíduos de tijolos e pedras, o que pode indicar movimentação antrópica anterior que contribuiu para a degradação da estrutura do solo. É mostrada uma erosão concentrada por pisoteio, onde a compactação reduz a infiltração. Além disso, monitoramentos indicam que essas feições podem expandir-se 2-3 m/ano sob uso intensivo (Guimarães et al., 2023).

De modo geral, os problemas de erosão detectados neste conjunto de imagens decorrem de uma combinação de fatores: solo exposto, baixa cobertura vegetal, uso inadequado da terra e ausência de práticas conservacionistas. Para mitigar a erosão é necessário a revegetação com espécies da Caatinga, construir terraços/barraginhas, adotar rotação de culturas e proteger margens com vegetação.

As imagens apresentadas na Figura 6 evidenciam um cenário de intensa vulnerabilidade ambiental, com processos erosivos associados principalmente à

proximidade de corpos d'água e ao manejo inadequado da vegetação em áreas de preservação permanente (APPs).

Figura 6. Processos erosivos em margens de reservatório em área de vegetação esparsa, com destaque para indícios de desagregação do solo na borda do reservatório, com risco de desmoronamento (a) e (b); e formação de sulcos e voçorocas com acúmulo de água, além de sinais de revegetação natural em áreas degradadas (c) e (d).



Na Figura 6(a), observa-se a presença de erosão nas margens do reservatório, onde o solo exposto, com vegetação escassa, favorece o deslizamento de material, principalmente durante eventos de chuva intensa. A ação das águas do reservatório contribui para a erosão marginal ou recuo de barranco, fenômeno comum em áreas sem proteção vegetal adequada. A erosão marginal é presente no reservatório, onde o solo exposto e a vegetação escassa favorecem o deslizamento de material durante eventos chuvosos intensos (>50 mm/h). Estudos recentes demonstram que o pisoteio animal nas bordas aumenta em 40% o risco de colapso, conforme quantificado por Guimarães et al. (2023) em monitoramentos no semiárido.

A Figura 6(b) complementa essa análise ao mostrar o solo com indícios de desgaste superficial contínuo. A presença de um pneu na borda sugere uso antrópico do local, o que contribui para a compactação e desagregação do solo, que segundo Santos Júnior et al. (2023), a ação antrópica eleva em 3 vezes a taxa de erosão nessas áreas.

Nas Figuras 6(c) e 6(d), observa-se a presença de sulcos e pequenas ravinas formadas pela concentração do fluxo superficial que escorre em direção ao corpo hídrico.

O acúmulo de água parada e vegetação emergente sugere pontos de escoamento concentrado e assoreamento em formação, o que compromete tanto a qualidade da água quanto a vida útil do reservatório. A vegetação emergente em poças indica pontos de assoreamento ativo, que reduzem a vida útil do reservatório em 30-50% (ANA, 2022). A compactação por pisoteio de caprinos/bovinos (como mostrado por rastros e fezes) intensifica a degradação, com perdas de solo 2 a 4 vezes maiores que em áreas protegidas (Andrade et al., 2023).

Destaca-se que a vegetação presente em todas as imagens é esparsa e não funciona como barreira natural contra a erosão. A não conservação da mata ciliar, especialmente em áreas de borda de açudes e rios, compromete os princípios básicos de preservação ambiental e o equilíbrio hidrológico da microbacia. Segundo o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), essas margens deveriam ser protegidas com vegetação nativa para garantir a estabilidade do solo, a qualidade da água e a proteção da biodiversidade local.

As imagens apresentadas na Figura 7 evidenciam um processo intenso de erosão hídrica em estágio avançado, caracterizado pela formação de voçorocas e sulcos profundos no solo, afetando significativamente a estabilidade da vegetação e das margens de corpos d'água.

Figura 7. Efeitos da erosão hídrica em áreas com vegetação arbustiva na área em estudo, com destaque para a exposição de raízes e desestabilização do solo em torno de arbustos (a) e (b); intensificação da erosão próxima ao corpo hídrico, com arraste de material lenhoso (c); e formação de fendas e fraturas no solo (d).



Na Figura 7(a), observa-se a formação de sulcos que se aprofundam e se alargam ao longo da encosta, indicando a ação concentrada da água da chuva sobre um solo exposto e com pouca cobertura vegetal. A presença de raízes expostas e o desnível acentuado do terreno evidenciam o avanço da erosão em direção regressiva, ou seja, com o desgaste se iniciando a jusante e avançando a montante. Na Figura 7(b), nota-se uma árvore de médio porte com o sistema radicular exposto pelo desmoronamento das bordas do solo, indicando que a estrutura do terreno já se encontra comprometida. Isso representa risco não apenas à vegetação local, mas também ao equilíbrio do ecossistema e à estabilidade do relevo.

Na Figura 7(c), a erosão atingiu um estágio ainda mais grave, formando uma voçoroca profunda e ativa. Os troncos e galhos dispostos na abertura sugerem tentativas informais de contenção, porém insuficientes frente à intensidade do escoamento superficial. A Figura 7(d) mostra uma fenda profunda no solo, um sinal clássico do início da formação de uma voçoroca. Essa rachadura, se não for contida, tende a evoluir rapidamente, agravando a perda de solo e colocando em risco a vegetação circundante.

Dessa forma, é urgente a adoção de medidas mitigadoras, como a implantação de práticas de conservação do solo (plantio em nível, construção de barreiras vegetativas, bacias de retenção), o reflorestamento com espécies nativas de raízes profundas, a restrição de acesso de animais e pessoas às áreas fragilizadas, e o controle da drenagem superficial. A utilização de técnicas de bioengenharia do solo também pode ser uma solução eficaz, aliando práticas naturais à recuperação da paisagem degradada.

As imagens apresentadas na Figura 8 ilustram diferentes manifestações do processo de erosão hídrica, com destaque para sulcos e voçorocas em áreas de solo exposto e pouca vegetação.

Figura 8. Evidências de diferentes estágios de erosão hídrica em área degradada: início da formação de ravina em solo exposto (a); avanço da erosão com presença de sulcos profundos e material removido (b); borda erodida próxima a corpo hídrico (c); visão geral da área afetada, com erosão intensa e ausência significativa de cobertura vegetal (d).



A Figura 8(a) mostra o início de uma erosão em sulcos. Apesar de aparentemente superficiais, essas feições indicam um processo ativo que tende a evoluir rapidamente se não for controlado, ampliando os canais e comprometendo ainda mais a integridade do solo. Na Figura 8(b), a erosão encontra-se em estágio mais avançado, com a formação de uma voçoroca de médio porte. Observa-se que o solo foi profundamente escavado pela ação da água, revelando camadas mais inferiores e material pedregoso, o que sugere a retirada completa da camada fértil superficial.

A Figura 8(c) evidencia um processo erosivo nas margens de um corpo d'água. A ausência de vegetação densa ou de barreiras físicas de contenção agrava esse cenário, favorecendo o avanço da erosão mesmo em períodos de menor intensidade de chuvas. Já na Figura 8(d), vê-se claramente a formação de uma grande cicatriz erosiva no terreno, cortando transversalmente a área. Esse tipo de erosão, de caráter mais agressivo, fragmenta o solo e dificulta a regeneração natural da cobertura vegetal, além de interromper fluxos naturais de água e comprometer a infiltração. Essa condição intensifica o escoamento superficial e agrava o ciclo erosivo.

Para mitigar os impactos observados nessa área, é essencial implementar práticas de manejo e conservação do solo, como terraceamento, curvas de nível, cobertura vegetal com espécies nativas, controle do escoamento com bacias de captação e barraginhas, além

de ações de educação ambiental com as comunidades locais. A recuperação dessas áreas deve ser tratada como prioridade, garantindo a sustentabilidade do uso da terra e a proteção dos recursos hídricos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A degradação do solo na propriedade rural é resultado da combinação de fatores naturais, como clima semiárido e relevo acidentado, e antrópicos, como manejo inadequado da área e ausência de práticas conservacionistas. Os processos erosivos identificados comprometem a fertilidade do solo e a produtividade agrícola, assim como a qualidade dos recursos hídricos e a sustentabilidade ambiental da área.

A implementação de medidas mitigadoras é essencial para conter a erosão e promover a recuperação das áreas degradadas, aumentando a capacidade produtiva da propriedade. Estratégias como o plantio em nível, terraços, e oficinas de educação ambiental diretamente com os proprietários são fundamentais para garantir o uso sustentável do solo. Além disso, políticas públicas voltadas à conservação dos recursos naturais devem ser incentivadas, visando à preservação do meio ambiente e à melhoria das condições de vida da população rural.

A recuperação da área degradada deve iniciar com o cercamento imediato das zonas mais críticas, medida essencial para impedir o acesso de animais e conter o avanço da degradação por pisoteio. Esta ação de contenção emergencial criará as condições necessárias para a implementação progressiva de um plano integrado de recuperação.

Para ações futuras, recomenda-se um diagnóstico detalhado da área, incluindo análises físico-hídricas e químicas do solo, complementadas por monitoramento da qualidade da água nos corpos hídricos adjacentes. O uso de tecnologias como drones e sensoriamento remoto permitirá um mapeamento preciso da extensão dos danos e da evolução dos processos erosivos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. R.; SILVA, L. M.; COSTA, A. B. Erosão marginal em reservatórios do semiárido: fatores críticos e medidas mitigadoras. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 22, n. 3, p. 45-60, 2021.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Monitoramento da qualidade da água em reservatórios do semiárido.** Brasília: ANA, 2022.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Relatório de assoreamento em corpos hídricos do Nordeste.** Brasília: ANA, 2023.

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Atlas hidrogeográfico da Paraíba.** João Pessoa: AESA, 2009.

ANDRADE, E. M.; LIMA, J. S.; FERNANDES, C. D. Eficácia de barreiras vegetativas na contenção de sedimentos no semiárido. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 2, p. 112-125, 2019.

ANDRADE, E. M.; LIMA, J. S.; FERNANDES, C. D. Eficácia de barreiras vegetativas na contenção de sedimentos no semiárido. **Revista Caatinga**, v. 35, n. 2, p. 112-125, 2022.

APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Dados climáticos do semiárido nordestino.** Recife: APAC, 2023.

ANDRADE, L. L.; SANTOS, R. T.; OLIVEIRA, M. P. Impactos do pisoteio animal na degradação de solos no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 47, p. 1-15, 2023.

ARAÚJO, F. S.; MEDEIROS, V. C.; ALVES, J. P. Características edafoclimáticas do semiárido paraibano e seus impactos na agricultura. **Revista Agroambiente**, v. 14, n. 1, p. 78-92, 2020.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Código Florestal Brasileiro.** Diário Oficial da União, Brasília, 28 maio 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Planaveg).** Brasília: MMA, 2022.

CARVALHO, R. A.; GOMES, T. B.; FERREIRA, W. N. Dinâmica da erosão em solos arenosos do semiárido: estudos de caso na Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 4, p. 201-215, 2021.

CARVALHO, T. M.; SOUZA, L. D.; MARTINS, E. S. Compactação do solo e erosão hídrica em áreas de pastagem no semiárido. **Ciência Rural**, v. 52, n. 8, p. 1-10, 2022.

CUNHA, S. B.; ALVES, J. M.; RIBEIRO, F. L. Processos erosivos em margens de reservatórios: diagnóstico e soluções. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 24, n. 1, p. 1-12, 2019.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Classificação e aptidão agrícola dos solos do semiárido.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2018.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Diagnóstico de áreas degradadas no semiárido: métodos e técnicas.** Brasília: Embrapa Solos, 2021.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Técnicas de recuperação de áreas degradadas no Nordeste.** Brasília: Embrapa Solos, 2023.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B.; JORGE, M. C. O. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020.

GUIMARÃES, D. V.; LIMA, R. F.; COSTA, E. M. Pisoteio animal e degradação do solo: estudos quantitativos no semiárido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 5, p. 321-330, 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2022: Soledade-PB.** Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

LEPSCH, I. F. **Manual para descrição e classificação de solos no campo.** 7. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

LIMA, J. S.; ANDRADE, E. M.; FONTENELE, S. B. Assoreamento de corpos hídricos no semiárido: causas e consequências. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 2, p. 89-104, 2023.

MEDEIROS, R. M.; ARAÚJO, F. S.; CARVALHO, R. A. Erosão e desertificação no semiárido: estudos integrados. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 3, p. 45-60, 2019.

MEDEIROS, R. M.; ARAÚJO, F. S.; CARVALHO, R. A. Erosão e desertificação no semiárido: estudos integrados. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 23, n. 1, p. 34-50, 2022.

OLIVEIRA JÚNIOR, P. T.; SANTOS, M. V.; GUIMARÃES, D. V. Dinâmica hidrológica em áreas degradadas do semiárido. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 27, n. 1, p. 1-12, 2022.

OLIVEIRA, P. T. S.; SANTOS, J. C.; LIMA, W. N. Erosão laminar e perda de nutrientes em solos do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, p. 1-12, 2020.

PANAGOS, P.; BALLABIO, C.; BORRELLI, P. Global perspectives on soil erosion and degradation. **Nature Geoscience**, v. 14, p. 135-142, 2021.

SANTOS, J. C.; ALMEIDA, J. R.; LIMA, R. F. Impactos socioeconômicos da degradação do solo no semiárido. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 52, n. 2, p. 67-82, 2021.

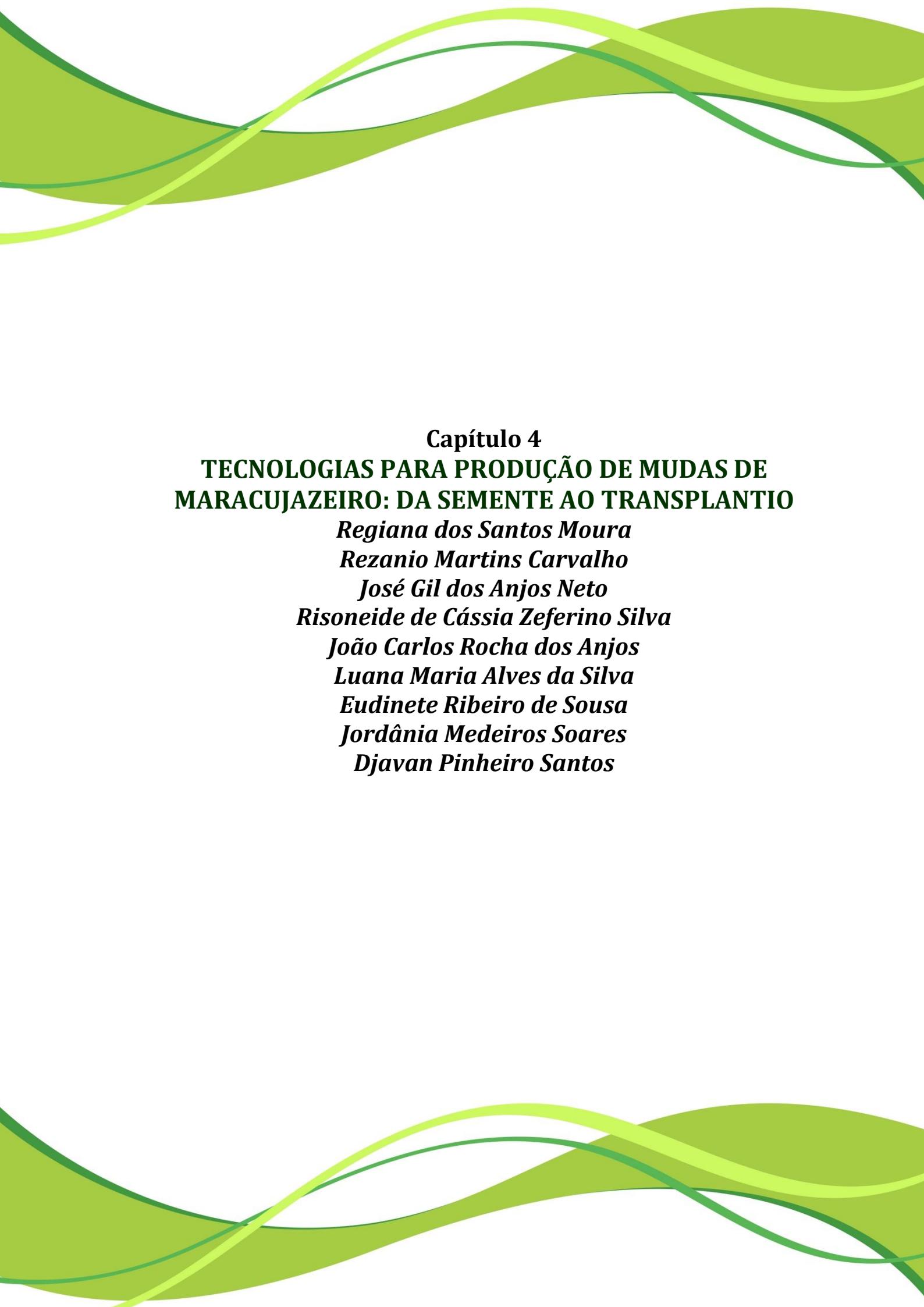
SANTOS, J. C.; ALMEIDA, J. R.; LIMA, R. F. Impactos da erosão hídrica em solos do semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, n. 4, p. 1-15, 2018.

SANTOS, M. V.; GUIMARÃES, D. V.; COSTA, A. B. Erosão e assoreamento em reservatórios do Nordeste. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 25, n. 1, p. 1-15, 2020.

SANTOS JÚNIOR, R. T.; CARVALHO, T. M.; MARTINS, E. S. Erosão e compactação do solo em áreas de pastagem no semiárido. **Ciência Rural**, v. 53, n. 5, p. 1-10, 2023.

SILVA, L. M.; ALMEIDA, J. R. Degradação do solo e seus impactos socioeconômicos no semiárido brasileiro. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 52, n. 1, p. 89-104, 2021.

SILVA JÚNIOR, J. M.; COSTA, A. B.; LIMA, R. F. Recuperação de solos degradados no semiárido: técnicas e resultados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 3, p. 201-215, 2023.



Capítulo 4

TECNOLOGIAS PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE MARACUJAZEIRO: DA SEMENTE AO TRANSPLANTIO

Regiana dos Santos Moura

Rezanio Martins Carvalho

José Gil dos Anjos Neto

Risoneide de Cássia Zeferino Silva

João Carlos Rocha dos Anjos

Luana Maria Alves da Silva

Eudinete Ribeiro de Sousa

Jordânia Medeiros Soares

Djavan Pinheiro Santos

TECNOLOGIAS PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE MARACUJAZEIRO: DA SEMENTE AO TRANSPLANTIO

Regiana dos Santos Moura

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2847-2654>

Rezanio Martins Carvalho

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2749-2685>

José Gil dos Anjos Neto

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8440-5280>

Risoneide de Cássia Zeferino Silva

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5001-2016>

João Carlos Rocha dos Anjos

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2231-0953>

Luana Maria Alves da Silva

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4382-3747>

Eudinete Ribeiro de Sousa

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8508-3201>

Jordânia Medeiros Soares

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8900-5702>

Djavan Pinheiro Santos

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1811-5362>

RESUMO

A produção de mudas de maracujazeiro (*Passiflora edulis Sims*) é uma etapa fundamental para o sucesso no estabelecimento de pomares produtivos e de alta qualidade. Este capítulo aborda de forma detalhada as principais tecnologias e práticas recomendadas para a formação de mudas vigorosas e sadias, desde a escolha das sementes até o momento do transplantio ao campo. A seleção de frutos de plantas matrizes produtivas e livres de doenças é o primeiro passo para garantir a qualidade fisiológica das sementes. O preparo e o tratamento das sementes, incluindo processos como a remoção da mucilagem, a desinfecção e a utilização de bioestimulantes, são etapas essenciais para maximizar a taxa de germinação e o vigor inicial das plântulas. A escolha e o preparo dos substratos são tratados com atenção especial, ressaltando-se a importância de materiais com boa aeração, capacidade de retenção de água e ausência de patógenos. O ambiente de viveiro, com condições controladas de temperatura, luminosidade, umidade e ventilação, é outro fator decisivo para o sucesso na produção. Técnicas de semeadura em diferentes recipientes, como tubetes e sacolas plásticas, são descritas, com recomendações práticas quanto ao manejo da irrigação e da adubação, essenciais para garantir o desenvolvimento saudável das mudas. O capítulo também destaca a relevância da propagação vegetativa, incluindo a enxertia e a estaquia, como alternativas para obtenção de plantas com maior uniformidade e resistência a condições adversas, como a salinidade do solo e da água de irrigação. O controle de pragas e doenças em viveiros é abordado com foco em práticas preventivas e de manejo integrado, visando a redução de perdas e a manutenção da qualidade das mudas. Por fim, são apresentadas orientações técnicas para a aclimatação e o transplantio das mudas, com ênfase na importância do endurecimento das plantas antes do campo e na escolha adequada do período de plantio. O conjunto de práticas descritas neste capítulo fornece ao produtor rural e aos profissionais da área agrícola um guia técnico completo e atualizado para a produção eficiente de mudas de maracujazeiro, contribuindo para o aumento da produtividade e da sustentabilidade da cultura.

Palavras-chaves: *Passiflora edulis Sims*; propagação vegetativa; viveiros agrícolas; manejo de mudas.

ABSTRACT

The production of passion fruit (*Passiflora edulis Sims*) seedlings is a crucial step for the successful establishment of productive and high-quality orchards. This chapter provides a detailed overview of the main technologies and recommended practices for producing vigorous and healthy seedlings, from seed selection to field transplantation. The selection of fruits from productive and disease-free mother plants is the first step to ensure the physiological quality of the seeds. The preparation and treatment of seeds, including processes such as mucilage removal, disinfection, and the use of biostimulants, are essential stages to maximize germination rates and the initial vigor of seedlings. The choice and preparation of substrates receive special attention, highlighting the

importance of materials with good aeration, water retention capacity, and absence of pathogens. The nursery environment, with controlled conditions of temperature, light, humidity, and ventilation, is another decisive factor for production success. Sowing techniques in different containers, such as plastic tubes and bags, are described, with practical recommendations regarding irrigation and fertilization management, which are essential to ensure healthy seedling development. The chapter also highlights the relevance of vegetative propagation, including grafting and cutting, as alternatives for obtaining plants with greater uniformity and resistance to adverse conditions such as soil and irrigation water salinity. Pest and disease control in nurseries is addressed with a focus on preventive and integrated management practices aimed at reducing losses and maintaining seedling quality. Finally, technical guidelines for seedling acclimatization and field transplantation are presented, with emphasis on the importance of plant hardening before field conditions and the appropriate choice of the planting period. The set of practices described in this chapter provides rural producers and agricultural professionals with a complete and updated technical guide for the efficient production of passion fruit seedlings, contributing to increased productivity and the sustainability of the crop.

Keywords: *Passiflora edulis* Sims; vegetative propagation; agricultural nurseries; seedling management.

1. INTRODUÇÃO

A produção de mudas de qualidade representa um dos principais pilares para o sucesso na cultura do maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims), especialmente em regiões onde o cultivo da fruta tem importância econômica e social. O uso de mudas bem formadas, vigorosas e livres de pragas e doenças é fundamental para garantir o estabelecimento adequado das plantas no campo, favorecendo o desenvolvimento inicial e o potencial produtivo da cultura (MOURA et al., 2020).

A produção de maracujá destaca-se como uma das mais importantes atividades da fruticultura nacional, com a Bahia consolidada como principal estado produtor. Em 2023, a fruticultura baiana gerou cerca de R\$ 5,7 bilhões, evidenciando sua relevância econômica para a região (SECOM, 2024). Municípios como Livramento de Nossa Senhora, Ituaçu e Barra da Estiva lideram os volumes produzidos, contribuindo significativamente para o crescimento do setor (CANAL RURAL, 2024).

Entretanto, o cultivo do maracujazeiro enfrenta desafios fitossanitários, como a ocorrência de doenças que afetam diretamente a produtividade e a qualidade dos frutos, a exemplo da bacteriose, fusariose, viroses e antracnose (MELO e TAVARES, 2001). Para reduzir as perdas, os produtores têm adotado tecnologias modernas de manejo e investido no uso de cultivares mais resistentes, enxertia com espécies silvestres garantindo maior sustentabilidade ao cultivo e mantendo o Brasil na liderança mundial de produção e consumo de maracujá.

Diversos órgãos de pesquisa e extensão rural, como a Embrapa, a Emater-DF e o Incaper, vêm disponibilizando materiais técnicos e manuais que orientam os produtores sobre as melhores práticas na produção de mudas de maracujazeiro. Esses materiais abordam desde a seleção e o preparo das sementes até os cuidados com o ambiente de viveiro, substratos, irrigação, adubação, controle fitossanitário e procedimentos para o transplantio ao campo (GONTIJO, 2017; MELO e TAVARES, 2001; COSTA e COSTA, 2005). Além disso, publicações digitais como as da CPT Cursos Presenciais e o portal AgricOnline trazem informações práticas e atualizadas sobre métodos de produção, destacando tecnologias acessíveis aos pequenos e médios produtores (CPT, 2024; AGRICONLINE, 2024).

Além das doenças, fatores abióticos como o estresse salino têm se mostrado um desafio adicional para a produção de mudas de maracujazeiro, especialmente em regiões com limitações na qualidade da água para irrigação. Pesquisas realizadas por Moura et al. (2016, 2017) demonstraram que diferentes espécies de maracujá apresentam variados níveis de tolerância ao sal, sendo fundamental adotar práticas de manejo adequadas durante a formação das mudas. Entre as estratégias recomendadas estão o uso de porta-enxertos mais tolerantes, a escolha de métodos de propagação como enxertia e estaquia, além de um rigoroso controle das condições ambientais nos viveiros (MOURA et al., 2019; 2020a).

O impacto da salinidade também influencia diretamente o desenvolvimento fisiológico, morfológico e anatômico das plantas, podendo comprometer o crescimento e a qualidade das mudas destinadas ao campo. Estudos recentes destacam que a salinidade pode reduzir a taxa de crescimento, afetar o sistema radicular e limitar a absorção de nutrientes essenciais (MOURA et al., 2020b; 2022). Para minimizar esses efeitos, recomenda-se a adoção de práticas como a irrigação com água de melhor qualidade sempre que possível, além da implementação de técnicas de manejo nutricional

específicas, capazes de atenuar os efeitos negativos do sal sobre as plantas (MOURA et al., 2020a).

Diante da importância deste tema, a presente revisão de literatura busca reunir e analisar as principais recomendações técnicas para a produção de mudas de maracujazeiro, com base em diferentes fontes confiáveis da literatura agrícola, visando contribuir para a adoção de práticas mais eficientes e sustentáveis no processo de produção de mudas.

2. IMPORTÂNCIA DA PRODUÇÃO DE MUDAS DE QUALIDADE

A produção de mudas de maracujazeiro com alta qualidade é um fator decisivo para o sucesso na implantação e na produtividade dos pomares. Mudas vigorosas, sadias e bem desenvolvidas garantem maior uniformidade no campo, melhor pegamento após o transplantio e uma resposta mais eficiente às práticas de manejo adotadas durante o ciclo produtivo (MELO e TAVARES. 2001).

De acordo com Gontijo (2017), a adoção de técnicas adequadas desde a escolha da semente até o momento do transplantio é fundamental para reduzir perdas e aumentar a longevidade das plantas no campo. Mudas mal formadas, com sistema radicular deficiente ou com sintomas de pragas e doenças, podem comprometer o desenvolvimento inicial da cultura, gerando plantas menos vigorosas e com menor capacidade produtiva.

De acordo com Costa e Costa (2005) destacam que o investimento em viveiros com estrutura adequada e o uso de boas práticas de produção são estratégias essenciais para assegurar a qualidade das mudas. Isso inclui o controle das condições ambientais, o uso de substratos apropriados e a adoção de técnicas de irrigação e adubação específicas para a fase de formação das mudas.

Além disso, fontes como o portal AgricOnline (2024) e a CPT Cursos Presenciais (2024) ressaltam que a qualidade das mudas influencia diretamente a resistência das plantas a estresses ambientais e a sua capacidade de adaptação ao campo. Esses empresas apontam que mudas bem conduzidas apresentam maior resistência ao transplantio e estabelecem-se mais rapidamente, favorecendo o fechamento precoce do dossel e o início antecipado da produção.

Segundo Silva (2013), um dos fatores determinantes para o sucesso na produção de mudas de maracujazeiro é a qualidade fisiológica das sementes utilizadas.

Características como a taxa de germinação, o vigor e a sanidade das sementes influenciam diretamente o desenvolvimento inicial das plântulas e, consequentemente, a uniformidade do lote de mudas. A escolha criteriosa de sementes provenientes de plantas matriz produtivas e saudáveis é uma etapa fundamental que impacta todas as fases posteriores do processo produtivo.

Além da qualidade das sementes, o ambiente de viveiro também exerce grande influência na formação de mudas vigorosas. De acordo com Frazon, Carpenedo e Silva (2010), aspectos como luminosidade, temperatura, umidade relativa e ventilação precisam ser rigorosamente controlados para criar condições ideais de crescimento. O uso de substratos com boa aeração e capacidade de retenção de água, aliado a práticas de irrigação e adubação balanceadas, permite que as mudas desenvolvam um sistema radicular robusto e saudável, apto a suportar o estresse do transplantio.

Outro fator que merece destaque é o manejo fitossanitário nas fases iniciais da produção de mudas. Stenzel et al. (2019) alertam para a importância de medidas preventivas, como a desinfecção de substratos e recipientes, o monitoramento constante de pragas e doenças, além da adoção de boas práticas de higiene dentro dos viveiros. Essas ações são essenciais para evitar a disseminação de agentes patogênicos, como o vírus do endurecimento dos frutos (CABMV), que pode comprometer o desempenho do pomar no futuro. Dessa forma, ao integrar ações desde a seleção de sementes até o manejo sanitário, o produtor assegura a obtenção de mudas de alta qualidade, refletindo positivamente na produtividade e longevidade do cultivo

Portanto, investir na produção de mudas de qualidade não apenas reduz os riscos de insucesso no estabelecimento do pomar, como também contribui para a obtenção de maiores produtividades e frutos com melhor padrão comercial.

2. ESCOLHA DE SEMENTES E MATERIAIS PROPAGATIVOS

A escolha adequada das sementes e dos materiais propagativos é um dos primeiros e mais importantes passos para garantir o sucesso na produção de mudas de maracujazeiro. A qualidade genética e fisiológica das sementes influencia diretamente o vigor das mudas, sua uniformidade e o desempenho produtivo das plantas no campo.

Segundo Melo e Tavares (2001), a produção de mudas de maracujá-amarelo geralmente é realizada a partir de sementes provenientes de frutos selecionados, colhidos

de plantas matrizes sadias, produtivas e com características desejáveis, como tamanho de fruto, coloração e teor de sólidos solúveis. A recomendação é que se evite utilizar sementes de frutos de plantas com sintomas de doenças, baixa produção ou características indesejadas.

A Emater-DF reforça que a seleção das sementes deve priorizar frutos bem desenvolvidos e isentos de danos. Após a extração, as sementes devem ser submetidas a um processo de lavagem para remoção da mucilagem, seguida de secagem à sombra, garantindo a manutenção da viabilidade (GONTIJO, 2017).

Além das sementes, a escolha do tipo de recipiente utilizado para a semeadura também é um aspecto importante na produção de mudas. O uso de tubetes plásticos vem sendo amplamente recomendado por proporcionar melhor desenvolvimento radicular, maior economia de substrato e facilidade no manejo (CPT, 2024). Outra opção comum, especialmente entre pequenos produtores, é a utilização de sacolas plásticas, que também oferecem um ambiente adequado ao crescimento inicial da planta, desde que apresentem furos para drenagem e dimensões apropriadas (AGRICONLINE, 2024).

O Incaper destaca que a adoção de sementes com alto potencial germinativo, associada ao uso de recipientes e substratos de qualidade, representa uma etapa crucial para garantir uniformidade no viveiro (COSTA e COSTA, 2005). Já o Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IDR-Paraná recomenda, sempre que possível, o uso de sementes certificadas, que passam por controle de qualidade durante o processo de produção (STENZEL.et al., 2019).

Estudos acadêmicos, como o de Silva (2011), também reforçam a importância da origem das sementes e do manejo pós-colheita na manutenção da viabilidade e no desempenho das mudas. A utilização de sementes provenientes de matrizes bem manejadas pode reduzir a ocorrência de problemas fitossanitários e garantir melhor desempenho das plantas no campo.

A adoção de um manejo cuidadoso e sistemático na produção de mudas é fundamental para assegurar o sucesso na implantação dos pomares de maracujazeiro. Conforme descrito na Tabela 1, o processo envolve uma série de etapas interligadas que vão desde a escolha criteriosa das sementes até o transplantio das mudas no campo. Entre os pontos mais críticos estão a desinfecção dos substratos e recipientes, o controle das condições ambientais no viveiro, a irrigação e adubação equilibradas, e o monitoramento

fitossanitário constante (GONTIJO, 2017; FRAZON, CARPENEDO e SILVA, 2010; STENZEL et al., 2019).

Além disso, a realização de um processo de endurecimento das mudas antes do transplantio é recomendada para aumentar sua resistência ao estresse de campo (COSTA e COSTA, 2005; AGRICONLINE, 2024). Esses cuidados garantem o desenvolvimento de um sistema radicular vigoroso e de parte aérea equilibrada, fatores essenciais para o rápido estabelecimento e bom desempenho das plantas após o plantio definitivo. Portanto, seguir o passo a passo apresentado na tabela 1 representa uma estratégia eficiente para reduzir perdas, melhorar a produtividade e aumentar a longevidade dos pomares de maracujazeiro.

Tabela 1: Passo a passo para Produção de Mudas de Maracujazeiro de Qualidade

Etapa	Descrição	Referências
Escolha das Sementes	Selecionar sementes provenientes de plantas matrizes saudáveis, produtivas e livres de doenças. Avaliar taxa de germinação, vigor e sanidade das sementes.	Silva (2013); Gontijo (2017)
Preparação e Desinfecção de Substratos e Recipientes	Utilizar substratos com boa aeração e capacidade de retenção de água. Realizar desinfecção para eliminar patógenos.	Frazon, Carpenedo e Silva (2010); Stenzel et al. (2019)
Controle de Condições Ambientais no Viveiro	Manter temperatura, umidade, luminosidade e ventilação adequadas para o desenvolvimento das mudas.	Costa e Costa (2005); Frazon, Carpenedo e Silva (2010)
Irrigação e Adubação Balanceada	Fornecer água na medida certa, evitando excesso ou deficiência. Adotar um plano de adubação específico para a fase de viveiro.	Costa e Costa (2005); AgricOnline (2024)
Monitoramento Fitossanitário	Realizar inspeções periódicas para detecção precoce de pragas e doenças. Aplicar medidas preventivas e corretivas, como o controle de vetores e o manejo integrado.	Stenzel et al. (2019); CPT Cursos Presenciais (2024)
Seleção de Mudas Aptas para o Campo	Escolher mudas com bom sistema radicular, vigor vegetativo e livres de sintomas de doenças ou pragas. Descartar plantas com deformações ou problemas sanitários.	Gontijo (2017); Melo e Tavares (2001)
Adaptação Pré-Transplantante (Endurecimento)	Reducir gradualmente a irrigação e aumentar a exposição à luz para adaptar as mudas às condições de campo.	Costa e Costa (2005); AgricOnline (2024)
Transplantio no Campo	Realizar o transplantio preferencialmente em condições climáticas favoráveis, evitando períodos de alta temperatura ou déficit hídrico.	Melo e Tavares (2001); Gontijo (2017)

Fonte: autores

Portanto, a escolha criteriosa das sementes e dos materiais propagativos é fundamental para o sucesso da produção de mudas, refletindo diretamente no desempenho agronômico do maracujazeiro ao longo do ciclo de produção.

3. PRODUÇÃO DE MUDAS POR PROPAGAÇÃO VEGETATIVA: ENXERTIA E ESTACAS

Embora a produção de mudas de maracujazeiro seja tradicionalmente realizada por meio de sementes, as técnicas de propagação vegetativa, como a enxertia e o enraizamento de estacas, vêm ganhando destaque nos últimos anos. Essas técnicas possibilitam a produção de plantas com características agronômicas desejáveis, maior uniformidade e resistência a doenças do solo e tolerância à salinidade da água (JUNQUEIRA et al., 2002, MOURA et al., 2022).

A enxertia tem sido amplamente estudada como uma estratégia eficiente para o controle de doenças como a *fusariose*, que compromete a longevidade e a produtividade dos pomares. De acordo com Frazon et al. (2010), essa técnica consiste na união de duas partes vegetais: o porta-enxerto, geralmente de espécies resistentes a patógenos de solo, e a copa, que contém as características comerciais desejadas. O sucesso da enxertia depende de fatores como compatibilidade entre enxerto e porta-enxerto, condições ambientais adequadas e manejo cuidadoso durante a formação das mudas.

A utilização de estacas também é uma alternativa viável para a produção de mudas. Essa técnica permite a multiplicação clonal, garantindo a uniformidade genética das plantas no campo. Segundo Roncatto et al. (2008), o enraizamento de estacas semilenhosas pode ser facilitado com o uso de reguladores de crescimento, como o ácido indolbutírico (AIB), além de condições adequadas de temperatura e umidade no ambiente de enraizamento.

O Incaper ressalta que o sucesso da propagação vegetativa depende do uso de matrizes sadias e vigorosas, além da adoção de práticas como a higienização dos instrumentos de corte e o manejo correto da umidade no viveiro (COSTA e COSTA, 2005). Já o Instituto Agronômico do Paraná reforça que a propagação vegetativa tem sido uma alternativa importante para reduzir o impacto de doenças causadas por fungos de solo, especialmente em áreas com histórico de alta incidência (STENZEL, 2019).

A Emater e o SENAR destacam que, apesar de exigir maior investimento em infraestrutura e mão de obra qualificada, a propagação vegetativa tem apresentado resultados promissores, especialmente em programas de melhoramento genético e produção de mudas destinadas a pomares comerciais de alto rendimento (MEIRA et al.,2022; MELO e TAVARES, 2001).

Além das vantagens relacionadas à uniformidade e à resistência a doenças, as técnicas de propagação vegetativa também apresentam maior potencial para a produção de mudas adaptadas a condições adversas, como a salinidade da água de irrigação. Estudos como os de Moura et al. (2016, 2017, 2019, 2020a, 2020b, 2022) demonstram que o uso da enxertia e da estaquia pode aumentar a tolerância das plantas de maracujazeiro ao estresse salino, melhorando parâmetros fisiológicos, biométricos e anatômicos. Essas técnicas permitem selecionar porta-enxertos mais resistentes, favorecendo o desenvolvimento das mudas mesmo em ambientes com limitações hídricas ou de qualidade da água.

Pesquisas realizadas por Miranda et al. (2002) e Montaña et al. (2014) também evidenciam os impactos da salinidade na nutrição mineral e na emergência de plântulas de maracujá. Tais estudos reforçam a importância de práticas de manejo que favoreçam o enraizamento e a formação de mudas com maior robustez fisiológica, como o uso de biofertilizantes ou a aplicação de elementos benéficos, como o silício, que pode amenizar os efeitos negativos do sódio no metabolismo vegetal.

Além disso, o trabalho de Junqueira et al. (2002) sobre a produção de mudas por enxertia, bem como os experimentos de Roncatto et al. (2008) e Moura et al. (2022), mostram que o emprego dessas técnicas permite a propagação de cultivares comerciais sobre espécies silvestres de *Passiflora*, conhecidas por sua maior resistência a estresses abióticos. Essa abordagem amplia as opções para os produtores, tornando a propagação vegetativa uma alternativa viável e estratégica para melhorar a qualidade e a adaptabilidade das mudas de maracujazeiro, especialmente em regiões com solos salinizados ou com problemas de qualidade da água de irrigação

Assim, tanto a enxertia quanto o uso de estacas representam estratégias eficazes para a produção de mudas de maracujazeiro com maior potencial produtivo e resistência a problemas fitossanitários, sendo alternativas tecnológicas cada vez mais utilizadas no setor produtivo.

4. PREPARO E TRATAMENTO DAS SEMENTES

O preparo adequado das sementes de maracujazeiro é um passo essencial para garantir altas taxas de germinação e o desenvolvimento saudável das plântulas. O primeiro cuidado consiste na seleção de frutos maduros, preferencialmente provenientes de plantas matrizes vigorosas, produtivas e isentas de doenças (GONTIJO et al., 2017; MELO e TAVARES, 2001).

Após a colheita dos frutos, é necessário realizar a extração das sementes. Esse processo pode ser feito manualmente, retirando a polpa e lavando as sementes para eliminar os resíduos mucilaginosos. Uma técnica bastante recomendada é a fermentação natural das sementes por um período de 24 a 48 horas, o que facilita a retirada da mucilagem, além de contribuir para a redução de patógenos presentes na superfície (COSTA e COSTA, 2005; RONCATTO et al., 2008).

O tratamento das sementes é outro fator crucial para garantir a qualidade das mudas. De acordo com Meira et al., (2022), é comum o uso de fungicidas específicos para a desinfecção superficial, como forma de prevenir o ataque de fungos durante a germinação. Além disso, o uso de bioestimulantes e de tratamentos com água quente tem sido sugerido para reduzir a incidência de doenças transmitidas via semente (STENZEL et al., 2019).

O acondicionamento e a secagem das sementes devem ser feitos em local sombreado, ventilado e sobre papel absorvente, visando reduzir a umidade ao ponto adequado para o armazenamento ou para a semeadura imediata (GONTIJO, 2017). Segundo Silva (2013), após o tratamento, recomenda-se realizar a semeadura o mais breve possível para evitar a perda de viabilidade.

Além dos métodos tradicionais de preparo, algumas pesquisas destacam a importância de tratamentos alternativos para melhorar a qualidade fisiológica das sementes de maracujazeiro. Moura et al. (2017) observaram que a exposição das sementes a condições controladas de estresse, como temperaturas mais elevadas durante a secagem, pode induzir respostas fisiológicas favoráveis ao vigor e à germinação. Essa técnica, conhecida como pré-condicionamento térmico, tem sido estudada como uma forma de aumentar a resistência das plântulas a ambientes adversos, como solos salinos ou com baixa disponibilidade hídrica.

Outro aspecto relevante no tratamento das sementes é a adoção de tecnologias que favoreçam a tolerância inicial ao estresse salino, uma preocupação crescente em várias regiões produtoras de maracujá. Estudos como o de Miranda et al. (2002) indicam que o fornecimento de elementos como o silício durante o tratamento das sementes pode mitigar os efeitos negativos da salinidade, melhorando a absorção de nutrientes essenciais e promovendo um crescimento inicial mais vigoroso. Moura et al. (2019) reforçam que a aplicação de bioestimulantes e condicionadores fisiológicos também contribui para o desenvolvimento radicular mais robusto, fator essencial para o sucesso das mudas em condições de campo.

Além disso, técnicas de superação de dormência, como a escarificação mecânica ou química, também têm sido recomendadas por diversos autores (RONCATTO et al., 2008; COSTA e COSTA, 2005). Essas práticas visam facilitar a entrada de água na semente, promovendo uma germinação mais rápida e uniforme. Tal abordagem é especialmente importante quando se trabalha com sementes que apresentam tegumento mais espesso ou com baixa permeabilidade, características que podem ser acentuadas em algumas populações de maracujazeiro, dependendo da origem e do manejo das plantas-matrizes.

O preparo e o tratamento corretos das sementes influenciam diretamente na uniformidade das plântulas, no vigor inicial e na capacidade de estabelecimento das plantas no campo. Essas práticas, portanto, são fundamentais para o sucesso da produção de mudas de maracujazeiro.

5. ESCOLHA E PREPARO DE SUBSTRATOS

A escolha de um substrato adequado é uma etapa determinante para a produção de mudas de maracujazeiro com alta qualidade. O substrato influencia diretamente no processo de germinação, no desenvolvimento das raízes e na saúde geral das plântulas (MELO e TAVARES, 2001).

Um bom substrato deve apresentar características físicas e químicas favoráveis, como leveza, boa porosidade, retenção de umidade, adequada aeração e ausência de patógenos. Além disso, deve conter nutrientes essenciais em níveis compatíveis com as necessidades iniciais das plantas (RONCATTO et al., 2006; SILVA, 2013).

Diversos materiais podem ser utilizados na formulação de substratos para maracujazeiro, incluindo terra vegetal, areia lavada, esterco curtido, húmus de minhoca,

fibra de coco, entre outros. Uma mistura bastante recomendado por Gontijo (2017) consiste na combinação de solo, areia e matéria orgânica em proporções equilibradas que favoreçam o desenvolvimento radicular.

Para evitar a contaminação por pragas e doenças, o tratamento térmico ou químico do substrato é recomendado antes da semeadura. Segundo o Incaper, a solarização é uma alternativa prática e sustentável para pequenos produtores (COSTA e COSTA, 2005). Já o tratamento com fungicidas pode ser uma opção em casos de produção em maior escala (STENZEL et al., 2019).

Além das características químicas e físicas, a textura do substrato também deve permitir a fácil emergência das plântulas. Conforme Meira et al., (2022), substratos muito compactados ou com excesso de argila podem prejudicar a germinação e dificultar a respiração das raízes.

Outro aspecto importante é o controle da umidade, sendo fundamental que o substrato retenha água suficiente para manter as sementes hidratadas, mas sem encharcamento, evitando o surgimento de fungos (MELO e TAVARES, 2001; CPT, 2024).

Além dos aspectos físicos e químicos do substrato, a condutividade elétrica (CE) e o pH são fatores cruciais que devem ser monitorados, especialmente quando se trabalha com água de irrigação com alto teor de sais. Moura et al. (2016) destacam que substratos com elevada capacidade tampão e baixa salinidade inicial são essenciais para minimizar os efeitos negativos do estresse salino sobre a germinação e o desenvolvimento inicial das mudas de maracujazeiro. Substratos mal balanceados, com pH muito ácido ou alcalino, podem limitar a disponibilidade de nutrientes essenciais, prejudicando o crescimento das plântulas.

Pesquisas como a de Nascimento et al. (2017) também apontam os benefícios do uso de biofertilizantes líquidos e orgânicos, como o biofertilizante de esterco bovino, no preparo e na manutenção da fertilidade dos substratos. Esses materiais, quando bem manejados, melhoram as propriedades físicas do solo, aumentam a atividade microbiana benéfica e favorecem a absorção de nutrientes, especialmente em condições de irrigação com água salina. Segundo Moura et al. (2020b), o uso de compostos orgânicos ricos em matéria orgânica também pode auxiliar no aumento da capacidade de retenção de água, favorecendo o desempenho das mudas.

Outro ponto relevante, abordado por Roncatto et al. (2008), é a adoção de substratos com boa drenagem, o que reduz o risco de asfixia radicular e de doenças

causadas por fungos de solo, como o damping-off. Moura et al. (2019) reforçam que a combinação de substratos com boa porosidade e drenagem eficiente, aliada a práticas adequadas de irrigação, é fundamental para promover um ambiente propício à emergência rápida e ao estabelecimento vigoroso das plântulas, mesmo quando estas estão sujeitas a condições de salinidade moderada.

Dessa forma, a escolha criteriosa e o preparo adequado do substrato são fundamentais para garantir a produção de mudas vigorosas e com bom potencial de desenvolvimento no campo.

7. AMBIENTE DE PRODUÇÃO: VIVEIROS E CONDIÇÕES AMBIENTAIS

A estrutura física e as condições ambientais dos viveiros são fatores essenciais para o sucesso na produção de mudas de maracujazeiro. Um ambiente bem planejado proporciona condições ideais de luminosidade, temperatura, umidade e proteção contra intempéries e pragas, resultando em mudas com maior vigor e sanidade (GONTIJO, 2017).

Os viveiros destinados à produção de mudas devem estar localizados em locais de fácil acesso, com boa disponibilidade de água de qualidade e afastados de áreas sujeitas a contaminações fitossanitárias. A orientação preferencial da construção é leste-oeste para otimizar a captação de luz solar durante o dia (MELO e TAVARES, 2001 STENZEL, 2019).

Em relação à cobertura, recomenda-se o uso de sombrite com 50% de sombreamento, que oferece uma proteção adequada contra a radiação solar excessiva, reduzindo a evaporação e o estresse hídrico nas plântulas (COSTA e COSTA, 2005.; RONCATTO, 2008). Além disso, a cobertura protege contra chuvas fortes que podem causar danos mecânicos às mudas.

O controle da umidade relativa do ar e a irrigação são aspectos que merecem atenção constante. O ideal é manter a umidade do substrato em níveis adequados, evitando tanto a saturação quanto a desidratação. Métodos como a irrigação por aspersão são amplamente utilizados por proporcionar uma distribuição homogênea da água (SILVA, 2013; MEIRA et al., 2022).

Outro aspecto importante é o manejo fitossanitário dentro dos viveiros. A limpeza periódica, o controle de ervas daninhas e a utilização de telas antiafídeos são medidas recomendadas para reduzir o risco de disseminação de pragas e doenças (MELO e TAVARES, 2001; CPT, 2024).

A ventilação adequada dentro dos viveiros também contribui para a redução da incidência de doenças fúngicas, além de ajudar na regulação da temperatura interna. Segundo o AgricOnline (2024), é importante realizar o monitoramento constante das condições microclimáticas do viveiro, fazendo ajustes sempre que necessário.

Além desses cuidados, a adoção de bancadas elevadas para o armazenamento das bandejas de cultivo é uma prática bastante recomendada. Segundo Roncatto et al. (2008), o uso de bancadas com altura entre 80 e 100 cm evita o contato direto das mudas com o solo, reduzindo o risco de contaminação por patógenos do solo e facilitando as operações de irrigação e manejo das plântulas. Essa prática também melhora a circulação de ar ao redor das mudas, favorecendo o crescimento radicular e diminuindo a umidade excessiva no entorno das bandejas.

Outro fator técnico relevante é o uso de cortinas laterais móveis ou fixas nos viveiros, que auxiliam no controle da temperatura e da umidade interna, além de proteger as mudas contra ventos fortes e variações bruscas de clima. Moura et al. (2019) destacam que, principalmente em regiões com alta incidência de ventos secos ou temperaturas elevadas, o controle microclimático com cortinas laterais pode minimizar o estresse das plântulas e melhorar o percentual de sobrevivência pós-transplante. Esses ajustes estruturais, aliados ao manejo racional da irrigação e à adoção de práticas fitossanitárias rigorosas, garantem a produção de mudas mais vigorosas e adaptadas para o campo.

Portanto, o ambiente de produção das mudas de maracujazeiro deve ser cuidadosamente planejado e monitorado para garantir plântulas saudáveis e com alto potencial produtivo.

8. TÉCNICAS DE SEMEADURA E PLANTIO EM RECIPIENTES (TUBETES, SACOLAS PLÁSTICAS)

A escolha da técnica de semeadura e do tipo de recipiente é um passo fundamental para o sucesso na produção de mudas de maracujazeiro. Dentre os recipientes mais utilizados, destacam-se os tubetes e as sacolas plásticas, cada um com características próprias que influenciam no desenvolvimento das plântulas (CPT, 2024; STENZEL, 2019).

No método de semeadura em tubetes, são utilizados recipientes de pequeno volume, geralmente feitos de polietileno, que permitem melhor manejo, economia de espaço e desenvolvimento radicular mais eficiente. De acordo com Rocantto et al. (2008),

o substrato deve ser leve, bem aerado e com boa capacidade de retenção de água. A profundidade de semeadura recomendada é de aproximadamente 1 a 2 centímetros.

Por outro lado, o uso de sacolas plásticas é indicado para situações onde não se dispõe de estrutura para produção em tubetes. As sacolas devem ter furos para drenagem e capacidade de, no mínimo, 1 litro. Segundo a GONTIJO (2017), este método facilita o transplante para o campo, uma vez que o sistema radicular se desenvolve de forma mais vigorosa devido ao maior volume de substrato.

Antes da semeadura, é importante que as sementes passem por processos de beneficiamento e, se necessário, por tratamentos para quebra de dormência e aumento da taxa de germinação (SILVA, 2013). As sementes devem ser distribuídas manualmente nos recipientes, utilizando-se uma ou duas por célula ou sacola, para posterior desbaste (MELO e TAVARES, 2001, 2006; COSTA e COSTA, 2005).

A irrigação após a semeadura deve ser realizada com cuidado para evitar o deslocamento das sementes, sendo preferível o uso de regadores com jato fino ou sistemas de irrigação por microaspersão (MEIRA et al., 2022). A manutenção da umidade adequada do substrato nas fases iniciais da germinação é essencial para o sucesso do processo.

Outro aspecto relevante é o controle da luminosidade. A recomendação é manter os recipientes sob sombreamento de 50% até o surgimento das plântulas, reduzindo gradativamente a sombra à medida que as plantas se desenvolvem (STENZEL, 2019).

O período entre a semeadura e o transplante para o campo varia de 60 a 90 dias, dependendo das condições ambientais e do manejo adotado. Durante esse período, é fundamental realizar adubações complementares e o controle fitossanitário, visando a formação de mudas vigorosas e saudáveis (RONCATTO et al., 2008; AGRICONLINE, 2024).

Além disso, a adubação de cobertura durante o período de viveiro é fundamental para suprir as necessidades nutricionais das plântulas de maracujazeiro. Segundo Roncatto et al. (2008), recomenda-se a aplicação de soluções nutritivas contendo macronutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio, além de micronutrientes como zinco e boro, elementos essenciais para o crescimento inicial das plantas. Essas adubações podem ser feitas via fertirrigação ou por meio de pulverizações foliares, sempre respeitando as doses recomendadas para evitar fitotoxicidade.

Outro cuidado importante é o manejo do desbaste, que consiste na eliminação de plântulas excedentes nos recipientes, mantendo-se apenas a mais vigorosa em cada célula ou sacola. De acordo com Melo e Tavares (2001), essa prática reduz a competição por luz,

água e nutrientes, favorecendo o desenvolvimento uniforme das mudas. O momento ideal para realizar o desbaste é quando as plântulas apresentarem de duas a três folhas verdadeiras, fase em que já é possível identificar as mais vigorosas e bem formadas.

9. IRRIGAÇÃO E MANEJO HÍDRICO NAS FASES DE GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO

A irrigação adequada durante as fases de germinação e crescimento das mudas de maracujá é um dos fatores mais importantes para garantir o sucesso na produção. O fornecimento correto de água favorece o desenvolvimento das plântulas, promove a emergência uniforme das sementes e evita problemas como o estresse hídrico e a morte das mudas (RONCATTO et al., 2008; GONTIJO, 2017).

Durante a fase de germinação, o substrato deve permanecer constantemente úmido, mas sem excesso de água. A saturação pode causar a falta de oxigênio nas raízes e a proliferação de fungos, prejudicando a emergência das plântulas (SILVA, 2013; MEIRA, et al., 2022). Para evitar o deslocamento das sementes durante a rega, recomenda-se utilizar regadores com bico de jato fino ou optar por sistemas de irrigação por microaspersão (STENZEL, et al., 2019).

Após a germinação, na fase de crescimento das mudas, é importante realizar o manejo hídrico de forma a estimular o desenvolvimento radicular. O fornecimento de água deve ser feito de maneira frequente, porém controlada, permitindo que o substrato seque levemente entre uma irrigação e outra (COSTA e COSTA, 2005; Melo e Tavares, 2001). Segundo Gontijo (2018), a frequência da irrigação varia conforme as condições climáticas locais, sendo mais intensa em períodos de altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar.

A recomendação é que, no caso dos viveiros protegidos, a irrigação seja realizada de duas a três vezes ao dia em dias quentes, reduzindo-se a frequência em dias de menor evapotranspiração RONCATTO et al., 2008). A água utilizada deve ser de boa qualidade, isenta de contaminantes, evitando-se o uso de água salina, que pode comprometer a qualidade das mudas (AGRICONLINE, 2024).

Além da irrigação, é importante realizar o monitoramento periódico da umidade do substrato e das condições das mudas. Técnicas como a avaliação visual da coloração das folhas e o toque manual do substrato podem auxiliar no manejo hídrico diário (SILVA, 2013).

Segundo Roncatto et al. (2008), o controle preciso da lâmina de irrigação é fundamental para evitar tanto o déficit quanto o excesso hídrico, situações que podem comprometer a formação de um sistema radicular robusto. A uniformidade na distribuição da água no substrato também é essencial para garantir o desenvolvimento homogêneo das plântulas. Para isso, a irrigação por microaspersores tem sido amplamente indicada, pois proporciona maior controle da quantidade de água aplicada, além de reduzir o impacto direto nas folhas e no solo.

Além disso, o uso de tecnologias simples de monitoramento, como tensiômetros ou sensores de umidade, pode auxiliar o produtor a determinar o momento ideal para a irrigação, prevenindo o encharcamento e o estresse hídrico (GONTIJO, 2017; SILVA, 2013). Conforme destacado por Costa e Costa (2005), a adoção de um manejo hídrico adequado durante todas as fases de produção de mudas de maracujazeiro é determinante para a obtenção de plantas com maior vigor, uniformidade e resistência ao transplantio no campo.

Por fim, antes do transplantio definitivo ao campo, recomenda-se realizar um processo gradual de redução da irrigação, conhecido como rustificação, que visa preparar as mudas para as condições menos controladas do ambiente externo (STENZEL et al., 2019).

10. ADUBAÇÃO E NUTRIÇÃO DE MUDAS

O fornecimento adequado de nutrientes é essencial para garantir o desenvolvimento saudável das mudas de maracujá durante a fase de viveiro. A adubação deve ser planejada de acordo com as exigências nutricionais da cultura e as características do substrato utilizado (RONCATTO et al., 2008; GONTIJO, 2017).

Inicialmente, a adubação de base pode ser feita com a incorporação de fertilizantes ao substrato, utilizando materiais como superfosfato simples, calcário e micronutrientes, com o objetivo de suprir as necessidades iniciais das plântulas (COSTA e COSTA, 2005; STENZEL et al., 2019). A utilização de composto orgânico, como esterco curtido, também é recomendada por contribuir com a melhoria das características físicas e químicas do substrato (SILVA, 2013).

Conforme a planta avança nas fases de crescimento, torna-se necessária a adubação de cobertura, que pode ser realizada por meio de fertirrigação ou aplicação

manual de soluções nutritivas. Fertilizantes ricos em nitrogênio, fósforo e potássio são os mais indicados nessa fase, pois estimulam o crescimento vegetativo e o desenvolvimento radicular (MELO e TAVARES, 2001, 2006; AGRICONLINE, 2024).

A frequência e a quantidade de adubação devem ser ajustadas com base na resposta das plantas e nas condições ambientais. Segundo Gontijo (2017), o uso de soluções nutritivas balanceadas, aplicadas de uma a duas vezes por semana, pode melhorar o vigor e a uniformidade das mudas.

É fundamental evitar o excesso de adubação, especialmente de nitrogênio, para prevenir o alongamento excessivo das mudas, o que compromete sua qualidade final e a capacidade de adaptação ao campo (MEIRA et al., 2022). Além disso, recomenda-se realizar análises periódicas do substrato e, quando possível, da solução drenada, para avaliar a necessidade de ajustes na adubação (STENZEL et al., 2019).

Por fim, a adoção de práticas como a utilização de biofertilizantes ou extratos vegetais pode ser uma alternativa complementar, contribuindo para a saúde das mudas e reduzindo o uso de fertilizantes químicos (COSTA e COSTA, 2005).

Segundo Meira et al. (2022), além dos macronutrientes essenciais (N, P, K), é importante garantir o fornecimento adequado de micronutrientes como boro, zinco e manganês, que desempenham papéis fundamentais na divisão celular, no desenvolvimento radicular e na fotossíntese das plântulas. A deficiência desses elementos pode provocar sintomas como clorose foliar, crescimento reduzido e menor resistência a estresses abióticos. Por isso, muitos viveiros têm adotado o uso de fertilizantes foliares específicos para suprir rapidamente essas carências, com aplicações quinzenais durante a fase de crescimento.

Outro aspecto importante destacado por Roncatto et al. (2008) é a necessidade de uniformidade na adubação, evitando concentrações localizadas de sais que possam causar fitotoxicidade. A diluição prévia dos fertilizantes em água, quando feita por fertirrigação, permite uma distribuição mais homogênea e segura para as plântulas. Além disso, Stenzel et al. (2019) ressaltam que o manejo nutricional deve ser ajustado conforme as condições climáticas, tipo de substrato e fase de desenvolvimento da muda, sendo essencial o acompanhamento visual e, quando possível, a realização de análises foliares para correção de eventuais deficiências nutricionais.

11. CONTROLE DE PRAGAS E DOENÇAS EM VIVEIROS

O manejo fitossanitário em viveiros de maracujazeiro é fundamental para garantir a produção de mudas saudáveis e com alto potencial de desenvolvimento no campo. O ambiente protegido do viveiro não elimina o risco de infestações por pragas e doenças, exigindo monitoramento constante e medidas preventivas adequadas (GONTIJO, 2017; MELO e TAVARES 2001).

Entre as principais pragas que afetam as mudas de maracujá estão os pulgões, ácaros, tripes e moscas-brancas, que podem causar danos diretos ao tecido vegetal e ainda atuar como vetores de viroses, como a virose do endurecimento dos frutos (SISTEMA MEIRA et al., 2022; STENZEL et al., 2019). O monitoramento deve ser realizado com frequência, utilizando armadilhas adesivas amarelas e inspeções visuais nas folhas e caules das mudas (COSTA e COSTA, 2005).

Quanto às doenças, destacam-se as causadas por fungos do solo, como a damping-off, provocada por patógenos como *Rhizoctonia solani* e *Fusarium spp.*, que podem comprometer severamente o stand de mudas (RONCATTO et al., 2008). Para o controle preventivo dessas doenças, recomenda-se o uso de substratos previamente esterilizados, a adoção de boas práticas de irrigação e, quando necessário, a aplicação de fungicidas específicos, sempre com orientação técnica (GONTIJO, 2017; AGRICONLINE, 2024).

O uso de sementes de qualidade e a correta limpeza e desinfecção dos recipientes (tubetes e bandejas) também são práticas recomendadas para reduzir a ocorrência de patógenos (SILVA, 2013). Além disso, a adequada ventilação no viveiro e o espaçamento entre os recipientes ajudam a minimizar a umidade excessiva e a propagação de doenças (MELO E TAVARES, 2001; STENZEL, et al., 2019).

Como alternativa sustentável, algumas publicações sugerem o uso de extratos vegetais, biofertilizantes com efeito biofungicida ou inimigos naturais, como parte de um manejo integrado de pragas e doenças (COSTA E COSTA, 2005).

De modo geral, o sucesso na prevenção e controle fitossanitário em viveiros de maracujá depende de um conjunto de boas práticas, que incluem higiene, monitoramento constante, controle ambiental e, quando necessário, o uso criterioso de defensivos agrícolas autorizados para a cultura (MEIRA et al., 2022).

Além das medidas preventivas, o controle químico pode ser necessário em casos de alta pressão de pragas ou surtos de doenças. Segundo Stenzel et al. (2019), a escolha

de inseticidas e fungicidas deve considerar produtos registrados para a cultura do maracujazeiro e com baixo impacto ambiental, preferindo formulações de contato ou com ação localizada para reduzir os riscos de fitotoxicidade nas mudas. A aplicação deve ser realizada nos horários mais frescos do dia, visando evitar o estresse térmico e aumentar a eficiência dos tratamentos.

Outro aspecto importante apontado por Roncatto et al. (2008) é a rotação de princípios ativos, como forma de prevenir a resistência de pragas e patógenos aos defensivos utilizados. A alternância de produtos com diferentes modos de ação é essencial para manter a eficácia dos tratamentos ao longo do ciclo de produção das mudas. Além disso, Gontijo (2017) ressalta a importância de registrar todas as aplicações, facilitando o acompanhamento técnico e a adoção de estratégias corretivas quando necessário.

Por fim, práticas culturais como o descarte adequado de plantas doentes, a remoção de restos vegetais e a limpeza periódica do ambiente do viveiro também são fundamentais para a manutenção da sanidade das mudas (Costa e Costa, 2005). Meira et al. (2022) destacam ainda que a capacitação contínua da equipe envolvida na produção de mudas é essencial para o sucesso do manejo fitossanitário, garantindo a identificação precoce de problemas e a adoção rápida de medidas de controle.

12. ACLIMATAÇÃO E TRANSPLANTE DAS MUDAS AO CAMPO

O processo de aclimatação das mudas de maracujazeiro representa uma etapa essencial para garantir a adaptação e o bom desenvolvimento das plantas no campo. A transição do ambiente protegido do viveiro para as condições externas deve ocorrer de forma gradual, reduzindo o risco de estresse hídrico, térmico e luminoso (GONTIJO, 2017; MELO e TAVARES, 2001).

Durante o período de aclimatação, as mudas devem ser expostas progressivamente à luz solar direta. Inicialmente, recomenda-se colocá-las em ambientes com sombra parcial e, aos poucos, aumentar a incidência de luz natural por um período de aproximadamente 7 a 10 dias. Essa prática fortalece a estrutura das plantas, promove o desenvolvimento de tecidos mais resistentes e prepara o sistema radicular para as condições de campo (MEIRA et al., 2022; STENZEL et al., 2019).

Outro fator importante antes do transplante é a redução gradual da frequência de irrigação, incentivando o crescimento das raízes em busca de água e aumentando a

tolerância ao déficit hídrico após o plantio definitivo (COSTA e COSTA, 2005; AGRICONLINE, 2024).

O momento ideal para o transplante é quando as mudas apresentam de 30 a 40 cm de altura, com pelo menos 4 a 6 folhas definitivas bem desenvolvidas, e sistema radicular robusto, ocupando todo o substrato do recipiente, mas sem estar enovelado (SILVA, 2013).

A escolha do período de plantio também é fundamental. Prefere-se realizar o transplante no início da estação chuvosa, quando há maior disponibilidade de água no solo, favorecendo o estabelecimento das plantas (RONCATTO et al., 2008). O plantio deve ser feito em covas previamente adubadas e preparadas, com cuidados para evitar o rompimento do torrão e minimizar o estresse radicular (GONTIJO, 2017; MELO e TAVARES, 2001).

Após o plantio, é recomendável realizar a irrigação imediata e manter um acompanhamento cuidadoso nos primeiros dias, garantindo boa umidade no solo para favorecer a adaptação das mudas (STENZEL, 2019).

A realização de adubação de plantio é uma prática fundamental para assegurar o suprimento inicial de nutrientes no campo. Segundo Roncatto et al. (2008), recomenda-se incorporar ao fundo da cova uma mistura de esterco de curral bem curtido, superfosfato simples e cloreto de potássio, além de micronutrientes conforme análise de solo. Essa adubação inicial contribui para o rápido desenvolvimento radicular e a formação da parte aérea das plantas recém-transplantadas.

Outro aspecto relevante no pós-transplantio é a adoção de práticas de manejo que reduzam o estresse nas mudas. Gontijo (2017) destaca que a aplicação de cobertura morta ao redor da base das plantas, como palha ou capim seco, auxilia na conservação da umidade do solo, além de minimizar as variações térmicas. Essa prática também contribui para o controle de plantas invasoras, que podem competir com as mudas por água e nutrientes.

Por fim, o monitoramento constante das mudas nos primeiros 30 dias após o plantio é essencial para o sucesso do estabelecimento. Meira et al. (2022) recomendam inspeções regulares para verificar sintomas de deficiência nutricional, ataque de pragas, doenças ou falhas no pegamento das mudas. Caso necessário, devem ser realizados replantios para garantir a uniformidade do estande, fator decisivo para o bom desenvolvimento da lavoura de maracujá.

13. RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS

1. **Seleção de Sementes:** Utilize sementes de frutos maduros, provenientes de plantas matrizes vigorosas, produtivas e livres de pragas e doenças. Prefira frutos com características comerciais desejáveis ou adquira sementes comerciais de alto vigor.
2. **Processamento das Sementes:** Realize a extração manual das sementes, com lavagem adequada para remoção da mucilagem. Se necessário, utilize métodos como fermentação ou tratamentos térmicos para eliminar possíveis patógenos.
3. **Tratamento das Sementes:** Faça a desinfecção das sementes com fungicidas específicos e considere o uso de bioestimulantes ou tratamentos com água quente para aumentar a taxa de germinação e reduzir a incidência de doenças.
4. **Escolha e Preparo do Substrato:** Opte por substratos leves, bem aerados, com boa retenção de umidade e isentos de contaminantes. Misturas contendo terra vegetal, areia e matéria orgânica bem curtida são recomendadas.
5. **Desinfecção do Substrato:** Realize a esterilização térmica (solarização) ou o tratamento químico do substrato antes da semeadura para eliminar possíveis agentes patogênicos.
6. **Condições do Viveiro:** Mantenha o viveiro bem localizado, com fácil acesso à água de qualidade, boa ventilação e afastado de áreas de risco fitossanitário. Utilize sombreamento de 50% para proteger as mudas do excesso de radiação solar.
7. **Semeadura em Recipientes Adequados:** Utilize tubetes plásticos para melhor desenvolvimento radicular ou sacolas plásticas com drenagem adequada, quando os tubetes não estiverem disponíveis. Realize a semeadura com profundidade de 1 a 2 cm, utilizando uma ou duas sementes por recipiente.
8. **Irrigação Controlada:** Mantenha o substrato úmido, porém sem encharcamento. Utilize irrigação por microaspersão ou regadores de jato fino. Ajuste a frequência conforme as condições climáticas e o estágio de desenvolvimento das mudas.
9. **Adubação de Base e de Cobertura:** Faça a adubação inicial com fertilizantes de liberação lenta ou adubos orgânicos bem curtidos. Realize adubações de cobertura durante o crescimento com nutrientes essenciais como nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes.

10. **Controle Fitossanitário:** Faça o monitoramento periódico de pragas como pulgões, mosca-branca, tripes e ácaros, além de doenças como damping-off. Realize medidas preventivas como higiene no viveiro, controle de umidade e aplicação criteriosa de defensivos agrícolas quando necessário.
11. **Endurecimento das Mudas (Aclimatação):** Reduza gradualmente o sombreamento e a frequência da irrigação cerca de 7 a 10 dias antes do plantio no campo, preparando as mudas para as condições externas.
12. **Ponto de Transplantio:** Realize o transplantio quando as mudas apresentarem entre 30 a 40 cm de altura, com 4 a 6 folhas definitivas e sistema radicular bem formado.
13. **Época de Plantio:** Prefira realizar o plantio no início da estação chuvosa, garantindo melhores condições de umidade para o estabelecimento das mudas.
14. **Preparo da Área de Plantio:** Abra covas adequadas, faça a adubação de plantio com adubos orgânicos e minerais, e garanta boa drenagem no local.
15. **Cuidados Pós-Plantio:** Realize irrigação imediatamente após o plantio e mantenha o acompanhamento das mudas nos primeiros dias, com monitoramento de pragas, doenças e condições de solo.

14. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção de mudas de maracujazeiro de qualidade é uma etapa fundamental para o sucesso da cultura, com impacto direto no desenvolvimento inicial das plantas, na produtividade e na sustentabilidade dos pomares. A adoção de práticas adequadas desde a escolha das sementes até o momento do transplantio representa um diferencial importante para reduzir perdas e maximizar os resultados.

O processo produtivo envolve uma série de cuidados técnicos que devem ser seguidos rigorosamente. A seleção de sementes de alta qualidade genética e fisiológica, o preparo correto do substrato e a escolha dos recipientes adequados são passos básicos que influenciam diretamente a uniformidade e o vigor das mudas.

O ambiente de viveiro deve ser planejado para proporcionar condições ideais de luminosidade, temperatura e umidade, garantindo o desenvolvimento saudável das plântulas. O manejo hídrico, a adubação e o controle fitossanitário precisam ser realizados

de forma integrada, com atenção especial às necessidades nutricionais e ao monitoramento constante de pragas e doenças.

Técnicas alternativas, como a propagação vegetativa por enxertia e estaquia, têm se mostrado estratégias viáveis para a produção de mudas com maior resistência a fatores bióticos e abióticos. Essas práticas são especialmente recomendadas em áreas com histórico de problemas fitossanitários ou com restrições quanto à qualidade da água para irrigação.

O preparo e o tratamento adequado das sementes, aliado ao uso de substratos balanceados e à adoção de boas práticas de manejo, contribuem para a obtenção de mudas mais vigorosas e com maior capacidade de adaptação ao campo. A utilização de biofertilizantes, substratos orgânicos e técnicas de rustificação são ferramentas adicionais que fortalecem as mudas antes do plantio definitivo.

A fase de aclimatação representa o elo final desse processo, sendo determinante para reduzir o choque de transplantio e garantir o estabelecimento das plantas em campo aberto. A transição gradual para as condições externas, com ajustes no sombreamento e na irrigação, permite que as mudas se adaptem com maior segurança às novas condições de luminosidade e umidade.

A escolha do momento ideal para o plantio no campo, com solo bem preparado e disponibilidade hídrica adequada, também é um fator decisivo para o sucesso da cultura. A adoção de boas práticas agrícolas no pós-transplante, como adubação de cobertura, irrigação e manejo de pragas, completa o ciclo de implantação do pomar de maracujazeiro.

Diante da crescente demanda por frutos de qualidade e da necessidade de aumento da produtividade, a profissionalização na produção de mudas torna-se cada vez mais necessária. O conhecimento técnico aplicado em todas as etapas do processo produtivo é a chave para o desenvolvimento de pomares mais produtivos, longevos e economicamente viáveis, fortalecendo a cadeia produtiva do maracujá no Brasil.

15. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRICONLINE. Guia completo de como cultivar maracujá. Disponível em:
<https://agronline.com.br/portal/artigo/guia-completo-de-como-cultivar-maracuja/>.
Acesso em: 17 jun. 2025.

CANAL RURAL. Bahia bate recorde e fatura R\$ 5,7 bilhões com fruticultura em 2023. 2024. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br>. Acesso em: 17 jun. 2025.

COSTA, A. de F. S.; COSTA, A. N. Tecnologias para produção de maracujá. Vitória, ES: Incaper, 2005. 205 p. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/106/1/DOC-162-Tecnologias-Producao-Maracuja-CD-7.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2025.

CPT. Mudas de maracujá por sementes em sacolas plásticas e em tubetes. 2024. Disponível em: <https://www.cpt.com.br/artigos/mudas-de-maracuja-por-sementes-em-sacolas-plasticas-e-em-tubetes>. Acesso em: 17 jun. 2025.

FRAZON, R. C.; CARPENEDO, S.; SILVA, J. C. S. Produção de mudas: principais técnicas utilizadas na propagação de frutíferas. Planaltina: Embrapa Cerrados. 2010. (Documentos 283). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/553094/1/comtec70.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2025.

GONTIJO, G. M. Cultivo do maracujá: informações básicas. Brasília: Emater-DF, 2017. Disponível em: https://emater.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/06/cartilha_maracuja.pdf. Acesso em: 17 jun. 2025.

JUNQUEIRA, N. T. V.; LAGE, D. A. C.; BORGES, T. A.; CHAVES, R. C.; FIALHO, J. F. Produção de mudas de maracujazeiro por enxertia em estacas herbáceas enraizadas de espécies de Passiflora silvestre. Brasília: Embrapa, 2002. (Comunicado Técnico, 70). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/553094/1/comtec70.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2025.

MEIRA, B. S.; SANTOS, E. A.; CRUZ, M. H. Fruticultura: cultivo do maracujazeiro azedo. Curitiba: SENAR AR/PR, 2022.

MELO, M. B.; TAVARES, E. D. Maracujá-amarelo: recomendações para a produção de mudas. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. 24 p. Circular Técnica 24. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes-/publicacao/370831/maracuja-amarelo-recomendacoes-para-a-producao-de-mudas>. Acesso em: 17 jun. 2025.

MIRANDA, J. R. P.; CARVALHO, J. G.; SANTOS, D. R.; FREIRE, A. L. O.; BERTONI, J. C.; MELO, J. R. M.; CALDAS, A. L. Silício e cloreto de sódio na nutrição mineral e produção de matéria seca de plantas de Moringa (*Moringa oleifera* Lam.). Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.26, n.4, p.957-965, 2002.

MONTAÑA, L. A.; FISCHER, G.; MAGNITSKIY, S.; ZULUAGA, G. Effect of NaCl salinity on seed germination and seedling emergence of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). *Agronomía Colombiana*, v.32, n.2, p.188-195, 2014.

MOURA, R. S.; GHEYI, H. R.; COELHO FILHO, M. A.; JESUS, O. N.; SÁ, F. V. S.; LIMA, L. K. S. Tolerance of passion fruit species under salt stress. *International Journal Current Research*, v.8, n.9, p.37689-37695, 2016.

MOURA, R. S.; GHEYI, H. R.; COELHO FILHO, M. A.; JESUS, O. N.; LIMA, L. K. S.; CRUZ, C. S. Formation of seedlings of species from the genus Passiflora under saline stress. Bioscience Journal, v.33, n.5, p.1197-1207, 2017.

MOURA, R. S.; SOARES, T. L.; LIMA, L. K. S.; GHEYI, H. R.; JESUS, O. N.; COELHO FILHO, M. A. Salinity-induced changes in biometric, physiological and anatomical parameters of Passiflora edulis Sims plants propagated by different methods. Journal of Plant Nutrition, v.46, n.1, p.103-119, 2019. DOI: 10.1080/01904167.2022.2098156.

MOURA, R. S.; GHEYI, H. R.; SILVA, E. M.; DIAS, E. A.; CRUZ, C. S.; COELHO FILHO, M. A. Salt stress on physiology, biometry and fruit quality of grafted Passiflora edulis. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.27, n.2, p.96-103, 2020a. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v27n2p96-103.

MOURA, R. S.; SOARES, T. L.; LIMA, L. K. S.; GHEYI, H. R.; DIAS, E. A.; JESUS, O. N.; COELHO FILHO, M. A. Effects of salinity on growth, physiological and anatomical traits of Passiflora species propagated from seeds and cuttings. Acta Physiologiae Plantarum, v.45, n.4, p.1-15, 2020b. DOI: 10.1007/s11738-023-03545-7.

MOURA, R. S.; GHEYI, H. R.; CRUZ, A. M.; NASCIMENTO, B. S.; MENEZES, E. P.; COELHO FILHO, M. A. Propagation of yellow passion fruit seedlings by cutting, grafting and seeds under salt stress. Journal of Plant Nutrition, v.44, n.1, 2022.

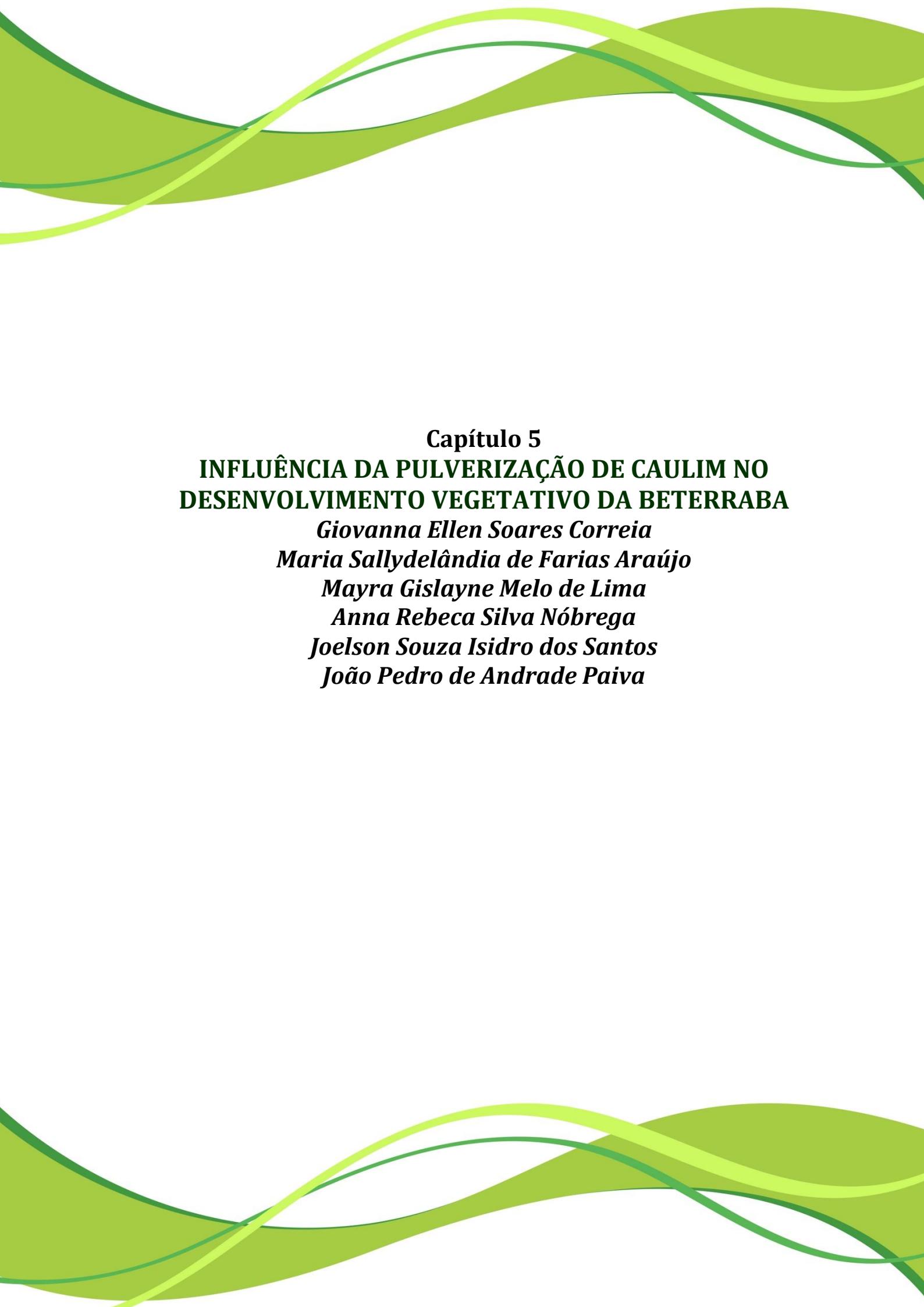
NASCIMENTO, E. S.; CAVALCANTE, L. F.; GONDIM, S. C.; SOUZA, J. T. A.; BEZERRA, F. T. C.; BEZERRA, M. A. F. Formação de mudas de maracujazeiro amarelo irrigadas com águas salinas e biofertilizantes de esterco bovino. Revista Agropecuária Técnica, v.38, n.1, p.1-8, 2017.

RONCATTO, G.; NOGUEIRA FILHO, G. C.; RUGGIERO, C.; OLIVEIRA, J. C.; MARTINS, A. B. G. Enraizamento de estacas herbáceas de diferentes espécies de maracujazeiro. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v.30, n.4, p.1094-1099, dez. 2008. DOI: 10.1590/S0100-29452008000400038.

SECOM – Secretaria de Comunicação Social da Bahia. Fruticultura da Bahia bate recorde em 2023. 2024. Disponível em: <https://www.secom.ba.gov.br>. Acesso em: 17 jun. 2025.

SILVA, A. P. P. Produção de mudas de maracujazeiro: fatores que afetam a germinação e o vigor das sementes. 2013. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. Disponível em:
<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/12243/1/APPSilvaDISPRT.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2025.

STENZEL, N. M. C.; AULER, P. A. M.; MOLINA, R. O.; SOARES JÚNIOR, DIMAS. Cultivo do maracujá-amarelo em áreas com ocorrência do vírus do endurecimento dos frutos (cabmv). Londrina: IDR-Paraná, 2019. 94 p. Disponível em:
<https://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/pesquisa/publicacoes/ip/ip%20161/IP161%20-%20Cultivo%20do%20Maracuja-amarelo%20-%20Livro%20-%202020-10-2023.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2025.



Capítulo 5
INFLUÊNCIA DA PULVERIZAÇÃO DE CAULIM NO
DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO DA BETERRABA

Giovanna Ellen Soares Correia
Maria Sallydelândia de Farias Araújo
Mayra Gislayne Melo de Lima
Anna Rebeca Silva Nóbrega
Joelson Souza Isidro dos Santos
João Pedro de Andrade Paiva

INFLUÊNCIA DA PULVERIZAÇÃO DE CAULIM NO DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO DA BETERRABA

Giovanna Ellen Soares Correia

*Graduanda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande,
giovannaellen77@gmail.com*

Maria Sallydelândia de Farias Araújo

*Docente da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de
Campina Grande, Doutora em Engenharia Agrícola, sallydelandia@gmail.com*

Mayra Gislayne Melo de Lima

*Doutora em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande,
mayramelo.ufcg@live.com*

Anna Rebeca Silva Nóbrega

*Doutoranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande,
anna.rebsil@gmail.com*

Joelson Souza Isidro dos Santos

*Graduando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande,
joelsonisidro700@gmail.com*

João Pedro de Andrade Paiva

*Graduando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande,
joaopapaiva020@gmail.com*

RESUMO

O uso do resíduo de caulim tem gerado interesse no setor agrícola considerando os potenciais benefícios no desenvolvimento vegetativo de diversas culturas. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a eficácia da aplicação de caulim sobre o crescimento e a produção da cultura da beterraba. A condução do experimento ocorreu em casa de vegetação, que pertence à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Campina Grande, em Campina Grande, Paraíba. Foi adotado um delineamento inteiramente casualizado, com cinco concentrações de caulim (0, 25, 50, 75 e 100 g L⁻¹), uma planta por parcela e oito repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Aos 45 dias após o início das aplicações dos tratamentos foram avaliadas as variáveis de crescimento altura da planta (AP), área foliar (AF), diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF), além das variáveis fisiológicas teores de clorofila A, B e total, com base no índice SPAD. Aos 80 dias, foram obtidos os dados de produção por planta, incluindo massa fresca e seca da parte aérea (MFPA; MSPA) e raiz (MFR; MSR), além do diâmetro (DRT) e comprimento (CRT) das raízes tuberosas. Observando que as doses de caulim proporcionaram efeitos significativos quanto as variáveis de crescimento NF e DC, além das variáveis de produção MFPA, MFR, MSR, DRT e CRT. Ademais, os melhores valores médios quanto aos teores de clorofila foram obtidos com a dose de 100 g L⁻¹, com diferença significativa comparada aos demais tratamentos.

Palavras-chaves: Resíduo mineral; Adubação foliar; *Beta vulgaris* L.; Crescimento vegetal; Melhoramento agrícola.

ABSTRACT

The use of kaolin residue has generated interest in the agricultural sector, given its potential benefits for the vegetative development of various crops. The aim of this study was to evaluate the effectiveness of kaolin application on the growth and production of sugar beet. The experiment took place in a greenhouse belonging to the Agricultural Engineering Academic Unit of the Federal University of Campina Grande, in Campina Grande, Paraíba. A completely randomized design was adopted, with five concentrations of kaolin (0, 25, 50, 75 and 100 g L⁻¹), one plant per plot and eight replications, totaling 40 experimental units. At 45 days after the treatments were applied, the growth variables plant height (PH), leaf area (LA), stem diameter (SD) and number of leaves (NF) were assessed, as well as the physiological variables chlorophyll A, B and total levels, based on the SPAD index. At 80 days, the production data per plant was obtained, including the fresh and dry mass of the aerial part (MFPA; MSPA) and root (MFR; MSR), as well as the diameter (DRT) and length (CRT) of the tuberous roots. The doses of kaolin had significant effects on the growth variables NF and DC, as well as the production variables MFPA, MFR, MSR, DRT and CRT. In addition, the best average values for chlorophyll content were obtained with the 100 g L⁻¹ dose, with a significant difference compared to the other treatments.

Keywords: Mineral residue; Foliar fertilization; *Beta vulgaris* L.; Plant growth; Agricultural improvement.

INTRODUÇÃO

A beterraba (*Beta vulgaris L.*) é uma planta de ciclo bienal, amplamente utilizada na alimentação humana. Trata-se de uma hortaliça tuberosa, por possuir raiz comestível, de elevado valor nutricional e que pode ser utilizada na preparação de molhos, sucos, saladas, farofas e outros pratos diversificados. Os autores Araújo et al. (2024) apontam que a presença dos pigmentos de betalaínas atribui a beterraba uma coloração vermelho-arroxeadas, a polpa, por sua vez, possui uma coloração vermelho escura e após cultivada, estima-se que apresente diâmetros entre 5 e 10 centímetros e peso entre 80 e 200 gramas.

A produção de beterraba no Brasil é de aproximadamente 134.969 toneladas, sendo o estado de São Paulo o maior colaborador para esse número, com 32.110 toneladas produzidas. O nordeste brasileiro produz aproximadamente 14.683 toneladas e, nesse contexto, a Paraíba é o quarto estado que mais produz na região (IBGE, 2017). Todavia, sabe-se que a oferta de água para irrigação na região semiárida do Brasil é um fator limitante para o desenvolvimento de culturas, pois como discutido por Silva et al. (2019) a irregularidade pluviométrica anual faz com que o balanço hídrico seja negativo, em razão da taxa de evaporação superar a precipitação.

Além do déficit hídrico em decorrência do fator climático, existem problemas, como a salinidade, por exemplo, causados pelo manejo inadequado da prática de irrigação, conforme destacado por Melo et al. (2022). Sendo assim, as causas para ocorrência do processo de salinização são apontadas por Martins et al. (2017) como naturais (salinização primária) ou induzidas pelo homem (salinização secundária). De acordo com Paz et al. (2020) os efeitos causados pelo fenômeno de salinidade fazem com que, a partir da variação da pressão osmótica, ocorra, além do desequilíbrio da absorção de nutrientes, o descontrole da absorção de água da planta, levando ao stress hídrico.

Considerando as limitações no desenvolvimento que as adversidades do cultivo podem causar às culturas agrícolas, atrelado a importância do fornecimento de nutrientes essenciais para a fotossíntese, crescimento e desenvolvimento das plantas, nota-se a relevância da adubação foliar como uma alternativa eficaz para suprir essas necessidades de forma mais rápida e eficiente. Nesse sentido, por ser uma aplicação realizada diretamente nas folhas, a sua realização não depende das condições do solo e segundo Mortate et al. (2018) é favorável ao crescimento das plantas e a correção de deficiências nutricionais em estágios avançados, em virtude do tempo de aplicação e resposta.

A busca por substâncias que sirvam como alternativas para oferecer nutrientes às plantas e corrigir as condições do solo vem ganhando cada vez mais espaço no meio agrícola, levando em consideração a crescente preocupação de aderir métodos viáveis ambiental e economicamente. Nesse sentido, entre as possíveis alternativas tem-se a aplicação do rejeito de caulim, descrito por Silva et al. (2021) como sendo um minério composto de silicatos hidratados de alumínio, bastante difundido nos processos industriais para produção de papel, cerâmicas, tintas e outras fabricações.

Contudo, mesmo que seja uma opção favorável de aproveitamento, existem poucos estudos associados à utilização do rejeito de Caulim na adubação foliar de culturas agrícolas. Nesse contexto, objetiva-se com esta pesquisa avaliar o potencial de sua utilização na produção de beterraba via adubação foliar.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), no Campus I, no município de Campina Grande, PB. Conforme Andrade et al. (2022) o município de Campina Grande está localizado nas coordenadas geográficas 07°15'18" de latitude Sul e 35°52'28" de longitude Oeste, em uma altitude média de 550 m, predominância do clima mesotérmico, semiúmido, do tipo Csa segundo a classificação de Köppen, caracterizado com condições quentes e semiáridas com presença de períodos chuvosos, em geral nos meses de fevereiro a julho, e períodos secos, nos meses de agosto a janeiro.

Os tratamentos foram compostos por cinco concentrações de caulim (0, 25, 50, 75 e 100 g L⁻¹), adaptadas com base nos estudos de Bestete et al. (2018) e Santos et al. (2024a). Utilizando-se um delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições e uma planta por parcela, totalizando trinta unidades experimentais. Com plantas dispostas em fileiras simples, em um espaçamento de 0,45 m entre as fileiras e entre as plantas dentro de cada fileira.

Foram utilizadas sementes comerciais de beterraba da cultivar Maravilha da marca Isla® caracterizadas com 87% de taxa de germinação e 99,8% de pureza. Semeadas em recipientes plásticos com 4 L de capacidade, preenchidos com 1 kg de brita (nº zero) recobrindo a base do vaso, seguido de 3 kg de solo apropriadamente destorradado. Para

determinação das características físico-hídricas e químicas, o solo utilizado na pesquisa, oriundo do município de Lagoa Seca – PB, foi analisado no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS), na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), no Campus I em Campina Grande – PB (Tabela 1).

Tabela 1. Características físico-hídricas e químicas do solo utilizado na pesquisa.

Características físicas								
Fração Granulométrica (%)	Classe Textural	Umidade (%) base solo seco)	Água disponível	Porosidade (%)	Densidade (g cm ⁻³)	Areia	Silte	Argila
60,66	28,17	11,17	FA	0,61	9,78	56,60	2,65	
Características químicas								
pH _{es}	M.O (%)	P (mg 100g ⁻¹)	K+	Na ⁺	Ca2+	Mg2+	Al3+	H+
7,63	0,84	0,01	0,60	0,10	6,91	3,65	0,00	0,00
					(cmolc kg ⁻¹)			

Fonte: Adaptado de Paiva (2020). FA - Franco Arenoso; pH_{es} - pH do extrato de saturação; M.O - Matéria orgânica; P - Fósforo assimilável; K⁺ - Potássio; Na⁺ - Sódio; Ca²⁺ - Cálculo; Mg²⁺ - Magnésio; Al³⁺ - Alumínio; H⁺ - Hidrogênio.

Foram semeadas cinco sementes por vaso, com 2 cm de profundidade, distribuídas de forma equidistante. O período de emergência das plântulas iniciou no quinto dia após o semeio (DAS) e continuou até décimo quarto dia. De modo que, foi realizado o desbaste aos 15 DAS, mantendo somente uma planta, a mais vigorosa, em cada vaso.

Aos 15, 30 e 45 dias após a emergência (DAE) foi realizada a adubação seguindo as recomendações propostas por Novais et al. (1991), utilizando o Sulfato de amônio (21% de N e 24% de S) como fonte de Nitrogênio; o MAP (60% de P2O5) como fonte de Fósforo e o Cloreto de potássio (60% de K2O) como fonte de Potássio. O fornecimento de micronutrientes se deu a partir de aplicações foliares do composto Dripsol micro (Mg²⁺ = 1,1%; B = 0,85%; Cu (Cu-EDTA) = 0,5%; Fe (Fe-EDTA) = 3,4 %; Mn (Mn-EDTA) = 3,2%; Mo = 0,05%; Zn = 4,2%; 70% de agente quelante EDTA) na concentração de 1 g L⁻¹, aplicados nas faces adaxial e abaxial, com o auxílio de um pulverizador manual com capacidade para 2 L.

A irrigação foi realizada manualmente e em dias alternados, utilizando a água proveniente de abastecimento urbano local, seguindo o princípio da lisimetria de

drenagem, conforme Paiva (2020). No experimento, os vasos apresentavam drenos de 10 mm conectados a reservatórios com capacidade para 2L, para armazenamento do volume de água drenado dos vasos e, posteriormente, contabilização para a realização do cálculo do volume de água aplicado na irrigação das plantas, de maneira que a umidade do solo permanecesse próxima a sua máxima capacidade de retenção de água, de acordo com a Equação 1.

$$VI = ((Va - Vd)) / (1 - FL) \quad \text{Eq. (1)}$$

Em que:

VI = volume de água a ser usado no evento de irrigação (mL);

Va = volume de água aplicado no evento de irrigação anterior (mL); Vd = volume de água drenado (mL); e,

FL = fração de lixiviação (0,10) aplicada em intervalos de 15 dias.

O resíduo de caulim utilizado na pesquisa foi obtido em uma empresa privada de mineração situada no município de Equador-RN, encaminhado e analisado via Espectroscopia de Fluorescência de Raios-X (FRX) na forma de pó solto no Centro de Referência em Tecnologia Mineral do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN), município de Currais Novos-RN (Tabela 2).

Tabela 2. Composição química do resíduo do Caulim utilizado na pesquisa.

Óxidos	%	Elementos	%
SiO ₂	51.780	Si	24.210
Al ₂ O ₃	40.950	Al	21.670
P ₂ O ₅	3.150	P _x	1.380
K ₂ O	2.050	K	1.700
Fe ₂ O ₃	1.260	Fe	0.880
CaO	0.168	Ca	0.120
Nb ₂ O ₅	0.134	Nb	0.094
Cl	0.125	Cl	0.125
TiO ₂	0.063	Ti	0.038
SO ₃	0.057	S _x	0.023
Rb ₂ O	0.047	Rb	0.043
BaO	0.040	Ba	0.036
Bi ₂ O ₃	0.033	Bi	0.030
MnO	0.027	Mn	0.021
Ta ₂ O ₅	0.027	Ta	0.022
ZrO ₂	0.025	Zr	0.019
SrO	0.016	Sr	0.014

ZnO	0.015	Zn	0.012
Co ₃ O ₄	0.012	Co	0.009
PbO	0.009	Pb	0.008
Ga ₂ O ₃	0.008	Ga	0.006

SiO₂ (dióxido de silício); Al₂O₃ (óxido de alumínio); P₂O₅ (pentóxido de difósforo); K₂O (óxido de potássio); Fe₂O₃ (óxido de ferro III); CaO (óxido de cálcio); Nb₂O₅ (pentóxido de nióbio); TiO₂ (dióxido de titânio); SO₃ (trióxido de enxofre); Rb₂O (óxido de rubídio); BaO (óxido de bário); Bi₂O₃ (trióxido de dibismuto); MnO (monóxido de manganês); Ta₂O₅ (pentóxido de dianitálio); ZrO₂ (dióxido de zircônio); SrO (óxido de estrôncio); ZnO (óxido de zinco); Co₃O₄ (óxido de cobalto III); PbO (monóxido de chumbo); Ga₂O₃ (trióxido de digálio).

As doses de caulin analisadas (25, 50, 75 e 100 g L⁻¹) foram obtidas a partir da dissolução do resíduo previamente peneirado, pesado em balança analítica de 0,0001 g, em 1 L de água de abastecimento urbano. O início da aplicação dos tratamentos com resíduo de caulin se deu aos 20 DAE, sendo realizado a cada 15 dias ao decorrer do ciclo da cultura, aplicado via foliar nas faces adaxial e abaxial com o auxílio de pulverizador manual.

Aos 45 dias após a aplicação dos tratamentos foram realizadas as avaliações de crescimento analisando os parâmetros: altura da planta (AP), mensurada com auxílio de uma régua graduada, medindo-se da base da planta até seu ápice; diâmetro do caule (DC), medindo com um paquímetro digital a espessura do caule, a 5 cm do colo da planta; número de folhas (NF), contabilizando apenas as folhas que possuíam área fotossintética ativa mínima de 50% e comprimento acima de 3 cm e área foliar (AF) calculada conforme a metodologia de Grimes e Carter (1969) (Equação 2) a partir da medição do comprimento da nervura principal de cada folha (cm), apenas em folhas com comprimento mínimo de 3 cm.

$$Y=0,4322X^{2,3002} \quad \text{Eq. (2)}$$

Em que:

Y = área foliar por folha (cm²);

X = comprimento da nervura principal do algodoeiro (cm).

Foram mensurados os teores de clorofila a, b e total das plantas aos 45 dias após a aplicação do tratamento utilizando o método direto, que consiste na estimativa não destrutiva (Resende, 2016), com o auxílio de um clorofilômetro eletrônico, modelo Clorofilog® CFL1030, da marca FALKER®. Seguindo a metodologia de Silva et al. (2015) foram realizadas três leituras em uma folha localizada no terço mediano de cada planta.

Aos 80 dias após a emergência (DAE), as plantas foram colhidas e realizadas as avaliações das variáveis de produção, pesando-se individualmente a parte aérea e a raiz tuberosa de cada planta em uma balança analítica com precisão de 0,0001 g. Conforme a metodologia de Gadelha et al. (2021), foram determinados com o auxílio de um paquímetro digital a partir das medidas transversais e longitudinais, o diâmetro (DRT, mm) e o comprimento (CRT, mm) das raízes tuberosas.

Os dados obtidos foram previamente analisados quanto à normalidade dos resíduos, através do teste de Shapiro-Wilk, e a homogeneidade das variâncias, mediante o teste de Bartlett, para por conseguinte ser realizada a ANOVA. Em caso de significância ($p < 0,05$), os dados foram submetidos a regressão polinomial e a comparação das médias, utilizando o software R (R Core Team, 2023) e os pacotes ggplot2 (Wickham, 2016) e ExpDes.pt (Ferreira et al., 2021).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados seguintes revelam o efeito de diferentes concentrações de caulin aplicados via foliar durante o desenvolvimento vegetativo de plantas de beterraba. Na Tabela 3 observa-se que houve efeito significativo das doses de caulin nas variáveis de crescimento número de folhas (NF) e diâmetro do caule (DC) aos 45 dias após a semeadura (DAS), não sendo observadas diferenças significativas para as variáveis altura de planta (AP) e área foliar (AF).

Tabela 3. Resumo da análise de variância para as variáveis altura de planta (AP), número de folhas (NF), área foliar (AF) e diâmetro de caule (DC) de plantas de beterraba sob aplicação foliar de diferentes doses de caulin aos 45 DAS.

FV	GL	QM			
		AP	NF	AF	DC
Doses de Caulim	4	4,36 ^{ns}	1,53*	58091,24 ^{ns}	12,41*
Resíduo	25	1,26	0,05	33317,46	0,53
Total	29	-	-	-	-
CV (%)	-	4,89	3,07	16,21	6,2

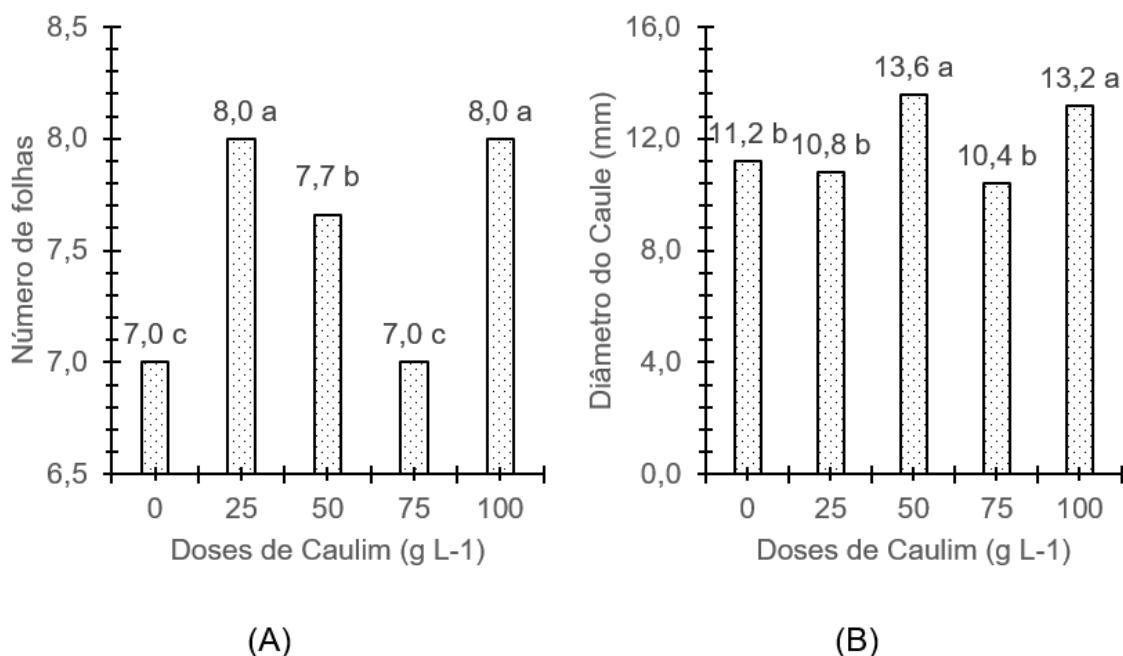
FV – Fonte de variação; GL – Grau de liberdade; CV – Coeficiente de variação; ns – Não significativo; * - Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Quanto a essas variáveis de crescimento, Santos et al. (2024a), estudando os efeitos da pulverização foliar de diferentes doses de caulin em plantas de beterraba cultivadas

em solo salino-sódico, observaram que não houve diferença significativa quanto a área foliar, apesar de obter diferença significativa quanto à altura de planta, observando a maior média dessa variável com a dose de 50 g L⁻¹.

Na Figura 1A observa-se que as dosagens de 25 e 100 g L⁻¹ de caulin proporcionaram as maiores médias para variável número de folhas (NF). Quanto a variável diâmetro do caule (DC) a maior média foi observada com a aplicação de 50 g L⁻¹ de caulin (Figura 1B). Dessa forma, pode-se afirmar que a aplicação foliar com caulin influenciou positivamente nas variáveis de crescimento número de folhas (NF) e diâmetro do caule (DC).

Figura 1. (A) Número de folhas e (B) Diâmetro do caule aos 45 DAS em função das doses de caulin aplicadas via foliar.



Nesse cenário, apesar dos poucos estudos realizados quanto a pulverização de caulin em plantas de beterraba, autores demonstram efeitos positivos do caulin em outras culturas. Hamdy et al. (2022), analisando a influência da pulverização de caulin em plantas de manga Keitt, observaram que a aplicação foliar de caulin em concentrações de 2, 4 ou 6% melhorou os parâmetros de crescimento vegetativo quando comparada ao controle.

Segundo Roda et al. (2023) na agricultura, o caulin é considerado um produto multifuncional, ecológico, sem capacidade de ocasionar toxidez ao meio ambiente e aos

seres vivos. Além disso, ressaltam a existência de inúmeros estudos que demonstram os benefícios da pulverização de caulim em diversas culturas, devido à formação de uma película de cristais, denominada “filme de partículas”, a qual diminui os efeitos deletérios de possíveis estresses abióticos.

Aos 45 DAS também se observa na Tabela 4 diferenças significativas para os teores de Clorofila A, Clorofila B e Clorofila Total devido a aplicação das diferentes doses de caulim.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para as variáveis de pigmentos Clorofila A, Clorofila B e Clorofila Total, medidas via Spaad aos 45 DAS.

FV	GL	QM		
		CLA	CLB	CLT
Doses de Caulim	4	49,13*	6,81*	87,53*
Resíduo	25	3,00	0,67	8,68
Total	29	-	-	-
CV (%)	-	4,82	11,3	6,63

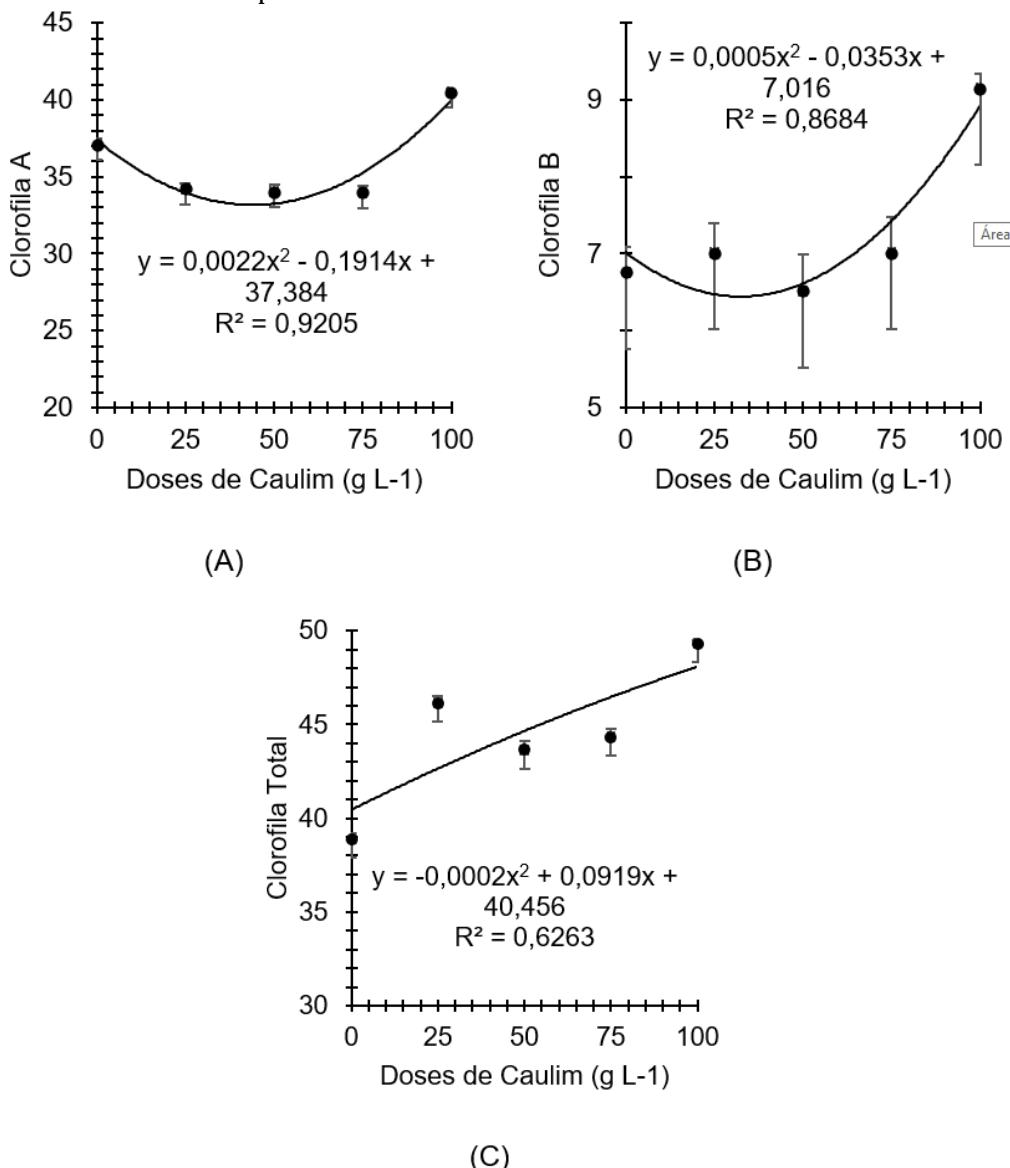
FV – Fonte de variação; GL – Grau de liberdade; CV – Coeficiente de variação; * - Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Observando o desempenho fisiológico de oliveiras, diante dos resultados obtidos, Brito et al. (2021) supõem que fatores como resistência estomática, reações de transporte de elétrons, regeneração de RuBP (ribulose 1,5 – bifosfato), atividade da enzima rubisco e/ou metabolismo de triose fosfatos tornaram-se menos limitantes em plantas tratadas com pulverização foliar de caulim.

Além disso, entende-se que a pulverização de partículas minerais de caulim, que são silicatos de alumínio hidratados, sobre a superfície das folhas, promove o revestimento com partículas protetoras, favorecendo a diminuição da temperatura da folha e prolongando a abertura estomática quando o déficit na pressão de vapor do ar é significativo (Al-Mokadem et al., 2023).

Na Figura 2 observa-se que os menores teores de Clorofila A foram observados na dose de 75 g L⁻¹ e os maiores teores foram observados na dose de 100 g L⁻¹ de caulim (Figura 2A). Nos teores de Clorofila B (Figura 2B) e Clorofila Total (Figura 2C) nas doses de 50 e 100 g L⁻¹ de caulim foram observados os menores e maiores valores, respectivamente.

Figura 2. Teores de Clorofila A (A), Clorofila B (B) e Clorofila Total (C) aos 45 DAS conforme as diferentes doses de caulim aplicadas via foliar.



Em consonância, Al-Mokadem et al. (2023), em busca dos efeitos da aplicação do caulim quanto ao crescimento e produtividade de plantas de milho, destacaram que, além de favorecer as variáveis de crescimento e produtividade, as propriedades fotossintéticas e os conteúdos de clorofila SPAD foram aumentados mediante o tratamento com a aplicação do caulim (3 e 6%).

Ainda, Abuel-Leil et al. (2024), ao examinar os efeitos de diferentes níveis de irrigação e doses de caulim aplicado em plantas de *Pelargonium graveolens* – (conhecido como gerânio), observaram que as concentrações de Clorofila a e Clorofila b registraram o valor mais alto em plantas irrigadas com 100% de Eto (evapotranspiração de referência) combinado com a maior taxa de caulim (300 ppm), concluindo que o caulim aumenta significativamente os teores de clorofila das folhas.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 5 nota-se, ainda, que os tratamentos utilizando caulin afetaram significativamente na Massa Fresca da Parte Aérea (MFPA) e Massa Fresca da Raiz (MFR).

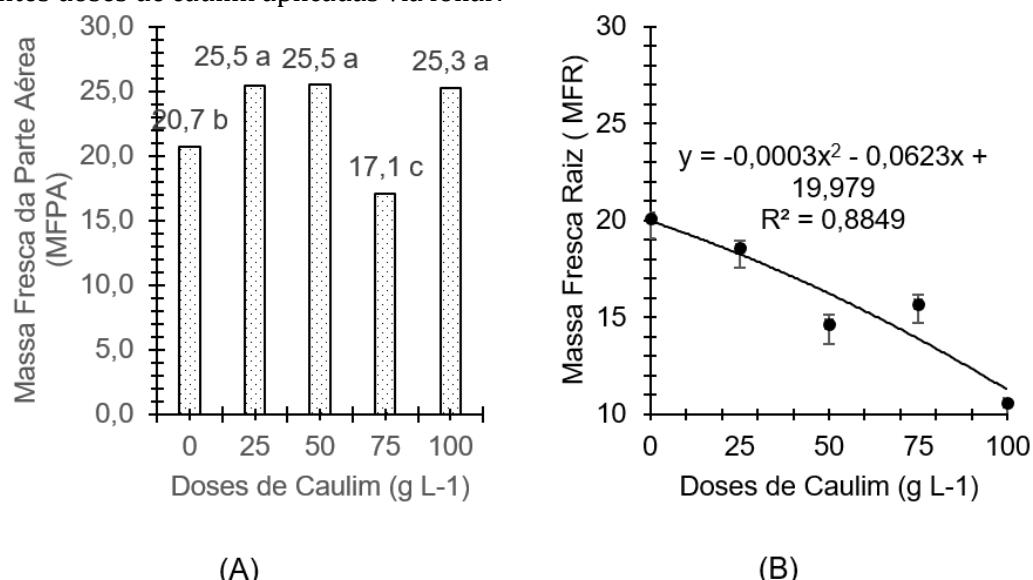
Tabela 5. Resumo da análise de variância para a Massa Fresca da Parte Aérea (MFPA) e Massa Fresca da Raiz (MFR).

FV	GL	QM	
		MFPA	MFR
Caulim	4	85,93*	81,47*
Resíduo	25	3,95	4,60
Total	29	-	-
CV (%)	-	8,71	13,46

FV – Fonte de variação; GL – Grau de liberdade; CV – Coeficiente de variação; * - Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Na Figura 3 observa-se que os maiores valores de Massa Fresca da Parte Aérea (MFPA) (Figura 3A) foram observados nas doses de 25 e 50 g L⁻¹ de caulin, e para a Massa Fresca da Raiz (MFR) (Figura 3B) as plantas que não receberam caulin (T1 = 0 g L⁻¹) apresentaram os maiores valores.

Figura 3. Massa Fresca da Parte Aérea (MFPA) (A) e Massa Fresca da Raiz (MFR) (B) conforme as diferentes doses de caulin aplicadas via foliar.



Hamdy et al. (2022) destacam que a película esbranquiçada perceptível quando o caulin é aplicado em diferentes culturas agrícolas pode melhorar o vigor da planta, o rendimento total e a qualidade dos frutos. Ainda, Al-Saif et al. (2022), ressaltam que a pulverização de romãs com caulin a 6% aumentou significativamente o peso e a firmeza

dos frutos em comparação aos demais tratamentos.

Conforme observado na Tabela 6 os valores obtidos indicam que não houve efeito significativo das doses de caulin na produção de Massa Seca da Parte Aérea (MSPA). Todavia, houve efeito significativo sobre a Massa Seca da Raiz (MSR) das plantas de beterraba nessas condições ambientais.

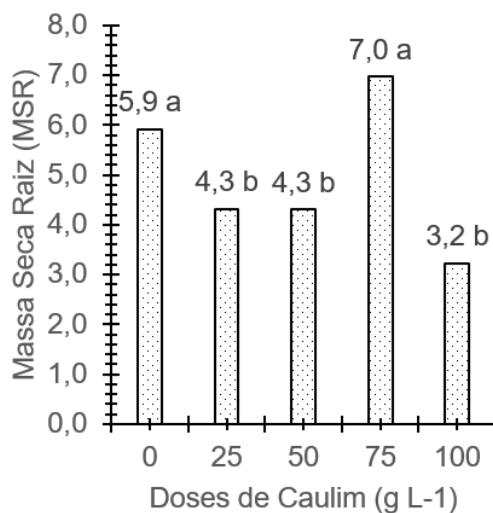
Tabela 6. Resumo da análise de variância para as variáveis de produção Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) e Massa Seca da Raiz (MSR) para as plantas de beterraba.

FV	GL	QM	
		MSPA	MSR
Caulim	4	0,55 ^{ns}	13,26*
Resíduo	35	1,15	1,79
Total	39	-	-
CV (%)	-	10,51	21,95

FV – Fonte de variação; GL – Grau de liberdade; CV – Coeficiente de variação; ns – Não significativo; * - Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Para a variável Massa Seca da Raiz (MSR), conforme é possível observar na Figura 4, a dose de 75 g L⁻¹ de caulin aplicado via foliar ocasionou os melhores resultados. Em concordância, Abuel-Leil et al. (2024), ao examinar os efeitos de diferentes doses de caulin em plantas de *Pelargonium graveolens*, observaram um efeito significativo no acúmulo de biomassa, bem como na matéria seca da planta, destacando aumento de 61,61% na matéria seca e de 26,26% no rendimento das plantas tratadas com caulin (300 ppm) e cultivadas sob a maior condição de déficit hídrico estudada.

Figura 4. Massa Seca da Raiz (MSR) em função das doses de caulin aplicadas via foliar.



Em contrapartida, Santos et al. (2024b), observando os efeitos da aplicação de caulin, quanto a massa seca da parte aérea e da raiz de plantas de beterraba cultivadas

em solo salino-sódico, destacaram que não houve diferença significativa dessas variáveis nas plantas de beterraba sob as condições ambientais estudadas. Contudo, a aplicação foliar de caulim em diversas culturas tem sido considerada uma medida eficiente para evitar danos causados por estresses abióticos, melhorando o desempenho fisiológico das plantas e sua capacidade de tolerar condições adversas (Pádua et al., 2022).

Além disso, observando a Tabela 7, nota-se que houve efeito significativo das doses de caulim nas variáveis de produção Diâmetro da Raiz Tuberosa (DRT) e Comprimento da Raiz Tuberosa (CRT).

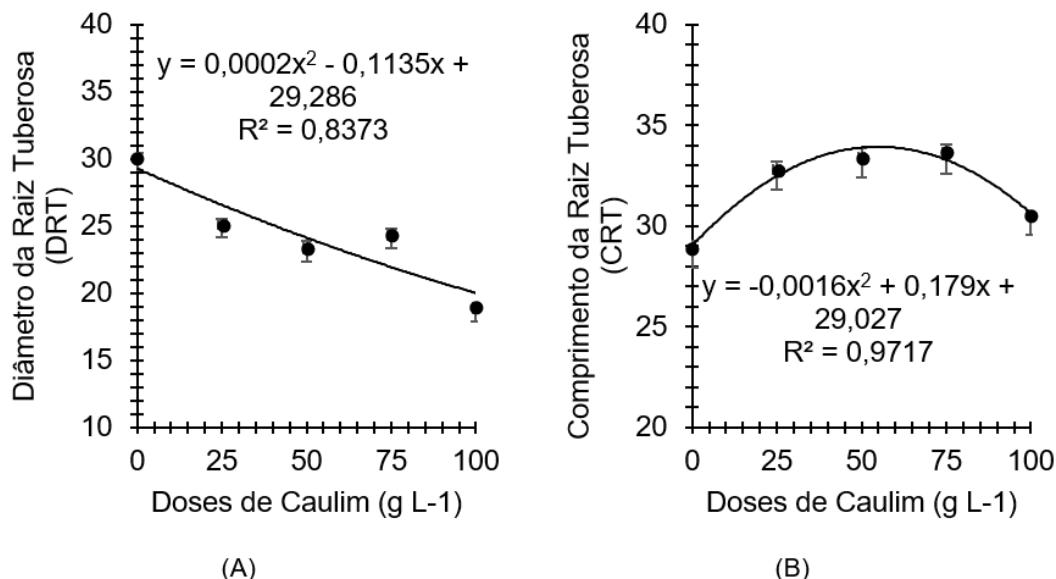
Tabela 7. Resumo da análise de variância para as variáveis de produção Diâmetro da Raiz Tuberosa (DRT) e Comprimento da Raiz Tuberosa (CRT) ao final do cultivo da beterraba.

FV	GL	QM	
		DRT	CRT
Caulim	4	96,53*	25,32*
Resíduo	35	5,04	5,60
Total	39	-	-
CV (%)	-	9,21	7,43

FV – Fonte de variação; GL – Grau de liberdade; CV – Coeficiente de variação; ns – Não significativo; * - Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Observa-se na figura abaixo que os maiores valores de Diâmetro da Raiz Tuberosa (DRT) (Figura 5A) foram observados nas plantas que não receberam caulim ($T_1 = 0 \text{ g L}^{-1}$) e os maiores Comprimentos da Raiz Tuberosa (CRT) foram observados na dose de 75 g L^{-1} de caulim (Figura 5B).

Figura 5. Diâmetro da Raiz Tuberosa (DRT) (A) e Comprimento da Raiz Tuberosa (CRT) (B) conforme as diferentes doses de caulim aplicadas via foliar.



Em concordância, Santos et al. (2024b), analisando o efeito da aplicação foliar de caulin em plantas de beterraba cultivadas em solo salino-sódico, destacaram que a dose de 100 g L⁻¹ promoveu o aumento no diâmetro transversal das beterrabas cultivadas, em comparação aos demais tratamentos, enquanto que a variável diâmetro longitudinal não apresentou diferença significativa entre as doses de caulin. Ainda, Al-Saif et al. (2022), estudando o efeito do nitrato de potássio, nitrato de cálcio e caulin em plantas de romã cv. Wonderful, observaram que o comprimento e o diâmetro do fruto foi aumentado pela pulverização de caulin a 6 e 4% em comparação ao controle.

CONCLUSÕES

A adubação foliar com caulin teve impacto positivo no crescimento das plantas, resultando as maiores médias de número de folhas (NF) com as dosagens de 25 e 100 g L⁻¹, enquanto a dosagem de 50 g L⁻¹ promoveu o maior aumento no diâmetro do caule (DC). As diferentes doses de caulin afetaram positivamente a síntese de pigmentos fotossintéticos (Clorofila a e Clorofila b) da beterraba, aos 45 DAS. Os tratamentos com caulin via foliar também demonstraram uma influência significativa na Massa Fresca da Parte Aérea (MFPA) e na Massa Fresca da Raiz (MFR). Entretanto, não foi registrado efeito significativo das diferentes doses de caulin sobre a Massa Seca da Parte Aérea (MSPA), enquanto que observou-se um efeito positivo na Massa Seca da Raiz (MSR), no Diâmetro (DRT) e Comprimento (CRT) das raízes das plantas de beterraba nas condições analisadas.

REFERÊNCIAS

ABUEL-LEIL, E. F.; ABDELRAHMAN, M. A.; DESOUKEY, S. F. Effect of kaolin on productivity, anatomical and biochemical responses to water deficit in *Pelargonium graveolens* grown in sandy soil. **BMC Plant Biology**, v. 24, n. 1, p. 1111, 2024.

AL-MOKADEM, A. Z.; SHETA, M. H.; MANCY, A. G.; HUSSEIN, H. A. A.; KENAWY, S. K.; SOFY, A. R.; ABU-SHAHBA, M. S; MAHDY, H. M.; SOFY, M. R.; BAKRY, A. F. A; AGHA, M. S. Synergistic effects of Kaolin and Silicon Nanoparticles for ameliorating deficit irrigation stress in Maize plants by upregulating antioxidant Defense systems. **Plants**, v. 12, n. 11, p. 2221, 2023.

AL-SAIF, A. M.; MOSA, W. F.; SALEH, A. A.; ALI, M. M.; SAS-PASZT, L.; ABADA, H. S.; ABDEL-SATTAR, M. Yield and fruit quality response of pomegranate (*Punica granatum*) to foliar spray of potassium, calcium and kaolin. **Horticulturae**, v. 8, n. 10, p. 946, 2022.

ANDRADE, E. M. G.; SILVA, S. S. da; LIMA, G. S. de; SOARES, L. A. dos A.; SILVA, A. A. R. da; LACERDA, C. N. de. Cultivo inicial de cajueiro anão precoce com água salina e esterco bovino. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 17, n. 1, p. 10-16, 2022.

ARAÚJO, I. N.; VALES, P. F. DE O.; SOARES, I. F. Efeitos da ingestão do suco de beterraba (*Beta vulgaris L.*) em praticantes de exercício físico. **RBNE - Revista Brasileira De Nutrição Esportiva**, v. 17, n. 107, p. 753-762, 2024.

BESTETE, L. R.; TORRES, J. B.; PEREIRA, F. F. Harmonious interaction of kaolin and two insect predator species in plant protection. **International Journal of Pest Management**, v. 64, n.2, p. 166-172, 2018.

BRITO, C.; GONÇALVES, A.; SILVA, E.; MARTINS, S.; PINTO, L.; ROCHA, L.; ARROBAS, M.; RODRIGUES, M. A.; MOUTINHO-PEREIRA, J.; CORREIA, C. M. Kaolin foliar spray improves olive tree performance and yield under sustained deficit irrigation. **Scientia Horticulturae**, v. 277, p. 109795, 2021.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (Português)**. Versão 1.2.2. 2021.

GADELHA, B. B.; FREIRE, M. H. da C.; SOUSA, H. C.; COSTA, F. H. R.; LESSA, C. I. N.; SOUSA, G. G. de. Crescimento e produtividade de beterraba irrigada com água salina em diferentes tipos de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.25, n.12, p.847-852, 2021.

GRIMES, D. W.; CARTER, L. M. A. Linear Rule for Direct Nondestructive Leaf Area Measurements. **Agronomy Journal**, v. 61, n. 3, p. 477-479, 1969.

HAMDY, A. E.; ABDEL-AZIZ, H. F.; EL-KHAMISSI, H.; ALJWAIZEA, N. I.; EL-YAZIED, A. A.; SELIM, S.; TAWFIK, M. M.; ALHARBI, K.; ALI, M. S. M.; ELKELISH, A. Kaolin improves photosynthetic pigments, and antioxidant content, and decreases sunburn of mangoes: Field study. **Agronomy**, v. 12, n. 7, p. 1535, 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção de Beterraba no Brasil**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/beterraba/br>. Acesso em: 2 set. 2024.

MARTINS, J. C.; GONÇALVES, M. da C. **A salinidade dos solos: extensão, prevenção e recuperação**. Vida Rural, Dossier Técnico, p. 38-39, 2017.

MELO, G. L.; PETRY, M. T.; SILVA, C. M. da; FRESINGHELLI NETTO, J.; MARTINS, J. D.; VILLA, B. de; TONETTO, F.; MOURA, M. B. de; MENDONÇA, M. T.; TOKURA, L. K. Ocorrências e Controle de salinidade no uso de um sistema de irrigação localizada. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 16, n. 2, p. 1-11, 2022.

MORTATE, R. K.; NASCIMENTO, E. F.; LIMA, M. W. de P. Resposta do milho (*Zea mays* L.) à adubação foliar e viasolo de nitrogênio. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 5, n. 1, p. 1-6, 2018.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. **Ensaio em ambiente controlado**. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D.; LOURENÇO, S. Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília, DF: EMBRAPA SEA. Cap. 2, p. 189-198, 1991.

PÁDUA, L.; BERNARDO, S.; DINIS, L. T.; CORREIA, C.; MOUTINHO-PEREIRA, J.; SOUSA, J. J. The efficiency of foliar kaolin spray assessed through UAV-based thermal infrared imagery. **Remote Sensing**, v. 14, n. 16, p. 4019, 2022.

PAIVA, F. J. da S. **Desempenho agronômico do maracujazeiro-amarelo sob irrigação com águas de diferentes naturezas catiônicas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2020.

PAZ, A. M.; CASTANHEIRA, N.; GONÇALVES, M. C.; FERNANDES, M.; PIRES, F.; FARZAMINAN, M.; PAZ, M. C.; SANTOS, F. M. Determinação da salinidade e sodicidade do solo por métodos de indução eletromagnética. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 43, n. 2, p. 151-160, 2020.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Versão 4.3.1. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2023.

RESENDE, G. M.; COSTA, N. D.; YURI, J. E.; FERREIRA, J. C.; MOTA, J. H. Densidade de plantio na cultura da cenoura no submédio do Vale do Rio São Francisco. **Scientia Plena**, v. 12, 2016.

RODA, N. de M.; PONTIN, J. C; BRANCHI, A. B.; LONGO, R. M. Uso de caulim processado como técnica sustentável de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas na produção agrícola. **REUNIR: Revista de Administração, Ciências Contábeis e Sustentabilidade**, v. 13, n. 1, p. 171-183, 2023.

SANTOS, J. S. I.; DA SILVA, A. A. R.; NÓBREGA, A. R. S.; DE LIMA, M. G. M.; DE FARIAS ARAÚJO, M. S.; SILVA, V. F.; PAIVA, J. P. A.; SOUZA, T. R. A.; NÓBREGA, P. I. S.; GOUVEIA, D. S.; COSTA, M. V. P. Cultivo irrigado de beterraba em solo salino sódico sob aplicação foliar de rejeito de caulim. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 5, p. e3775-e3775, 2024a.

SANTOS, J. S. I.; DA SILVA, A. A. R.; NÓBREGA, A. R. S.; DE LIMA, M. G. M.; DE FARIAS ARAÚJO, M. S.; SILVA, V. F.; PAIVA, J. P. A.; GOUVEIA, D. S.; FIRMINO, L. Q.; BORGES, I. M. S.; CORREIA, G. E. S. Aplicação foliar de rejeito de caulim na produção de beterraba cultivada em solo salino sódico. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 6, p. e5092-e5092, 2024b.

SILVA, B. R.; MENEZES JÚNIOR, H. S.; SANTOS, A. M. S.; SILVA FILHO, A. J. da; OLIVEIRA, H. A. de. Desenvolvimento de argamassas de reboco com a incorporação de caulim. **Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 1, p. 74-83, 2021.

SILVA, C. B. da; SILVA, J. C. da; SANTOS, D. P. dos; SANTOS, M. A. L. dos; BARBOSA, M. de S.; SILVA, P. F. da. Manejo da irrigação na cultura da beterraba de mesa sob condições salinas em Alagoas. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 13, n. 2, p. 3285-3296, 2019.

SILVA, A. O.; SILVA, É. F. E; KLAR, A. E. Manejo da fertirrigação e salinidade do solo no crescimento da cultura da beterraba. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 2, p. 230-241, 2015.

WICKHAM, H. **ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. New York: Springer-Verlag, 2016.



Capítulo 6

REVISÃO SOBRE A TOLERÂNCIA À SALINIDADE EM ESPÉCIES DE MARACUJÁ: PRODUÇÃO DE MUDAS E ESTRATÉGIAS DE ADAPTAÇÃO

Regiana dos Santos Moura

Rezanio Martins Carvalho

João Carlos Rocha dos Anjos

José Gil dos Anjos Neto

Risoneide de Cássia Zeferino Silva

Luana Maria Alves da Silva

Eudinete Ribeiro de Sousa

Jordânia Medeiros Soares

Djavan Pinheiro Santos

REVISÃO SOBRE A TOLERÂNCIA À SALINIDADE EM ESPÉCIES DE MARACUJÁ: PRODUÇÃO DE MUDAS E ESTRATÉGIAS DE ADAPTAÇÃO

Regiana dos Santos Moura

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2847-2654>

Rezanio Martins Carvalho

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2749-2685>

João Carlos Rocha dos Anjos

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2231-0953>

José Gil dos Anjos Neto

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8440-5280>

Risoneide de Cássia Zeferino Silva

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5001-2016>

Luana Maria Alves da Silva

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4382-3747>

Eudinete Ribeiro de Sousa

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8508-3201>

Jordânia Medeiros Soares

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8900-5702>

Djavan Pinheiro Santos

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1811-5362>

RESUMO

A salinidade do solo e da água tem se consolidado como um dos principais desafios para a agricultura irrigada, especialmente em regiões semiáridas como o Nordeste brasileiro, onde a evapotranspiração supera a precipitação. Neste contexto, a cultura do maracujazeiro (*Passiflora* spp.), de grande relevância socioeconômica, enfrenta sérias limitações em função da sensibilidade de suas espécies comerciais ao estresse salino. Este capítulo apresenta uma revisão de literatura acerca da tolerância à salinidade em diferentes espécies de maracujá, com foco na produção de mudas e nas estratégias de adaptação fisiológica, morfológica e anatômica. Diversos estudos apontam que o maracujazeiro amarelo (*P. edulis Sims f. flavicarpa* Deg.) é moderadamente tolerante à salinidade em suas fases iniciais, porém apresenta redução significativa no crescimento e na produtividade com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação. Em contrapartida, espécies silvestres como *P. cincinnata* e *P. gibertii* têm demonstrado maior resistência a estresses abióticos, tornando-se alternativas promissoras como porta-enxertos em sistemas de propagação vegetativa. Métodos como a enxertia e a estaquia vêm sendo estudados como estratégias viáveis para a produção de mudas mais resistentes. A revisão também aborda os efeitos fisiológicos e anatômicos da salinidade, incluindo a redução da fotossíntese, alterações no potencial osmótico, acúmulo de íons tóxicos, alterações em tecidos foliares e mecanismos de compartmentalização iônica. Ainda que existam evidências de tolerância diferenciada entre espécies e genótipos, são necessários mais estudos sobre o desempenho de mudas obtidas por propagação vegetativa sob estresse salino. Conclui-se que a utilização de espécies silvestres e a adoção de práticas de manejo adequadas são fundamentais para a sustentabilidade da produção de maracujá em áreas afetadas por salinidade, com destaque para a região Nordeste do Brasil.

Palavras chaves: Estresse abiótico; Propagação vegetativa; Condutividade elétrica da água; Porta-enxertos silvestres; *Passiflora* spp

ABSTRACT

Soil and water salinity has become one of the main challenges for irrigated agriculture, especially in semi-arid regions such as Northeastern Brazil, where evapotranspiration exceeds precipitation. In this context, the passion fruit crop (*Passiflora* spp.), which holds great socioeconomic importance, faces serious limitations due to the sensitivity of its commercial species to salt stress. This chapter presents a literature review on salinity tolerance in different passion fruit species, focusing on seedling production and physiological, morphological, and anatomical adaptation strategies. Several studies indicate that yellow passion fruit (*P. edulis Sims f. flavicarpa* Deg.) is moderately tolerant to salinity in its initial growth stages but shows significant reductions in growth and productivity as the electrical conductivity of the irrigation water increases. In contrast, wild species such as *P. cincinnata* and *P. gibertii* have demonstrated greater resistance to abiotic stress, making them promising alternatives as rootstocks in vegetative propagation

systems. Techniques such as grafting and cutting have been studied as viable strategies for producing more resilient seedlings. The review also discusses the physiological and anatomical effects of salinity, including reduced photosynthesis, altered osmotic potential, accumulation of toxic ions, changes in leaf tissues, and ionic compartmentalization mechanisms. Although there is evidence of differentiated tolerance among species and genotypes, further studies are needed on the performance of vegetatively propagated seedlings under salt stress. It is concluded that the use of wild species and the adoption of proper management practices are essential for the sustainability of passion fruit production in areas affected by salinity, particularly in the Northeastern region of Brazil.

Keywords: Abiotic stress; Vegetative propagation; Electrical conductivity of water; Wild rootstocks; *Passiflora* spp.

INTRODUÇÃO

A irrigação tem desempenhado um papel crucial na intensificação da produção agrícola global, sendo responsável por aproximadamente 40% dos alimentos produzidos no mundo, embora ocupe apenas cerca de 20% das áreas cultivadas. Contudo, apesar de seus benefícios inegáveis, a expansão das áreas irrigadas, especialmente em regiões áridas e semiáridas, tem acarretado sérios impactos ambientais, com destaque para a salinização dos solos. Estudos recentes apontam que essa salinização é impulsionada pelo acúmulo de sais presentes na água de irrigação, especialmente em sistemas com manejo inadequado, baixa eficiência de drenagem e alta evapotranspiração (Wang et al., 2022). A presença contínua de sais solúveis, como Na^+ e Cl^- , nas camadas superficiais do solo pode reduzir drasticamente a produtividade agrícola e comprometer a viabilidade econômica das áreas cultivadas (LIU et al., 2022).

A salinização dos solos irrigados é considerada uma ameaça crescente à segurança alimentar e à sustentabilidade dos sistemas agrícolas, exigindo uma abordagem multidimensional para seu controle. Segundo Singh (2020), cerca de 76 milhões de hectares irrigados em todo o mundo já apresentam salinização secundária, e esse número tende a aumentar caso práticas de manejo inadequadas persistam. Revisões mais recentes reforçam que os impactos da salinidade ocorrem em múltiplas escalas — desde alterações na estrutura física do solo até o comprometimento de processos fisiológicos das plantas — o que dificulta o controle eficaz desse fenômeno (SHOKRI,

2024). Portanto, compreender a dinâmica entre irrigação, distribuição de sais no solo e os mecanismos de salinização é fundamental para o desenvolvimento de estratégias adaptativas, que conciliem a produtividade agrícola com a conservação dos recursos naturais (WANG et al., 2022).

Assim, é necessário adotar medidas tecnológicas e científicas diferenciadas para cada região e condição de cultivo agrícola. Diante da escassez de água de boa qualidade, há a necessidade de exploração de água na agricultura de salinidade moderada a alta, implicando em novas práticas de manejo do solo e da água, uma vez que o estresse salino compromete o crescimento e o desenvolvimento da maioria das culturas de diversas maneiras (CAVALCANTE et al., 2012).

No Brasil, os solos salinizados são encontrados no estado do Rio Grande do Sul, no Pantanal Mato-grossense e na região Nordeste. Com base no Mapa de Solos do Brasil, as áreas afetadas por sais ocupam aproximadamente 160.000 km² do território nacional, desse total, mais de 50% encontram-se no Nordeste. Na região Nordeste os estados mais afetados pelos sais são especialmente a Bahia com 44% e o Ceará com 25,5% (SOARES FILHO et al., 2016).

A produção de maracujá no Brasil mantém-se como um dos destaques da fruticultura nacional, com a Bahia consolidando sua posição como principal estado produtor. Em 2023, a fruticultura baiana atingiu um patamar recorde, gerando cerca de R\$ 5,7 bilhões em receita, o que reforça a importância econômica dessa cultura para a região (SECOM, 2024). A Bahia representa uma parcela significativa da produção nacional de maracujá, com municípios como Livramento de Nossa Senhora, Ituaçu e Barra da Estiva liderando os volumes produzidos e impulsionando o crescimento do setor (CANAL RURAL, 2024).

Apesar do crescimento expressivo, a produção enfrenta desafios relacionados a doenças como bacteriose, fusariose, viroses e antracnose, que comprometem a produtividade e a qualidade dos frutos, além de reduzirem a vida útil dos pomares comerciais (EMBRAPA, 2024). A adoção de técnicas modernas de manejo e o desenvolvimento de cultivares mais resistentes são estratégias importantes para mitigar essas perdas e garantir a sustentabilidade da produção, que é fundamental para manter o Brasil como o maior produtor e consumidor mundial de maracujá.

A cultura do maracujazeiro é de grande importância para o pequeno produtor, apresentando viabilidade técnica e econômica, é cultivada em pequenas propriedades a

maioria com pomares de 3 a 5 hectares e a cada ano essa área vem sendo expandida. Os pomares contribuem com a oferta de emprego e melhoria na renda familiar. Especialistas relatam que cada hectare de maracujá gera de 3 a 4 empregos diretos e ocupa 7 a 8 pessoas, nos diversos elos da cadeia produtiva. Assim, essa cultura representa para os agricultores mais uma possibilidade entre as frutíferas, por oferecer fonte de renda mais rápida, tendo períodos extensos de safras e proporcionando comercialização contínua da fruta (MELETTI, 2012). Além destes benefícios o maracujá, como outras frutíferas, requer insumos cuja produção e comercialização contribui para o fortalecimento do ciclo da economia como um todo beneficiando assim, outros segmentos agrícolas e movimentando a cadeia produtiva, especialmente no estado da Bahia que é o maior produtor dessa frutífera (BUAINAIN e BATALHA, 2007; EMBRAPA, 2016).

Pesquisas têm mostrado que as espécies comerciais de maracujazeiro apresentam sensibilidade à salinidade, entretanto, a maioria das espécies silvestres tem se mostrado mais resistente a pragas, doenças, déficit hídrico e tolerância à salinidade (CAVICHIOLI *et al.*, 2011; OLIVEIRA *et al.*, 2013; MOURA *et al.*, 2016 e MOURA *et al.*, 2017; ANDRADE *et al.*, 2018; SÁ *et al.*, 2018). Diante da escassez de água de boa qualidade adequada para irrigação, surge a necessidade da adoção de práticas adequadas de manejo em conjunto com a água e o solo, introdução de plantas que possibilitem o uso de águas de qualidade inferior na agricultura, bem como, a produção de mudas tolerantes à salinidade.

Algumas pesquisas têm colaborado com informações acerca da salinidade no maracujazeiro amarelo (CRUZ *et al.*, 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2015; BEZERRA *et al.*, 2016; MOURA *et al.*, 2017; NASCIMENTO *et al.*, 2017; ANDRADE *et al.*, 2018; GOMES *et al.*, 2018). Entretanto, muitos destes estudos têm investigado apenas as respostas fisiológicas de mudas provenientes de sementes e irrigadas com água salina e pouco se sabe sobre o comportamento de plantas de maracujazeiro obtidas a partir da propagação assexuada (enxertia e estacas) quando submetidas à salinidade e às alterações morfofisiológicas e anatômicas provocadas por esse estresse abiótico.

Pesquisas recentes demonstram que as espécies silvestres de maracujazeiro, como *Passiflora foetida*, apresentam maior tolerância à salinidade da água de irrigação em comparação às variedades comerciais. Souza et al. (2022) investigaram o crescimento de porta-enxertos dessa espécie sob diferentes níveis de salinidade, chegando até 4,0 dS m⁻¹, e constataram que, apesar de algum impacto negativo nos estágios iniciais, *P. foetida*

mantém bom desenvolvimento e tolerância significativa à salinidade. Esses resultados indicam que o uso dessa espécie como porta-enxerto pode ser uma estratégia promissora para cultivo em regiões com problemas de salinização.

Por outro lado, a variedade comercial *Passiflora edulis f. flavicarpa* apresenta menor tolerância, conforme estudo de Moura et al., (2020) e Ferreira et al. (2022), que avaliou os efeitos da irrigação com águas salinas em níveis de 3,0 a 12,0 dS m⁻¹. Embora as plantas tenham desenvolvido mecanismos antioxidantes e expressado genes relacionados ao transporte de íons, houve redução significativa da biomassa foliar em níveis elevados de salinidade, indicando estresse fisiológico. Esses achados ressaltam a importância de integrar espécies silvestres resistentes para mitigar os impactos da salinidade e melhorar a produtividade dos cultivos comerciais de maracujá.

Vários estudos têm mostrado que a técnica da propagação vegetativa utilizando espécies silvestres como porta-enxertos é viável no controle de doenças, essas espécies apresentam potencial para uso na enxertia de maracujá amarelo devido a resistência dessas espécies à fusariose, entre elas *P. gibertii*, *P. alata*, *P. cincinnata*, *P. capsularis*, *P. nitida*, *P. laurifolia*, *P. morifolia* e *P. foetida* (RONCATTO et al., 2004; SILVA et al., 2013). Lima et al. (2017) observaram que o *P. gibertii* se destacou entre as espécies silvestres para uso como porta-enxerto por causa do aumento do vigor do enxerto de *P. edulis*, dessa forma, acredita-se que essas espécies silvestres possuem mecanismos de tolerância à salinidades, pois, a maioria são nativas de regiões semiáridas, ou seja, tolerantes ao estresse hídrico. Hurtado-Salazar et al. (2018) constataram que a *P. tarminiana* possui tolerância moderada à salinidade e déficit hídrico, utiliza mecanismos de adaptação como escreção de sais na superfície adaxial da folha, tricomas e papilas.

Junqueira et al. (2006) avaliando plantas de *P. edulis* propagadas por estacas, sementes e enxertadas sob o *P. nitida*, observaram que as plantas propagadas por estacas e enxertadas foram menos afetadas por doenças e a produtividade das plantas propagadas por estacas foi duas vezes maior (42.885,5 t.ha⁻¹) comparadas às enxertadas (21.159,2 t.ha⁻¹) e às sementes (21.385,6 t.ha⁻¹). Todavia, não se conhece o comportamento dessas plantas obtidas por propagação vegetativa sob estresse salino, assim, há necessidade de novos estudos relacionados à propagação vegetativa envolvendo espécies silvestres e salinidade, pois é sabido que a maioria dessas espécies silvestres são nativas de regiões áridas e semiáridas, onde estão localizadas as áreas afetadas por sais.

Já existem estudos na literatura relacionados à propagação vegetativa e salinidade com outras culturas, como porta-enxerto de citros (BRITO *et al.*, 2014), em que os autores indicam o limoeiro '*Volkameriano*' e o HTR – 069 para formação de mudas, devido à sua menor sensibilidade à salinidade. No caso da goiabeira, Silva *et al.* (2017) avaliaram estacas de cv. *Paluma* e constataram que esta espécie é sensível ao estresse salino. Araújo *et al.* (2018) constataram que a CEa de até 2,62 dS m⁻¹ promove redução aceitável na fitomassa de porta-enxerto de cajueiro comum. Plantas submetidas à salinidade desenvolvem características adaptativas (alterações anatômicas) a essa condição (YOUNIS *et al.*, 2013; MOURA *et al.*, 2020). Já foram encontradas alterações anatômicas associadas ao efeito da salinidade em plantas de mostarda (*Salvadora persica* L.) (PARIDA *et al.*, 2016), cevada (*Hordeum vulgare* L.) (ATABAYEVA *et al.*, 2013), menta (*Mentha aquatica* L.) (HADDADI *et al.*, 2016), *Passiflora tarminiana* (HURTADO-SALAZAR *et al.*, 2018), mostarda (*Salvadora persica* L.) (WANI *et al.*, 2019), maracujá (MOURA *et al.*, 2020).

O estado da Bahia é o maior produtor nacional de maracujazeiro, no entanto, ainda apresenta baixa produtividade. Assim, esta pesquisa torna-se de suma importância para determinar o nível de tolerância à salinidade dos diferentes tipos de propagação de mudas dessa frutífera, haja vista que os solos do Nordeste possuem alto potencial para salinização, devido aos cultivos sucessivos irrigados caracterizados pelo aumento da concentração de sais e uso de fertilizantes, que contribuem com o aumento da concentração de sais no solo.

O objetivo desta revisão de literatura é analisar os efeitos de diferentes níveis de salinidade da água de irrigação sobre a produção de mudas de diversas espécies de maracujazeiro, com ênfase no desenvolvimento da cultura em fase inicial. Busca-se compreender as alterações morfofisiológicas e anatômicas provocadas pela salinidade, bem como avaliar a viabilidade técnica da produção de mudas utilizando exclusivamente águas salinas.

CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A CULTURA DO MARACUJAZEIRO

O maracujazeiro pertence à ordem Passiflorales e à família Passifloraceae, possui 18 gêneros e dentro deste grupo, o gênero *Passiflora* é especialmente diversificado, contando com mais de 500-550 espécies do gênero *Passiflora*, das quais cerca de 93

ocorrem no Brasil (SILVA et al., 2024). De maneira geral, os frutos de maracujá são ricos em sais minerais e vitaminas, sobretudo A, C e do complexo B; também, apresentam propriedades farmacológicas e alto valor ornamental (LORENZI e MATOS, 2002). No entanto, a maioria das *Passifloras* são pouco exploradas no comércio e indústria, sendo o *P. edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg. (maracujazeiro amarelo), *P. alata* Curtis (maracujazeiro doce) e *P. edulis* f. *edulis* Sims. (maracujazeiro roxo) as espécies mais cultivadas. Quanto às propriedades dos frutos, estudos modernos destacam que o maracujá (especialmente as espécies *P. edulis* e *P. edulis* f. *flavicarpa*) é uma fonte abundante de minerais, fibras, vitaminas A, B6, E e K, além de compostos bioativos como polifenóis e flavonoides (ZHANG et al., 2023). Essa combinação nutricional é associada a efeitos farmacológicos como antioxidantes, anti-inflamatórios, sedativos e neuroprotetores, assim como aplicações potenciais em alimentos funcionais, cosméticos e fitomedicamentos (SLAVOV et al., 2024)

O maracujazeiro tem origem na América Tropical e está entre as frutíferas de maior expressão econômica mundial, sendo largamente cultivado em países de clima tropical e subtropical. O Brasil é o principal produtor mundial e consumidor de maracujá amarelo (IBGE, 2018). As espécies silvestres *P. gibertii* N. E. Br. e *P. cincinnata* Mast., são reportadas na literatura como importantes aos programas de melhoramento genético, por apresentarem resistência aos estresses bióticos, abióticos e outras doenças, como também apresentam outros atributos para serem utilizados como porta-enxertos (CAVICHIOLI et al., 2011; MELLETTI et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2013, ANDRADE et al., 2018).

O maracujazeiro amarelo é sensível a altos níveis de salinidade, conforme Araújo et al. (2013) que avaliando a produção de mudas de *P. edulis*, averiguaram que o crescimento foi afetado a partir da condutividade elétrica da água (CEa) de 2,1 dS m⁻¹. Casierra-Posada et al. (2011) afirmam que o maracujazeiro amarelo é “tolerante” à salinidade na germinação e “moderadamente tolerante” à salinidade nas fases de crescimento e desenvolvimento. Os efeitos mais acentuados da salinidade sobre os vegetais são refletidos em modificações devido ao desequilíbrio de absorção dos nutrientes, na toxicidade iônica e no potencial osmótico, afetando negativamente o crescimento, com sérios prejuízos à atividade agrícola (SOUSA et al., 2008; AHMED e MONTANI, 2010; ANDRADE et al., 2018; SÁ et al., 2018).

Há necessidade de adoção de técnicas que diminuam os efeitos negativos da salinidade sobre a cultura do maracujazeiro, de modo a reduzir os efeitos deletérios no

crescimento e na produção da espécie, haja vista, que as espécies comerciais de maracujá são sensíveis à salinidade, por outro lado, várias espécies silvestres possuem mais resistência a pragas, doenças e déficit hídrico (MELLETTI *et al.*, 2012; AGRIANUAL, 2014). Nesse sentido, nos últimos 10 anos, pesquisas têm levado à produção de híbridos e espécies com maior capacidade de produção, devido à baixa produtividade nacional, inferior a 15 t ha⁻¹ (ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2004; IBGE, 2018).

O maracujazeiro amarelo (*P. edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg) é originário da América Tropical, sendo geralmente cultivado nos países de clima tropical e subtropical (OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2010). Por ser cultivado na maioria dos estados brasileiros, a espécie assumiu grande importância no agronegócio de frutíferas tropicais (KISHORE *et al.*, 2010).

Para um cultivo bem sucedido é necessário um plantio adequado, em temperaturas que variem de 21 a 23 °C; umidade relativa do ar (UR) próxima a 60%, pois em regiões com UR superior a 60% agregada a período chuvoso, beneficiam a manifestação de doenças na parte aérea do maracujazeiro. Em relação à exigência hídrica, chuvas intensas no período de pico de floração, atrapalham a polinização, em virtude do grão de pólen estourar quando entra em contato com a umidade, além de reduzir a atividade dos insetos responsáveis pela polinização. Em períodos secos as plantas perdem folhas exigindo manejo com irrigação complementar (MELO, 2013). É uma cultura semi-perene e alógama, essa alogamia é assegurada, principalmente, por ser uma espécie auto-incompatível, necessitando de polinização cruzada (PEREIRA *et al.*, 2004), possui copa muito densa de forma que as folhas localizadas no topo podem sombrear as localizadas na parte inferior e este sombreamento pode alterar as características fisiológicas e morfológicas da folha (PASSOS *et al.*, 2018).

Estudos realizados com essa espécie comprovam a sensibilidade da mesma a altos níveis de salinidade da água de irrigação. Araújo *et al.* (2013) constataram que a água salina a partir da concentração 2,1 dS m⁻¹, interfere na emergência e no crescimento das plantas de maracujazeiro na fase de formação de mudas. Ribeiro *et al.* (2014) observaram que o *P. edulis* mostrou sensibilidade aos sais, sendo que, o crescimento e desenvolvimento inicial da espécie foram altamente afetados pelo CEs a partir de 1,5 dS m⁻¹.

A espécie *Passiflora cincinnata* Mast. é silvestre, da qual existem poucas informações na literatura, no entanto é conhecida popularmente como maracujá do mato

e maracujá tubarão. Essa espécie pode ser aproveitada como fruto comestível, planta ornamental ou planta medicinal, sendo muito utilizada em programas de melhoramento genético uma vez que as mesmas são vigorosas e apresentam genes de resistência aos estresses bióticos e abióticos (BERNACCI *et al.*, 2003; APONTE e JAUREGUI, 2004; COELHO, 2009). Na região Nordeste, o fruto é comercializado na entressafra do *P. edulis*, representando uma opção de renda extra para os pequenos agricultores, uma vez que é às adaptada as condições locais de cultivo, por ser nativa da região (OLIVEIRA JUNIOR *et al.*, 2010).

A espécie possui alto potencial para uso como porta-enxerto, por ser resistente a bactérias (*Epicauta atomaria* e *Xanthomonas campestris*) nematóides (*Meloidogyne sp*) e apresenta tolerância a seca (MELETTI *et al.*, 2002; COELHO, 2009). Segundo Durigan *et al.* (2004), a *P. cincinnata* também é bem distribuída no Estado de São Paulo, principalmente no Cerrado.

Não há estudos avaliando a tolerância dessa espécie quanto a salinidade, entretanto, Almeida Jr. *et al.* (2016) pesquisando espécies florísticas de uma área de vegetação sob influência marinha no litoral sul de Alagoas, registraram nas dunas da praia da Barra de São Miguel a presença do *P. cincinnata*, enquanto Cantarelli et al. (2012) estudando tipos fitofisionômicos e a florística da restinga da APA (Área de proteção ambiental) de Guadalupe em Pernabuco encontraram a espécie na Praia de Guadalupe, desta forma, constata-se que a mesma espécie possui características de tolerância à salinidade, por ser encontradas em áreas costeiras.

A espécie *Passiflora gibertii* N.E. Brow é nativa do Brasil Central e Nordeste da Argentina (MELLETTI *et al.*, 2012). É conhecida popularmente como maracujá do mato, maracujazinho e maracujá-ner consumido ao natural. Pode ser aproveitada como fruto comestível, planta ornamental ou medicinal, sendo também muito utilizada em programas de melhoramento genético uma vez que as mesmas são vigorosas e apresentam genes de resistência aos estresses bióticos e abióticos (JUNQUEIRA *et al.*, 2006).

Na literatura não se encontra estudos relacionados à salinidade, entretanto, existem muitas pesquisas dessa espécie como porta-enxerto. Plantas de *P. edulis* enxertadas em *P. gibertii*, cultivadas em área com histórico de ocorrência de morte precoce, apresentaram uma sobrevivência de mais de 93% sendo bastante superiores às plantas oriundas de sementes com menos de 5% (CAVICHIOLI *et al.*, 2009). Junqueira et

al. (2006); Melletti *et al.* (2012) e Moura et al (2020) relataram que a espécie possui potencial de utilização como porta-enxerto e também no melhoramento genético, pela sua resistência à morte prematura, à cladosporiose, à bacteriose e à antracnose. No entanto, tem se mostrado suscetível a broca do maracujá (*Philonis passiflorae*) e a podridão do colo causado pelo *Fusarium solani*.

PRODUÇÃO DE MUDAS DE MARACUJÁ

A produção de mudas de qualidade é um fator determinante para o sucesso no cultivo do maracujazeiro, sendo considerada uma das etapas mais críticas na implantação de pomares comerciais. Estudos recentes têm reforçado que a escolha do método de propagação influencia diretamente a uniformidade, o vigor e a precocidade das plantas. Moura et al. (2022) demonstraram que mudas obtidas por enxertia apresentam desempenho superior em altura, volume radicular e biomassa seca total, mesmo sob condições de estresse salino. Esse método, além de permitir a produção de mudas mais homogêneas, favorece a adaptação das plantas a ambientes adversos, contribuindo para o aumento da produtividade e da longevidade dos pomares.

Além disso, a propagação vegetativa, como a enxertia e a estaquia, tem sido apontada como estratégia promissora para superar as limitações impostas pela baixa qualidade fisiológica das sementes utilizadas na produção convencional. Segundo Lenza et al. (2009), o uso de materiais com alta qualidade fisiológica promove maior uniformidade nas lavouras, acelera o desenvolvimento das plantas e antecipa a frutificação. Quando associada à seleção de porta-enxertos resistentes a estresses abióticos, a enxertia se torna uma alternativa viável e eficiente para ampliar a sustentabilidade da cultura do maracujá.

Na produção de mudas deve-se almejar um padrão de qualidade que possibilite o melhor crescimento, desenvolvimento e maior sobrevivência no campo. Para isso, várias práticas culturais são necessárias, desde a fase de viveiro até o transplantio para o campo, como o manejo da irrigação, adubação, sombreamento, podas, aclimatação, seleção do material biológico, tipo de recipiente, densidade de cultivo, transporte e armazenamento, dentre outros (VARGAS *et al.*, 2011).

Para classificação da qualidade de mudas, muitos pesquisadores consideram o IQD (índice de qualidade de Dickson) um bom indicador uma vez que leva em

consideração a relação altura/diâmetro ou robustez e a relação da produção da matéria seca. Outros consideram a produção de biomassa seca e área foliar como o melhor parâmetro morfológico para se avaliar a qualidade de mudas (VARGAS *et al.*, 2011; PRADO *et al.*, 2016; ALVES *et al.*, 2017).

A propagação do maracujazeiro, no geral, tem sido realizada via sementes/pé franco e por causa da variabilidade genética intrínseca ao método, a maior parte dos pomares apresentam desuniformidade no crescimento, produção e qualidade dos frutos, resultando em baixo rendimento. Nos últimos anos tem ocorrido aumento da produção do maracujá através da expansão de áreas agrícolas, entretanto, isto não significa incremento na produtividade e qualidade dos frutos (CAVALCANTE *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2011).

Com a expansão dos pomares aumentaram também os problemas com patógenos de solo, que causam danos e/ou inviabilizam o cultivo, como solução para esses problemas diversos autores apontam o método de propagação vegetativa (enxertia e estaquia) em espécie de maracujá resistente/tolerante como porta-enxerto (COSTA *et al.*, 2005; ZUCARELI *et al.*, 2014). Em estudos relacionados à salinidade, diversos autores constataram redução do crescimento, desenvolvimento e produção de espécies de maracujazeiro sob níveis de salinidade da água de irrigação (FREIRE *et al.*, 2012; MESQUITA *et al.*, 2012; VIANA *et al.*, 2012; ARAUJO *et al.*, 2013; RIBEIRO *et al.*, 2014; BEZERRA *et al.*, 2016; MOURA *et al.*, 2016; MOURA *et al.*, 2017; ANDRADE *et al.*, 2018; MOURA *et al.*, 2020; MOURA *et al.*, 2022).

A enxertia é um método de propagação vegetativa que contribui para formação de pomares de qualidade superior, quando comparado aos pomares formados por sementes, pois as espécies usadas como porta-enxerto apresentam resistência a pragas e doenças, além de proporcionarem plantas altamente produtivas (LEÃO, 2011). A base da enxertia é a união do enxerto, que se dá pelo entrelaçamento do tecido caloso, originado dos câmbios vasculares da parte inferior (porta-enxerto) e superior (enxerto). As células calosas, que apresentam parênquimas, são diferenciadas em novo tecido cambial, o qual continua essa diferenciação dando origem a nova conexão viva entre o sistema radicial (porta-enxerto) e a copa (enxerto) (JANICK, 1966).

A enxertia é muito recomendada por ter a garantia de sanidade das plantas por meio do uso de material (porta-enxertos) tolerantes e/ou resistentes a pragas, doenças, déficit hídrico e salinidade. Esse método de propagação vegetativa prolonga a vida útil

dos pomares, além de preservar a qualidade do material genético (LIMA, 2004). Na seleção dos materiais de porta-enxertos precisam-se levar em consideração os patógenos do solo que agride a espécie, as culturas resistentes a tais patógenos, o método de propagação, a compatibilidade entre os materiais vegetais e o rendimento da cultura. No Brasil já foram constatados em algumas áreas de produção comercial da espécie *P. edulis* problemas com patógenos de solo, resultando em sérios prejuízos e, até mesmo, inviabilizado o cultivo dessa frutífera (BRAGA *et al.*, 2006).

Resultados observados por Nogueira Filho *et al.* (2010) em estudo com aspectos histológicos da união da enxertia hipocotiledonar do maracujazeiro comercial, não constataram alterações anatômicas na concepção da união entre sete porta-enxertos e a enxertia. No entanto, verificaram aos 30 dias após a realização da enxertia que a união entre os tecidos já estava completamente cicatrizada. Estudos realizados por Zucareli (2011) sobre aspectos anatômicos da enxertia de maracujá comercial sobre o porta-enxerto *P. cincinnata*, constataram que o método de propagação de enxertia hipocotiledonar pode ser estabelecido de modo satisfatório nas espécies: *P. alata* e *P. edulis* Sims f. *flavicarpa*, havendo compatibilização entre os genótipos.

Segundo Zucareli *et al.* (2014) a enxertia é uma opção com viabilidade técnica para a produção de maracujazeiro e que diversas espécies de maracujá já estão sendo utilizadas como porta-enxerto das espécies comerciais. No entanto, há ausência de estudos de enxertia de maracujazeiro sob salinidade. Todavia, em estudo de enxertia com acerola (*Malpighia emarginata* D.C) clones BV1 no porta-enxerto e BV7 no enxerto, não foram comprometidas pela CEA até 5,5 dS m⁻¹ (GURGEL *et al.*, 2007), enquanto que em porta-enxerto de citros o limoeiro 'Volkameriano' foi a espécie menos sensível ao estresse iônico e o híbrido LCR x TR-001 o mais sensível (FERNANDES *et al.*, 2011). A estaquia constitui uma das técnicas de propagação vegetativa do maracujazeiro a qual apresenta como principal vantagem a clonagem de plantas altamente produtivas. Além disso permite o alcance de cultivos uniformes, assim como a formação de porta-enxertos com alto vigor e resistência a doenças e pragas (SALOMÃO, 2002).

Estudos têm mostrado que as mudas por estaquia possuem maior precocidade e resistência à antracnose, à bacteriose e à cladosporiose, até mesmo após implantação no campo, quando estas são comparadas com mudas oriundas de sementes colhidas pela mesma planta matriz. A principal desvantagem de mudas propagadas por estaquia é a

possibilidade de ser contaminada por vírus e bacteriose, caso a planta matriz esteja infectada (EMBRAPA, 2001).

Em estudo realizado por Junqueira *et al.* (2006) os autores avaliaram a reação de doenças, produtividade e características físicas de frutos de clone de maracujazeiro amarelo propagado por estaquia e por enxertia sob estacas herbáceas enraizadas de *P. nitida* e por sementes. Os autores constataram que a propagação de *P. edulis* com uso de enxertia sob estacas enraizadas de *P. nitida* e por meio de estaquia apresentaram viabilidade técnica, sendo as mesmas menos infectadas por doenças, enquanto as mudas propagadas por estaquia obtiveram maior produtividade. Entretanto, há ausência na literatura de estudos relacionados à estaquia sob salinidade da água de irrigação.

PRODUÇÃO DE MUDAS DE MARACUJAZEIRO SOB ESTRESSE SALINO E QUALIDADE DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

A produção de mudas de maracujazeiro (*Passiflora edulis*) sob condições de estresse salino tem sido alvo de diversas pesquisas que visam identificar estratégias de manejo mais eficientes para regiões com disponibilidade limitada de água de boa qualidade. Moura et al. (2022), ao avaliarem a propagação de mudas sob diferentes níveis de salinidade, observaram que o acúmulo de sais afeta significativamente os parâmetros morfofisiológicos das plantas, com redução da área foliar, condutância estomática e crescimento radicular. No entanto, foi possível constatar que algumas combinações de propagação (como o uso de sementes e estacas) associadas a porta-enxertos mais tolerantes podem mitigar os efeitos negativos do estresse salino, favorecendo a produção de mudas mais vigorosas e uniformes mesmo em ambientes adversos.

Adicionalmente, estudos como o de Moura et al. (2020) apontam que o método de propagação influencia diretamente a tolerância das plantas ao sal, sendo as mudas enxertadas mais eficientes na manutenção da biometria e qualidade dos frutos sob salinidade. Outro trabalho da mesma autora (MOURA et al., 2016) demonstra que o estresse salino pode alterar a anatomia das folhas e raízes, indicando respostas adaptativas que variam entre espécies e métodos de propagação. Essas descobertas ressaltam a importância de selecionar métodos de propagação adequados e avaliar a qualidade da água para irrigação como critério fundamental para a formação de mudas de alta qualidade fisiológica.

O maracujazeiro é sensível a altos níveis de salinidade e moderadamente tolerante a níveis médios de salinidade. Araujo *et al.* (2013) avaliando a produção de mudas de *P. edulis* irrigadas com água salina, observaram que a emergência das sementes foi afetada, apartir da CEs de 2,1 dS m⁻¹, tendo o crescimento das mudas afetados significativamente com o acréscimo da CEs. Mesquita *et al.* (2012) estudando o efeito de níveis salinos da água de irrigação e biofertilizante bovino, observaram que o aumento da CEs aumentou o caráter salino do solo prejudicando o crescimento e o desenvolvimento das mudas de maracujazeiro amarelo. Soares *et al.* (2002) observaram que as mudas de maracujazeiro amarelo mostraram-se com tolerância média à salinidade de água de irrigação (CEs de 4 dS m⁻¹).

Dantas *et al.* (2015) avaliaram a qualidade fisiológica de mudas de maracujazeiro submetida a água salobra com adição de biofertilizante e fertilizante mineral, observaram que, em ambas, as águas salobra e não salobra com fertilizante e biofertilizante ocorreram incremento na qualidade das mudas. Soares *et al.* (2002) e Casierra-Posada *et al.* (2011), consideram o maracujazeiro amarelo “tolerante” à salinidade na germinação e “moderadamente tolerante” à salinidade nas demais fases.

Portanto, o maracujazeiro apresenta “tolerância” à salinidade diferenciada nas diferentes fases, tendendo a ser mais sensível a partir dos 60 dias após transplante. Essa sensibilidade à salinidade é variável entre genótipos e espécies, como foi registrado por Montaña *et al.* (2014) que observaram um efeito significativo do NaCl sobre a germinação e a porcentagem de germinação de maracujá roxo, especialmente em níveis mais elevados da CEs 9,0 e 12,2 dS m⁻¹, respectivamente.

Neste sentido, considerando que as espécies de maracujazeiro apresentam tolerância diferenciada ao estresse salino, a qualidade da água passa a ser um fator essencial para a eficiência na utilização de sistemas de irrigação, entretanto, a análise da qualidade dela é, muitas vezes, desconsiderada no momento da elaboração dos projetos de irrigação. Como resultado, a irrigação poderá produzir efeitos deletérios na condução de uma cultura comercial ou servir como veículo para contaminação dos consumidores, no momento em que ocorre a ingestão dos alimentos que receberam a água contaminada (MANTOVANI *et al.*, 2006).

A água usada na irrigação deve ser analisada com base nos perigos de salinidade, sodicidade e toxicidade, pois estes parâmetros são extremamente prejudiciais aos solos e as plantas (RICHARDS, 1954; RHOADES *et al.*, 2000; BLANCO, 2008). A salinidade

expressa a ação da mistura dos sais dissolvidos na água sobre a perda de germinação das sementes, inibição do crescimento das plantas, decréscimo de produtividade e da qualidade dos frutos colhidos (DIAS *et al.*, 2016). A sodicidade representa os riscos do sódio da água sobre o depauperamento físico do solo. Águas com elevadas concentrações de sódio podem dispersar as argilas que serão carreadas para as partes mais profundas do perfil do solo, formando camadas de impedimento ao movimento de ar, água e nutrientes (CAVALCANTE *et al.*, 2012).

A toxicidade representa o efeito depressivo específico que alguns íons como boro, cloreto, sódio, nitrato e sulfato provocam às plantas. As injúrias resultantes de águas com elevadas concentrações desses íons são observados com maior frequência por necrose (queima) das folhas, inibição do crescimento dos ramos, dos frutos e perdas da qualidade e da produção (CAVALCANTE *et al.*, 2012).

Para Richards (1954), Ayres e Westcot (1999) e Holanda e Amorim (2016) água salina ou de qualidade inferior é aquela que possui CEs superior a 3 dS m⁻¹. Potencialmente oferece riscos de degradação física e química do solo, toxicidade e desbalanço nutricional das plantas, queda na produtividade e qualidade da produção obtida. Apesar dos riscos mencionados, é possível o uso dessas águas na agricultura adotando manejo adequado e técnicas científicas para cada situação em particular.

A utilização de água salina, oriunda de mananciais e de reutilização de água de drenagem já são usadas em vários países do mundo, com obtenção promissora da produção agrícola. Rhoades *et al.* (2000) apresentam dados obtidos nos Estados Unidos da América do Norte onde se cultivam alfafa, algodão, plantas forrageiras, milho e sorgo com água de salinidade entre 5,0 e 8,0 dS m⁻¹. Na América do Sul produzem alfafa com água entre 3,0 e 9,0 dS m⁻¹. No Egito produzem abobrinha, algodão, arroz, cebola, cevada, milho, pimentão e tomate com água de salinidade variando de 2,8 a 4,5 dS m⁻¹. Na Índia irriga-se algodão, milho, mostarda e trigo com água de 2,0 a 8,0 dS m⁻¹. Em Israel solos de textura argilosa são irrigados com água de 3,5 a 5,5 dS m⁻¹, e de textura média a arenosa o limite salino é a tolerância permitida pela cultura. Na Síria produz tomate com água de 6,5 a 8,0 dS m⁻¹, e na Tunísia utilizam água variando de 2,8 a 9,2 dS m⁻¹ para produção de alcachofra, cevada, centeio e sorgo.

No Brasil, as áreas com problemas de salinização dos solos estão concentradas principalmente na região semiárida do Nordeste. Nos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí e Rio Grande do Norte, mais de 35% das áreas irrigadas

apresentam decréscimo na produtividade das culturas, promovido pela salinidade de origem da água de irrigação (CAVALCANTE *et al.*, 2012).

Em estudo sobre qualidade da água para irrigação nos estados do Nordeste foram considerados como de boa qualidade (níveis de salinidade entre baixo e médio): 74,3% das fontes de água na Paraíba; 64% em Pernambuco; 71,9 a 75% no Rio Grande do Norte; 75% nas pequenas propriedades irrigadas do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba (HOLANDA *et al.*, 2016). Andrade Jr. *et al.* (2006) avaliaram a água de 225 poços em 29 municípios do Estado do Piauí e constataram que os focos situados na formação Serra Grande são de baixa concentração de sais, já os situados no embasamento cristalino em Simões apresentam alta salinidade.

Assim, verifica-se que, em media 70% das fontes de água avaliadas no Nordeste são consideradas de boa qualidade para irrigação. No entanto, cerca de 25 a 30% dos perímetros irrigados do Nordeste são salinizados. Este problema se deve basicamente ao manejo inadequado da irrigação adotado, sob condição de alta evaporação e drenagem ineficiente, resultando em acumulação gradativa de sais no solo (HOLANDA *et al.*, 2016), fato que afeta o desenvolvimento e a produtividade das culturas.

EFEITO DA SALINIDADE NA PLANTA

O efeito da salinidade sobre as plantas tem sido amplamente discutido em diversas partes do mundo, especialmente em regiões áridas e semiáridas, devido à sua influência negativa sobre o crescimento, a fisiologia e a produtividade das culturas agrícolas (CAVALCANTE *et al.*, 2012). No Brasil, destaca-se o semiárido nordestino, onde a alta taxa de evapotranspiração supera os índices de precipitação, comprometendo a infiltração de água no solo e dificultando a lixiviação dos sais (DIAS *et al.*, 2016). Nessas condições, há uma tendência de acúmulo de sais oriundos de minerais plagioclásios presentes no material de origem do solo, com predominância dos cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ e ânions Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- e CO_3^{2-} (DIAS *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2023). Esse acúmulo afeta diretamente a disponibilidade de água para as plantas, reduzindo o potencial osmótico do solo, além de provocar toxicidade iônica e dificultar a absorção de nutrientes essenciais.

Frente a esses desafios, pesquisas recentes têm apontado estratégias para mitigar os efeitos do estresse salino. Entre as alternativas estão o uso de espécies vegetais

tolerantes à salinidade, como as halófitas, o manejo com adição de matéria orgânica ao solo e a aplicação de microrganismos promotores de crescimento, que contribuem para a melhoria da estrutura e funcionalidade do solo (HAJ-AMOR et al., 2022). Além disso, modelagens ambientais integradas têm sido utilizadas para avaliar o impacto da salinidade sobre os solos e o balanço hídrico, fornecendo suporte para a gestão agrícola em regiões vulneráveis. Tais abordagens são fundamentais para subsidiar práticas sustentáveis e políticas públicas eficazes, principalmente no Nordeste brasileiro, onde a salinização dos solos representa um dos principais entraves à produção agrícola de forma contínua e economicamente viável.

Os efeitos da salinização sobre as plantas ocorrem principalmente por meio de três processos relacionados: - a) dificuldade na absorção de água, resultante da redução do potencial osmótico do solo; - b) toxicidade de íons específicos, como Na^+ e Cl^- ; e - c) interferência nos processos fisiológicos da planta, como fotossíntese e equilíbrio iônico (ARIF et al., 2020). O estudo de Arif et al. (2020) sistematiza esses efeitos, relatando que a salinidade reduz o potencial hídrico das folhas, aumenta os radicais livres, danifica membranas celulares e afeta o metabolismo, enquanto os mecanismos de tolerância envolvem ações antioxidantes, ajustes osmóticos, e regulação hormonal e gênica, destacando a importância de abordagens ômicas para entender essas respostas.

Nesse contexto, o uso de água salobra para irrigação tem-se tornado um fator limitante, pois os sais presentes provocam estresse osmótico e toxicidade iônica nas plantas (MUNNS & TESTER, 2008). Esses efeitos reduzem a capacidade das raízes de absorver água e nutrientes essenciais, levando ao desbalanço iônico e a problemas fisiológicos como diminuição da atividade fotossintética e turgor celular (EPSTEIN & BLOOM, 2006). Assim, torna-se urgente o desenvolvimento de estratégias de manejo e tecnologias adaptativas que minimizem os impactos da salinidade na agricultura irrigada.

Quando os sais estão presentes na solução do solo, faz com que as forças de retenção do efeito osmótico sejam aumentadas e, deste modo, o problema de escassez de água na planta é intensificado. Os vegetais absorvem a água do solo quando as forças de embebição dos tecidos das raízes são superiores às forças com que a água é retida no solo. A crescente pressão osmótica causada pelo excesso de sais solúveis poderá atingir um nível em que os vegetais não terão forças de sucção satisfatória para superar essa pressão.

osmótica e, consequentemente, a planta sofrerá a seca fisiológica em que esse processo ocorre quando a mesma não absorve água, mesmo em um solo úmido (DIAS *et al.*, 2016).

Segundo Dias *et al.* (2016), espécies sensíveis à salinidade, na maioria das vezes, tentam eliminar os sais na absorção da solução do solo, contudo, são incapazes de realizar o ajustamento osmótico necessário. No entanto, existem plantas denominadas de halófitas, que são capazes de estabelecer esse equilíbrio osmótico mesmo em condições de baixos potenciais de água no solo (EPSTEIN e BLOOM, 2006). Segundo Silva *et al.* (2000), são plantas que possuem capacidade de acumular íons salinos no vacúolo das células foliares, para manter a concentração de sais no interior da célula em níveis desprezíveis e, de tal modo, que o excesso de sais não intervenha na hidratação das proteínas e nos mecanismos enzimáticos e metabólicos dos vegetais.

Efeitos tóxicos são observados quando os vegetais absorvem os sais da solução do solo em excesso. Desta forma, ocorre um desbalanceamento e lesões no citoplasma, resultando em danos na bordadura e no ápice das folhas, a partir de onde a planta perde líquido, pelo processo de transpiração, havendo nessas áreas, acúmulo do sal translocado do solo para a planta promovendo a toxidez pelo excesso de sal (DIAS *et al.*, 2016; WANI *et al.*, 2019).

Conforme Sousa *et al.* (2011) e Dias *et al.* (2016) a dimensão dos danos ocasionados pelos sais depende do tempo de exposição às condições salinas, da concentração dos sais, da tolerância da cultura/espécie, do volume de água transpirado e do estágio vegetativo da planta. Dos sintomas de toxidez observados nas plantas os principais são: redução no crescimento, desenvolvimento, baixa produtividade, redução da área foliar, inibição no crescimento do sistema radicular, adiamento no desenvolvimento de gemas apicais, redução do número de folhas, manchas avermelhadas com posterior amarelecimento das folhas mais velhas, queima das bordas e ápice do limbo e queda das folhas em estágios mais avançados. Devido às modificações no balanço hormonal e nutricional, ocorre também redução geral da atividade metabólica dos vegetais e da perda da turgescência das células guarda (FERREIRA *et al.*, 2001; DANTAS, 2003; NASCIMENTO *et al.*, 2011; DIAS *et al.*, 2016).

Nesse sentido, vários pesquisadores constataram redução no crescimento e desenvolvimento na formação de mudas de maracujazeiro submetidas a diferentes níveis de salinidade (LIMA *et al.*, 2006; MESQUITA *et al.*, 2012; SOUSA *et al.*, 2013; OLIVEIRA *et al.*, 2015; MOURA *et al.*, 2016; MOURA *et al.*, 2017; ANDRADE *et al.*, 2018; SÁ *et al.*, 2018;

MOURA et al., 2020; MOURA et al., 2022). Os efeitos dos sais sobre o desenvolvimento das culturas podem ser de forma direta ou indireta, lenta ou brusca, total ou parcial. O excesso de sais solúveis na solução do solo, especialmente o Na^+ e o Cl^- , afetam o desenvolvimento vegetal, principalmente nas espécies mais susceptíveis, promovendo distúrbios fisiológicos, desequilíbrios nutricionais, reduz a atividade dos íons em solução e altera os processos de absorção, transporte e assimilação de nutrientes na planta (FARIAS *et al.*, 2009).

A baixa concentração de K^+ em ambientes salinos é uma complicação adicional para o desenvolvimento vegetal, uma vez que em algumas situações, o K^+ é o principal nutriente responsável por reduzir o potencial osmótico entre a solução do solo e a raiz, sendo uma estratégia fundamental à absorção de água nessas circunstâncias (FARIAS *et al.*, 2009). O fato desse antagonismo entre K^+ e Na^+ sugere uma competição entre esses íons pelos sítios de absorção no plasmalema, ou um possível aumento do efluxo de K^+ das raízes no meio de desenvolvimento, em função de distúrbios na integridade das membranas (FERNANDES *et al.*, 2002).

Em relação ao Ca^{2+} , pesquisas têm demonstrado que a alta salinidade pode induzir deficiência desse nutriente (FARIAS, 2009). Ferreira *et al.* (2001), observaram decréscimos nos teores de Ca^{2+} nas folhas e caules de goiabeira em função da aplicação de níveis crescentes de salinidade. O cálcio é um elemento essencial para a integridade da membrana plasmática das células vegetais e sua deficiência pode levar a perda da integridade da mesma, afetando desta forma a absorção de íons, principalmente o K^+ (EPSTEIN e BLOOM, 2006). Segundo Farias *et al.* (2009) a baixa absorção de Ca^{2+} devido aos efeitos dos sais acarreta em maior incorporação de sódio na estrutura da membrana plasmática, o que reduz sua seletividade e, permite o efluxo de íons, como o K^+ .

Vários estudos evidenciaram aumentos nos teores de Cl^- em diversos tecidos das plantas com a aplicação de NaCl . Neves *et al.* (2004) encontraram teores bem superiores de Cl^- em relação Na^+ , em umbuzeiro; Ferreira *et al.* (2001) observaram maiores concentrações de Cl^- nas folhas de goiabeira submetidas salinidade, enquanto que as menores concentrações foram verificadas no caule. Segundo esses pesquisadores, um dos mecanismos das plantas para reduzir o efeito tóxico desse elemento é a retranslocação de Cl^- para as folhas mais jovens. Do mesmo modo, Marschner (1995) afirma que a presença de Cl^- na solução do solo pode reduzir a absorção de nitrogênio, principalmente quando este nutriente é fornecido na forma nítrica.

Da mesma forma Miranda *et al.* (2002), afirmam que a absorção de Cl⁻ inibe a absorção de NO₃⁻, e justificam afirmando o efeito depressivo do Cl⁻. Já Fernandes *et al.* (2002) verificaram em pupunheira, decréscimos nos teores de fósforo nas raízes após a aplicação de NaCl, e atribuíram a baixa atividade do nutriente na solução com o aumento do NaCl, elevando a força iônica, ou promovendo um desbalanço nutricional induzido pelos elevados teores de Cl⁻ nos tecidos da planta e, assim inibindo a absorção de fósforo. A salinidade exerce impacto negativo crescente nas mudas de *Passiflora edulis*, influenciando diretamente parâmetros morfofisiológicos e bioquímicos essenciais para o seu desenvolvimento. Moura *et al.* (2022) demonstraram que níveis elevados de salinidade reduzem a área foliar, a condutância estomática e a biomassa seca, apesar de a propagação por enxertia atenuar esses efeitos iniciais. Estudos anteriores conduzidos pela mesma autora mostraram alterações anatômicas em raízes e folhas das plantas propagadas por diferentes métodos, sugerindo adaptações estruturais importantes para a tolerância salina (Moura *et al.*, 2020a; 2020b). Esses ajustes incluem o espessamento da cutícula foliar e o aumento de esclerênquimas, fortalecendo a resistência das mudas quando submetidas ao estresse salino.

A deficiência de cálcio (Ca²⁺), causada pela competição iônica com Na⁺ e Cl⁻, pode agravar os efeitos negativos da salinidade, comprometendo a integridade da membrana plasmática e facilitando o fluxo de íons tóxicos, como K⁺, para o interior celular (Epstein & Bloom, 2006). O acúmulo de Cl⁻ nos tecidos é outro fator crítico: conforme Moura *et al.* (2020b), espécies propagadas por enxertia exibiram maior retenção de Cl⁻ nas folhas mais velhas, o que pode refletir um mecanismo de retração iônica para proteger tecidos mais novos e manter a absorção de nutrientes como NO₃⁻. Esses fenômenos reforçam a importância do manejo da salinidade na seleção de métodos de propagação e na monitorização da qualidade da água usada na irrigação para garantir boas condições de vigor inicial e sustentabilidade das cultivares.

TOLERÂNCIA DAS PLANTAS À SALINIDADE

Existem espécies vegetais que possuem mecanismos que permitem a sobrevivência em ambientes com altos teores de sais. Esses mecanismos adquiridos pelas plantas podem ser resultado de processos adaptativos envolvendo, absorção, transporte e redistribuição dos sais em vários órgãos da planta (FARIAS *et al.*, 2009).

De acordo com Munns (2002) as plantas criam estratégias para excluir o Na⁺ de alguns tecidos (xilema) para a solução do solo, isto é, para evitar o acúmulo do Na⁺ no limbo das folhas, reduzindo as implicações negativas da salinidade sobre o metabolismo das mesmas, como o processo de fotossíntese. Santos *et al.* (2011), relatam outra forma de estratégia que é a adaptação das plantas a altos níveis de salinidade, as plantas halófitas são capazes de acumular conteúdos elevados de sais nos seus tecidos.

Do mesmo modo, também existem genótipos que são capazes de acumular íons no vacúolo e solutos orgânicos de baixo peso molecular no citoplasma, permitindo um ajuste osmótico a esse tipo de situação (FARIAS, 2009). Entretanto, Miranda *et al.* (2002) relatam que os genótipos tolerantes exibem baixos teores de Na⁺ no floema e no citoplasma e elevados no vacúolo, em função da baixa seletividade do tonoplasto ao sódio. Já Epstein e Bloom (2006), asseguram que os genótipos tolerantes possuem mecanismos altamente eficientes no transporte de Na⁺ no tonoplasto.

Em geral, pesquisas mostram que há perdas de crescimento inicial em plantas de maracujazeiro irrigados com águas de elevado teor salino. Em estudos com *P. edulis* Cavalcante *et al.* (2002) observaram reduções no crescimento a partir de 1,0 dS m⁻¹. Entretanto, existe variabilidade quanto a tolerância dentro da mesma espécie. Alguns autores consideram o *P. edulis* "tolerante" à salinidade na fase inicial de germinação e "moderadamente tolerante" à salinidade nos outros estágios de crescimento (CASIERRA POSADA *et al.*, 2013).

A tolerância das plantas à salinidade está relacionada à capacidade de adaptação morfofisiológica, bioquímica e anatômica frente ao estresse causado pelo excesso de sais no ambiente. Estudos conduzidos por Moura et al. (2022) demonstraram que mudas de *Passiflora edulis* propagadas por diferentes métodos apresentam variações significativas na tolerância ao estresse salino, sendo que plantas enxertadas revelaram melhor desempenho fisiológico e menor redução na biomassa em condições salinas. Essas respostas são reflexo de mecanismos adaptativos, como fechamento estomático controlado, maior eficiência no uso da água e retenção seletiva de íons nos tecidos, que minimizam os efeitos tóxicos do sódio e cloreto.

Além disso, Moura et al. (2020) observaram que a tolerância à salinidade em *Passiflora* também está associada a modificações anatômicas, como o aumento da espessura do parênquima paliçádico, fortalecimento de tecidos de sustentação e incremento na espessura da epiderme. Essas alterações estruturais atuam como barreiras

físicas que reduzem a perda de água e dificultam o acúmulo de íons tóxicos nos tecidos mais sensíveis. De forma complementar, Moura et al. (2016) destacaram diferenças genotípicas entre espécies do gênero *Passiflora*, com algumas apresentando maior capacidade de exclusão de íons, manutenção da atividade fotossintética e crescimento mesmo sob elevados níveis de condutividade elétrica, evidenciando o potencial de seleção de genótipos mais tolerantes para programas de melhoramento e uso em regiões afetadas pela salinidade.

ASPECTOS FISIOLÓGICOS E ANATÔMICOS DO ESTRESSE SALINO

A salinidade induz desequilíbrio iônico e osmótico a nível celular que resulta em íon tóxico e estresse osmótico (KHAN et al., 2000). O estresse salino representa o estado de desequilíbrio osmótico exercido sobre as plantas em fase de crescimento e desenvolvimento em condições de alta salinidade. Em caso de glicófitas, o sódio é um elemento não essencial que afeta o crescimento e vários processos metabólicos das plantas que eventualmente causam alterações morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e anatômicas em doses mais elevadas de salinidade (PARIDA e JHA, 2013). A salinidade afeta principalmente as plantas, reduzindo o potencial de água no solo que conduz à deficiência da disponibilidade da água para as plantas (HASEGAWA, 2013).

Esta diminuição da disponibilidade de água reduz a taxa fotossintética e, consequentemente, o crescimento geral das plantas. A fim de sobreviver em solos com alta salinidade, as plantas desenvolvem vários mecanismos fisiológicos e bioquímicos que incluem a compartimentação iônica (SHABALA e MACKAY, 2011), biossíntese de osmo-protetores ou solutos compatíveis, aminoácidos, açúcares, compostos de amônio quaternário, etc. (SLAMA et al., 2015).

Entre as alterações anatômicas observam-se estratégias como aumento da lignificação das paredes celulares, que provocam alterações na espessura dos tecidos, presença de estrias de Caspary, que atuam reduzindo o transporte de íons Na^+ pela via apoplástica, armazenamento de cristais de oxalato de cálcio nas células e redução no número de células dos feixes vasculares, além de uma desorganização na acomodação dessas células (CASTRO et al., 2009; HUNSCHE et al., 2010). Estas modificações levam ao ajuste osmótico e iônico das células em condições de alta salinidade. O ajuste osmótico da

célula também pode ser alcançado pela compartimentação intracelular do sal entre o citoplasma e vacúolo (PARIDA *et al.*, 2016).

Existem vários trabalhos na literatura que mostram alterações fisiológicas e anatômicas em plantas submetidas à salinidade, a exemplo da redução do consumo hídrico observado por Moura *et al.* (2017) em espécies de *Passiflora*, Nobre *et al.* (2014) em mamoneira e Montaña *et al.* (2014) em *P. eduli*, Freire *et al.* (2014) observaram redução na condutância estomática em *P. edulis*, Parida *et al.* (2016), aumento na espessura da epiderme inferior das folhas de *Salvadora persica* L., Xu *et al.* (2014), aumento na espessura do parênquima paliçadico em plantas de *Myoporum bontioides* A. Gray. Já Acosta-Motos *et al.* (2015a; 2015b) observaram alterações anatômicas na folha em plantas de *Myrtus communis* e *Eugenia myrtifolia* submetidas a solução de NaCl de 8 dS m⁻¹. Segundo os autores, em *Myrtus communis* houve diminuição no parênquima esponjoso e aumento no espaço intercelular já em *Eugenia myrtifolia* observaram aumento expressivo no parênquima paliçadico. Hurtado-Salazar *et al.* (2018) observaram escreção de sais na superfície adaxial da folha de *P. tarminiana* e outras estruturas, como tricomas e papilas.

O estresse salino provoca diversas alterações fisiológicas nas plantas, impactando diretamente processos como fotossíntese, condutância estomática, transpiração e eficiência no uso da água. De acordo com Moura et al. (2022), plantas de *Passiflora edulis* submetidas a diferentes níveis de salinidade apresentaram reduções significativas na taxa fotossintética líquida, no potencial hídrico foliar e na atividade estomática, indicando uma resposta fisiológica de fechamento estomático para minimizar a perda de água. Moura et al. (2020) também observaram que essas alterações variam conforme o tipo de propagação utilizado, sendo que plantas propagadas por sementes, estacas ou enxertia respondem de forma distinta, demonstrando que o método de multiplicação influencia a sensibilidade fisiológica ao estresse salino.

No aspecto anatômico, o estresse salino induz modificações estruturais que visam preservar a integridade dos tecidos e a funcionalidade da planta. Segundo Moura et al. (2020), o aumento na espessura da epiderme foliar, a maior densidade de tricomas e o reforço dos tecidos de sustentação são algumas das respostas anatômicas observadas em *Passiflora edulis* diante da salinidade. Tais alterações ajudam a reduzir a transpiração e formam barreiras físicas contra a entrada excessiva de sais. Moura et al. (2016) acrescentam que o acúmulo de íons tóxicos como Na⁺ e Cl⁻ nos tecidos pode afetar a

organização celular e comprometer o metabolismo, reforçando a importância dessas adaptações anatômicas para a tolerância ao estresse. Dessa forma, os ajustes fisiológicos e anatômicos representam mecanismos integrados essenciais para a sobrevivência das plantas em ambientes salinos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS

Diante do cenário de crescente escassez de água de boa qualidade, especialmente nas regiões semiáridas do Brasil, torna-se imprescindível adotar estratégias sustentáveis para viabilizar a produção de mudas de maracujazeiro (*Passiflora spp.*) sob irrigação com água salina. A literatura evidencia que o uso de espécies silvestres como *P. foetida*, *P. gibertii* e *P. cincinnata* como porta-enxertos pode melhorar a tolerância ao estresse salino, promovendo maior sobrevivência, vigor e uniformidade das mudas, além de ampliar a resistência a pragas e doenças. Métodos de propagação vegetativa como enxertia e estaquia têm se mostrado eficazes na formação de plantas mais adaptadas ao ambiente salino, com alterações fisiológicas e anatômicas que favorecem o ajuste osmótico e a compartimentalização de íons, como o espessamento da epiderme e a redução da condutância estomática (MOURA et al., 2020; 2022).

Como recomendações técnicas, destaca-se a necessidade de análise prévia da qualidade da água de irrigação, com especial atenção à condutividade elétrica (CEa) e ao risco de toxicidade por íons como Na^+ e Cl^- . Recomenda-se o uso de águas com CEa inferior a 3 dS m^{-1} ou, quando esse limite for superado, a adoção de manejos complementares como o uso de biofertilizantes, matéria orgânica e cultivares tolerantes. A escolha de recipientes e substratos adequados, além de práticas como sombreamento e aclimatação gradual das mudas, também são essenciais para maximizar a eficiência fisiológica das plantas sob salinidade. É fundamental a realização de estudos adicionais sobre a resposta de diferentes combinações de enxertos e porta-enxertos frente a variados níveis de salinidade, para subsidiar programas de melhoramento genético e práticas mais seguras para a fruticultura tropical irrigada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA-MOTOS, J. R.; DÍAZ-VIVANCOS, P.; ÁLVAREZ, S.; FERNÁNDEZ-GARCÍA, N.; SÁNCHEZ-BLANCO, M. J.; HERNÁNDEZ, J. A. NaCl-induced physiological and biochemical adaptative mechanism in the ornamental *Myrtus communis* L. plants. *Journal of Plant Physiology*, v.183, n.1, p.41–51, 2015a. DOI: 10.1016/j.jplph.2015.05.006
- ACOSTA-MOTOS, J. R.; DÍAZ-VIVANCOS, P.; ÁLVAREZ, S.; FERNÁNDEZ-GARCÍA, N.; SÁNCHEZ-BLANCO, M. J.; HERNÁNDEZ, J. A. Physiological and biochemical mechanisms of the ornamental *Eugenia myrtifolia* L. plants for coping with NaCl stress and recovery. *Planta*, v.242, n.4, p.829–846, 2015b. DOI: 10.1007/s00425-015-2337-1
- AGRIANUAL. *Anuário estatístico da agricultura brasileira*. 19. ed. São Paulo: FNP, 2014. 136 p.
- AHMED, B. A. E.; MORITANI, I. S. Effect of saline water irrigation and manure application on the available water. *Agricultural Water Management*, v.97, n.1, p.165-170, 2010. DOI: 10.1016/j.agwat.2009.09.003
- ALVES, F. J. B.; FREIRE, A. L. O. Crescimento inicial e qualidade de mudas de ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC) Mattos) produzidas em diferentes substratos. *ACSA – Agropecuária Científica no Semi-Árido*, v.13, n.3, p.195-202, 2017.
- ANDRADE, J. R.; MEDEIROS, A. S.; MAIA JÚNIOR, S. O.; REZENDE, L. P.; ARAÚJO NETO, J. C. Germination and morphophysiology of passion fruit seedlings under salt water irrigation. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.48, n.3, p.229-236, 2018.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; SILVA, E. F. F.; BASTOS, E. A.; MELO, F. B.; LEAL, C. M. Uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no Semi-Árido piauiense. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.4, p.873-880, 2006.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA. Gazeta: Santa Cruz do Sul, RS. 2009. 136 p.
- APONTE, Y.; JAUREGUI, D. Algunos aspectos de la biología floral de *Passiflora cincinnata* Mast. *Revista de la Facultad de Agronomía*, v.21, n.3, p.211-219, 2004.
- ARAÚJO, S. C. A.; NOBRE, R. G.; SOUZA, L. P.; ALMEIDA, L. L. S.; PINHEIRO, F. W. A.; ELIAS, J. J. Produção de porta-enxerto de cajueiro irrigado com águas salinizadas e adubação potássica. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.12, n.2, p.2519-2528, 2018.
- ARAÚJO, W. L.; SOUSA, J. R. M.; SOUSA JUNIOR, J. R.; SILVA, S. S.; ALEIXO, D. L.; PEREIRA, E. B. Produção de mudas de maracujazeiro amarelo irrigadas com água salina. *ACSA – Agropecuária Científica no Semi-Árido*, v.9, n.4, p.15-19, 2013.
- ARIF, Y.; SINGH, P.; SIDDIQUI, H.; BAJGUZ, A.; HAYAT, S. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, Paris, v.156, p.64–77, 2020. DOI: 10.1016/j.plaphy.2020.08.042

ATABAYEVA, S.; NURMAHANOVA, A.; MINOCHA, S.; AHMETOVA, A.; KENZHEBAYEVA, S.; AIDOSOVA, S.; NURZHANOVA, A.; ZHARDAMALIEVA, A.; ASRANDINA, S.; ALYBAYEVA, R.; LI, T. The effect of salinity on growth and anatomical attributes of barley seedling (*Hordeum vulgare L.*). *African Journal of Biotechnology*, v.12, n.1, p.2366-2377, 2013.

AYRES, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1999. 153 p.

BERNACCI, L. C.; VITTA, F. A.; BAKKER, Y. V. *Passiflora L.* In: WANDERLEY, M. G. L.; SHEPHERD, G. J.; GIULIETTI, A. M.; MELHEM, T. S. *Flora fanerogâmica do Estado de São Paulo*. São Paulo: RiMa/FAPESP, 2003. v.3, p.248-274.

BEZERRA, J. D.; PEREIRA, W. E.; SILVA, J. M.; RAPOSO, R. W. C. Crescimento de dois genótipos de maracujazeiro-amarelo sob condições de salinidade. *Revista Ceres*, v.63, n.4, p.502-508, 2016.

BLANCO, F. F. Água salina na produção de frutas. São Paulo: Instituto Brasileiro de Frutas, 2008. p.41-43.

BRAGA, M. F.; SANTOS, E. C.; JUNQUEIRA, N. T. V.; SAUSA, A. A. T. C.; FALEIRO, F. G.; REZENDE, L. N.; JUNQUEIRA, K. P. Enraizamento de três espécies silvestres de Passiflora. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.28, n.2, p.284-288, 2006.

BRITO, M. E. B.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; MELO, A. S.; SOARES FILHO, W. S.; SANTOS, R. T. Sensibilidade à salinidade de híbridos trifoliados e outros porta-enxertos de citros. *Revista Caatinga*, v.27, n.1, p.17-27, 2014.

BUAINAIN, A. M.; BATALHA, M. O. Cadeia produtiva de frutas. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Política Agrícola, Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura; Brasília: IICA: MAPA/SPA, 2007. 102 p.

CANTARELLI, J. R. R.; ALMEIDA JR., E. B.; SANTOS-FILHO, F. S.; ZICKEL, C. S. Tipos fitofisionômicos e florística da restinga da APA de Guadalupe, Pernambuco, Brasil. *Revista de Botânica*, v.1, n.41, p.95-117, 2012.

CASIERRA-POSADA, F.; PEÑA-OLMOS, J. E.; TEJEDOR, E. Growth of banana passion fruit seedlings (*Passiflora tripartita* var. *mollissima* (Kunth) L.H. Bailey) under saline stress. *Revista Actualidad e Divulgación Científica*, v.14, n.1, p.31-38, 2011.

CASIERRA-POSADA, F.; PEÑA-OLMOS, J. E.; VAUGHAN, G. Photochemical efficiency of photosystem II and growth in banana passion fruit plants (*Passiflora tripartita* (Juss.) var. *mollissima* (Kunth) L.H. Bailey) under salt stress. *Acta Agronómica*, v.62, n.1, p.21-26, 2013.

CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. *Histologia vegetal: estrutura e função de órgãos vegetativos*. Lavras: Ed. UFLA, 2009. 234p.

CAVALCANTE, L. F. A água para agricultura: Irrigação com água de boa qualidade e água salina. In: CAVALCANTE, L. F.; OLIVEIRA, F. A.; GHEYI, H. R.; CAVALCANTE, I. H. L.; SANTOS, P. D. *O maracujazeiro amarelo e a salinidade*. João Pessoa, 2012. p.17-67.

CAVALCANTE, L. F.; LIMA, R. de L. S. de; SANTIAGO, R. D.; CAVALCANTE, I. H. L.; ARAÚJO, F. A. R. de. Melhoria química e física de um solo salino-sódico tratado com matéria orgânica e cultivado com leguminosas forrageiras. *Ciência Agrícola*, v.6, n.1, p.27-35, 2002.

CAVALCANTE, L. F.; SILVA, G. F.; GHEYI, H. R.; DIAS, T. J.; ALVES, J. do C.; COSTA, A. P. M. Crescimento de mudas de maracujazeiro amarelo em solo salino com esterco bovino líquido fermentado. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.4, n.4, p.414-420, 2009.

CAVICHIOLO, J. C.; CORRÊA, L. de S.; BOLIANI, A. C.; SANTOS, P. C. Desenvolvimento e produtividade do maracujazeiro-amarelo enxertado em três porta-enxertos. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.33, n.2, p.558-566, 2011.

DOI: 10.1590/S0100-29452011000200031

CAVICHIOLO, J. C.; CORREA, L. de S.; BOLIANI, A. C.; OLIVEIRA, J. C. Uso de câmara úmida em enxertia hipocotiledonar de maracujazeiro-amarelo sobre três porta-enxertos. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.31, n.2, p.523-538, 2009.

DOI: 10.1590/S0100-29452009000200034

COELHO, M. S. E. Caracterização citogenética de *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg., *P. cincinnata* Mast. e seu híbrido interespecífico. 2009. 80f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Agronomia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba.

COSTA, A. F. S.; ALVES, F. L.; COSTA, A. N. Plantio, formação e manejo da cultura do maracujá. In: COSTA, A. F. S.; COSTA, A. N. (eds.). *Tecnologias para a produção de maracujá*. Vitória-ES: INCAPER, 2005. p.23-53.

CRUZ, J. L.; PELACANI, C. R.; COELHO, E. F.; CALDAS, R. C.; ALMEIDA, A. Q.; QUEIROZ, J. R. Influência da salinidade sobre o crescimento, absorção e distribuição de sódio, cloro e macronutrientes em plântulas de maracujazeiro-amarelo. *Bragantia*, v.65, n.2, p.275-284, 2006.

DOI: 10.1590/S0006-87052006000200015

DANTAS, J. P.; FERREIRA, M. M. M.; MARINHO, F. J. L. Efeito do estresse salino sobre a germinação e produção de sementes de caupi. *Agropecuária Técnica*, v.24, n.2, p.119-130, 2003.

DANTAS, S. A. G.; CAVALCANTE, L. F.; ALVES, E. U.; NASCIMENTO, J. A. M.; SILVA, S. A.; DANTAS, T. A. G. Physiological quality of yellow passion fruit seed produced under saline water, NPK and bovine biofertilizer. *African Journal of Agricultural Research*, v.10, n.30, p. 2948-2954, 2015.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. S.; SOUSA NETO, O. N.; QUEIROZ, Í. S. R. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.;

GOMES FILHO, E. (ed.). *Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados.* 2.ed. Fortaleza: INCTSAL, 2016, p.151-161.

DURIGAN, G.; FRANCO, G. A. D. C.; SIQUEIRA, M. F. A vegetação dos remanescentes de cerrado no Estado de São Paulo. In: BITENCOURT, M. D.; MENDONÇA, R. R. (org.). *Viabilidade de conservação dos remanescentes de cerrado no Estado de São Paulo.* São Paulo: Fapesp, 2004, p.29-56.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Maracujá: o produtor pergunta, a Embrapa responde. / Faleiro, F. G.; Junqueira, N. T. V. Brasília-DF: Embrapa, 2016. 341 p.

EMBRAPA CERRADOS – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Recomendação técnica: produção de mudas de Maracujá-azedo por estacaia em bandejas. *Planaltina*, n.42, p.1-3, 2001.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

FARIAS, S. G. G.; SANTOS, D. R.; FREIRE, A. L. O.; SILVA, R. B. Estresse salino no crescimento inicial e nutrição mineral de gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunt ex Steud) em solução nutritiva. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, n.1, p.1499-1505, 2009.

FERNANDES, A. R.; CARVALHO, J. G.; CURI, N.; PINTO, J. E. B. P.; GUIMARÃES, P. T. G. Nutrição mineral de mudas de pupunheira sob diferentes níveis de salinidade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n.11, p.1613-1619, 2002.

FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. B.; GHEYI, H. R.; SOARES FILHO, W. S.; MELO, A. S.; CARNEIRO, P. T. Crescimento de híbridos e variedades porta-enxerto de citros sob salinidade. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.33, n.2, p.259-267, 2011.

FERREIRA, J. F. S.; LIU, X.; SUDDARTH, S. R. P.; NGUYEN, C.; SANDHU, D. NaCl accumulation, shoot biomass, antioxidant capacity, and gene expression of *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg. in response to irrigation waters of moderate to high salinity. *Agriculture*, v.12, n.11, p.1856, 2022. DOI: [10.3390/agriculture12111856](https://doi.org/10.3390/agriculture12111856)

FERREIRA, R. G.; TÁVORA, F. J. A. F.; HEMANDEZ, F. F. F. Distribuição da matéria seca e composição química das raízes, caule e folhas de goiabeira submetida a estresse salino. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, n.1, p.79-88, 2001.

FREIRE, J. L. O.; CAVALCANTE, L. F.; REBEQUI, A. M.; DIAS, T. J.; VIEIRA, M. S. Crescimento do maracujazeiro amarelo sob estresse salino e biofertilização em ambiente protegido contra perdas hídricas. *Revista Holos*, v.4, n.28, p.55-68, 2012.

FREIRE, J. L. O.; DIAS, T. J.; CAVALCANTE, L. F.; FERNANDES, P. D.; LIMA NETO, A. J. Rendimento quântico e trocas gasosas em maracujazeiro amarelo sob salinidade hídrica, biofertilização e cobertura morta. *Revista Ciência Agronômica*, v.45, n.1, p.82-91, 2014.

GOMES, C. D. L.; SÁ, J. M.; LEITÃO, E. T. C.; RODRIGUES, M. H. B. S.; SOUSA, V. F. O.; MELO, R. A. P.; NOBRE, R. G.; PAIVA, F. J. S.; SANTOS, A. S.; FARIA, J. A.; BRILHANTE, C. L. Production of seedlings of yellow passion fruit plant in different substrates and saline levels. *Journal of Agricultural Science*, v.10, n.9, p.244-251, 2018.

GURGEL, M. T.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; SANTOS, F. J. DE S.; BEZERRA, I. L. Uso de águas salinas na produção de mudas enxertadas de aceroleira. *Revista Caatinga*, v.20, n.1, p.16-23, 2007.

HADDADI, B. S.; HASSANPOUR, H.; NIKNAM, V. Effect of salinity and waterlogging on growth, anatomical and antioxidative responses in *Mentha aquatica* L. *Acta Physiologiae Plantarum*, v.38, n.1, p.1-11, 2016.

HAJ-AMOR, Z.; ARAYA, T.; KIM, D. G.; BOURI, S.; LEE, J.; GHILOUFI, W.; YANG, Y.; KANG, H.; JHARIYA, M. K.; BANERJEE, A.; LAL, R. Soil salinity and its associated effects on soil microorganisms, greenhouse gas emissions and crop production. *Science of The Total Environment*, v.843, p.156946, 2022. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2022.156946](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156946)

HASEGAWA, P. M. Sodium (Na⁺) homeostasis and salt tolerance of plants. *Environmental Experimental Botany*, v.92, n.1, p.19-31, 2013.

HOLANDA, J. S.; AMORIM, J. R. A.; NETO, M. F.; HOLANDA, A. C.; SILVA SÁ, F. V. Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (ed.). *Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados*. 2.ed. Fortaleza: INCTSAL, 2016, p.35-47.

HUNSCHE, M.; BÜRLING, K.; SAIED, A. S.; SCHMITZ-EIBERGER, M.; SOHAIL, M.; GEBAUER, J.; NOGA, G.; BUERKERT, A. Effects of NaCl on surface properties, chlorophyll fluorescence and light remission, and cellular compounds of *Grewia tenax* (Forssk.) Fiori and *Tamarindus indica* L. leaves. *Plant Growth Regulation*, v.61, n.3, p.253-263, 2010.

HURTADO-SALAZAR, A.; SILVA, D. P.; OCAMPO, J.; CEBALLOS-AGUIRRE, N.; BRUCKNER, C. H. Salinity tolerance of *Passiflora tarminiana* Coppens & Barney. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, v.12, n.1, p.11-19, 2018.

JANICK, J. A ciência da horticultura. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1966. 485p.

JUNQUEIRA, N. T. V.; LAGE, D. A. C.; BRAGA, M. F.; PEIXOTO, J. R.; BORGES, T. A.; ANDRADE, S. R. M. Reação a doenças e produtividade de um clone de maracujazeiro-azedo propagado por estquia e enxertia em estacas herbáceas de Passiflora silvestre. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.28, n.1, p.97-100, 2006.

KANG, Y.; CHEN, M.; WAN, S. Effects of drip irrigation with saline water on waxy maize (*Zea mays* L. var. *ceratina* Kulesh) in North China Plain. *Agricultural Water Management*, v.97, n.9, p.1303-1309, 2010. DOI: [10.1016/j.agwat.2010.03.011](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.03.011).

KARIMZADEH, S.; HARTMAN, S.; DAVIDE, D.; CHIARELLI, M.; CRISTINA, R.; PAOLO, D'O. The tradeoff between water savings and salinization prevention in dryland irrigation. *Agricultural Water Management*, 2023.

KISHORE, K.; PATHAK, K. A.; SHUKLA, R.; BHARALI, R. Studies on floral biology of passion fruit (*Passiflora* spp.). *Pakistan Journal of Botany*, v.42, n.1, p.21-29, 2010.

LEÃO, A. J. P. Formação de mudas de maracujazeiro por enxertia em espécies silvestres e em híbridos inter e intraespecíficos. 2011. 88f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária.

LENZA, J. B.; VALENTE, J. P.; RONCATTO, G.; ABREU, J. A. Desenvolvimento de mudas de maracujazeiro propagadas por enxertia. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.31, n.4, p.1135-1140, 2009.

LIMA, A. A. Aspectos fitotécnicos: desafios da pesquisa. In: FALEIRO, F.G.; JUNQUEIRA, N.T.V.; BRAGA, M.F. (ed.). Maracujá: germoplasma e melhoramento genético. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. p.295-313.

LIMA, A. A.; CALDAS, R. C.; SANTOS, V. S. Germinação e crescimento de espécies de maracujá. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.28, n.1, p.125-127, 2006.

LIMA, L. K. S.; SOARES, T. L.; SOUZA, E. H.; JESUS, O. N.; GIRARDI, E. A. Initial vegetative growth and graft region anatomy of yellow passion fruit on *Passiflora* spp. rootstocks. *Scientia Horticulturae*, v.215, n.1, p.134-141, 2017. DOI: 10.1016/j.scienta.2017.02.038.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarium, 2002. 511p.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARTTI, L. F. Irrigação: princípios e métodos. Viçosa: UFV, 2006. 328p.

MARSCHNER, H. M. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

MEDEIROS, J. F. de. Salinização em áreas irrigadas: manejo e controle. In: FOLEGATTI, M.V.; CASARINI, E.; BLANCO, F.F. (ed.) Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 2001. cap.2, p.201-240.

MELLETTI, L. M. M.; CAVICHOIOLI, L.; PACHECO, C. A. Cultivares e produção de mudas (maracujá). *Informe Agropecuário*, v.33, n.269, p.35-43, 2012.

MELLETTI, L. M. M.; FURLANI, P. R.; ALVAREZ, V.; SOARES-SCOTT, M. D.; BERNACCI, L. C.; AZEVEDO-FILHO, J. A. Novas tecnologias melhoram a produção de mudas de maracujá. *O Agronômico*, v.54, p.30-33, 2002.

MELO, D. F. A. Reação de progêneres de maracujazeiro-azedo à *Septoria passiflorae*. 2013. 36p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária.

MESQUITA, F. O.; CAVALCANTE, L. F.; PEREIRA, W. E.; REBEQUI, A. M.; LIMA NETO, A. J.; NUNES, J. C. Produção de mudas de maracujazeiro amarelo submetidas à salinidade em solo com biofertilizante bovino. *Ciencia del Suelo*, v.30, n.1, p.31-41, 2012.

MIRANDA, J. R. P.; CARVALHO, J. G.; SANTOS, D. R.; FREIRE, A. L. O.; BERTONI, J. C.; MELO, J. R. M.; CALDAS, A. L. Silício e cloreto de sódio na nutrição mineral e produção de matéria seca de plantas de Moringa (*Moringa oleifera* Lam.). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, n.4, p.957-965, 2002.

MONTAÑA, L. A.; FISCHER, G.; MAGNITSKIY, S.; ZULUAGA, G. Effect of NaCl salinity on seed germination and seedling emergence of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). *Agronomía Colombiana*, v.32, n.2, p.188-195, 2014.

MOURA, R. S.; GHEYI, H. R.; COELHO FILHO, M. A.; JESUS, O. N.; SÁ, F. V. S.; LIMA, L. K. S. Tolerance of passion fruit species under salt stress. *International Journal Current Research*, v.8, n.9, p.37689-37695, 2016.

MOURA, R. S.; GHEYI, H. R.; COELHO FILHO, M. A.; JESUS, O. N.; LIMA, L. K. S.; CRUZ, C. S. Formation of seedlings of species from the genus *Passiflora* under saline stress. *Bioscience Journal*, v.33, n.5, p.1197-1207, 2017.

MOURA, R. S.; SOARES, T. L.; LIMA, L. K. S.; GHEYI, H. R.; JESUS, O. N.; COELHO FILHO, M. A. Salinity-induced changes in biometric, physiological and anatomical parameters of *Passiflora edulis* Sims plants propagated by different methods. *Journal of Plant Nutrition*, v.46, n.1, p.103-119, 2019. DOI: 10.1080/01904167.2022.2098156.

MOURA, R. S.; GHEYI, H. R.; SILVA, E. M.; DIAS, E. A.; CRUZ, C. S.; COELHO FILHO, M. A. Salt stress on physiology, biometry and fruit quality of grafted *Passiflora edulis*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.27, n.2, p.96-103, 2020a. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v27n2p96-103.

MOURA, R. S.; SOARES, T. L.; LIMA, L. K. S.; GHEYI, H. R.; DIAS, E. A.; JESUS, O. N.; COELHO FILHO, M. A. Effects of salinity on growth, physiological and anatomical traits of *Passiflora* species propagated from seeds and cuttings. *Acta Physiologiae Plantarum*, v.45, n.4, p.1-15, 2020b. DOI: 10.1007/s11738-023-03545-7.

MOURA, R. S.; GHEYI, H. R.; CRUZ, A. M.; NASCIMENTO, B. S.; MENEZES, E. P.; COELHO FILHO, M. A. Propagação de mudas de *Passiflora edulis* sob estresse salino: avaliação morfofisiológica e tolerância inicial. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.44, n.1, 2022.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, v.25, p.239-250, 2002.

NASCIMENTO, J. A. M.; CAVALCANTE, L. F.; SANTOS, P. D. dos; SILVA, S. A. da; VIEIRA, M. da S.; OLIVEIRA, A. P. Efeito da utilização de biofertilizante bovino na produção de mudas de pimentão irrigadas com água salina. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.6, n.2, p.258-264, 2011.

NASCIMENTO, E. S.; CAVALCANTE, L. F.; GONDIM, S. C.; SOUZA, J. T. A.; BEZERRA, F. T. C.; BEZERRA, M. A. F. Formação de mudas de maracujazeiro amarelo irrigadas com águas salinas e biofertilizantes de esterco bovino. *Revista Agropecuária Técnica*, v.38, n.1, p.1-8, 2017.

NEVES, O. S. C.; CARVALHO, J. G.; RODRIGUES, C. R. Crescimento e nutrição mineral de mudas de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.) submetidas a níveis de salinidade em solução nutritiva. Ciência e Agrotecnologia, v. 28, n. 5, p. 997-1006, 2004.

NIKOLOVA, K.; VELIKOVA, M.; GENTSCHEVA, G.; GERASIMOVA, A.; SLAVOV, P.; HARBALIEV, N.; MAKEDONSKI, L.; BUHALOVA, D.; PETKOVA, N.; GAVRILOVA, A. Chemical compositions, pharmacological properties and medicinal effects of genus *Passiflora* L.: a review. *Plants*, Basel, v. 13, n. 1, p. 1-25, 2024.

NOBRE, R. G.; LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; ANJOS SOARES, L. A.; SILVA, A. O. Crescimento, consumo e eficiência do uso da água pela mamoneira sob estresse salino e nitrogênio. Revista Caatinga, v. 27, n. 2, p. 148-158, 2014.

NOGUEIRA FILHO, G. C.; RONCATTO, G.; RUGGIERO, C.; OLIVEIRA, J.C. de; MALHEIROS, E.B.; DAMIÃO FILHO, C. F. Aspectos histológicos da união da enxertia hipocotiledonar do maracujazeiro-amarelo. Revista Brasileira de Fruticultura, v.32, n.2, p.515-521, 2010.

OLIVEIRA, E. J.; SOARES, T. L.; BARBOSA, C. J., SANTOS-FILHO, H. P.; JESUS, O. N. Severidade de doenças em maracujazeiro para identificação de fontes de resistência em condições de campo. Revista Brasileira de Fruticultura, v.35, n.2, p.485-492, 2013.

OLIVEIRA, F. A.; LOPES, M. A. C.; SÁ, F. V. S.; NOBRE, R. G.; MOREIRA, R. C. L.; SILVA, L. A.; PAIVA, E. P. Interação salinidade da água de irrigação e substratos na produção de mudas de maracujazeiro amarelo. Comunicata Scientiae, v.6, n.4, p.471-478. 2015.

OLIVEIRA JÚNIOR, M. X.; SÃO JOSÉ, A. R.; REBOUÇAS, T. N. H.; MORAIS, O. M.; DOURADO, F. W. N. Superação de dormência de maracujá-do-mato (*Passiflora cincinnata* Mast.). Revista Brasileira de Fruticultura, v.32, n.2, p.584-590, 2010.

PARIDA, A. K.; JHA, B. Inductive responses of some organic metabolites for osmotic homeostasis in peanut (*Arachis hypogaea* L.) seedlings during salt stress. Acta Physiologiae Plantarum, v.35, n.1, p.2821-2832, 2013.

PARIDA, A. K.; VEERABATHINI, S. K.; KUMARI, A.; AGARWAL, P. K. Physiological, anatomical and metabolic implications of salt tolerance in the halophyte *Salvadora persica* under hydroponic culture condition. Frontiers in Plant Science, v.7, n.1, p.1-18, 2016.

PASSOS, L. C.; SILVA, J. R.; RODRIGUES, W. P.; REIS, F. O.; VASCONCELLOS, M. A. S.; MACHADO FILHO, J. A.; CAMPOSTRINI, E. Leaf photosynthetic responses of passion fruit genotypes to varying sunlight exposure within the canopies. Theoretical and Experimental Plant Physiology, v.30, n.2, p. 103-112, 2018.

PEREIRA, M. G.; PEREIRA, T. N. S.; VIANA, A. P. Marcadores moleculares aplicados ao melhoramento genético do maracujá. In: FALEIRO, F. V.; JUNQUEIRA, N. T. V.; BRAGA, M. F. (eds.). Maracujá: germoplasma e melhoramento genético. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. p.276-292.

PRADO, J. C. L.; COSTA, E.; CARDOSO, E. D.; BINOTTI, F. F. S. Proporções de húmus para a formação de mudas de pimenteira. *Revista Ciencia Agrarias*, v.59, n.4, p.339-344, 2016.

RIBEIRO, A. A.; SEABRA FILHO, M.; MOREIRA, F. J. C.; MENEZES, A. S.; BARBOSA, M. C. Efeito da salinidade no crescimento inicial do maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims. f. *Flavicarpa* deg.). *Revista Agrogeoambiental*, v.6, n.3, p.37-43, 2014.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A.M. Uso de águas salinas para produção agrícola. Campina Grande: UFPB. Estudos FAO Irrigação e Drenagem. 2000. 117p.

RICHARDS, L. A. Diagnóstico y recuperación de suelos salinos y sódicos. México, 1954. 172p. (Manual de Agricultura, 60).

RONCATTO, G.; OLIVEIRA, J. C.; RUGIERO, C.; NOGUEIRA FILHO, G. C.; CENTURION, M. A. P.; FERREIRA, F. R. Comportamento de maracujazeiros (*Passiflora* spp:) quanto à morte prematura. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 26, n.1, p.552–554, 2004.

SÁ, J. M.; LEITÃO, E. T. C.; GOMES, C. D. L.; RODRIGUES, M. H. B. S.; SOUSA, V. F. O.; SANTOS, G. L.; MELO, R. A. P.; MENDONÇA JÚNIOR, A. F.; LACERDA, J. S. P. SANTOS, A. S. The initial growth of passion fruit plant irrigated with saline water and the application of biostimulants. *Journal of Agricultural Science*, v.10, n.9, p. 357-363, 2018.

SALOMÃO, L. C. C.; PEREIRA, W. E.; DUARTE, R. C. C.; SIQUEIRA, D. L. Propagação por estaquia dos maracujazeiros doce (*Passiflora alata* Dryand.) e amarelo (*P. edulis* f. *flavicarpa* O. Deg.) *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.24, n.1, p.163-167, 2002.

SANTOS, K. C. F.; SILVA, M. S. L.; SILVA, L. E.; MIRANDA, M. A.; FREIRE, M. B. G. S. Atividade biológica em solo salino sódico saturado por água sob cultivo de *Atriplex nummularia*. *Revista Ciência Agronômica*, v.42, n.3, p.619- 627, 2011.

SANTOS, R. H. S.; LIMA, R. S.; OLIVEIRA, C. L.; SOUZA, R. M. S.; ANTONINO, A. C. D.; SOUZA, E. S. Variação sazonal e interanual da umidade do solo e da evapotranspiração em Caatinga. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 16, n. 2, p. 604-616, 2023.

SHABALA, S. N., AND MACKAY, A. S. Ion transport in halophytes. *Advances in Botanical Research*, v. 57, n.1, p.151-187, 2011.

SILVA, A. S.; OLIVEIRA, E. J.; HADDAD, F.; LARANJEIRA, F. F.; JESUS, O. N.; OLIVEIRA, S. A. S.; COSTA, M. A. P. C.; FREITAS, J. P. X. Identification of passion fruit genotypes resistant to *Fusarium oxysporum* f sp. *passiflorae*. *Trop. Plant Pathology*, v.38, n.1, p.236–242, 2013.

SILVA, E. M.; NOBRE, R. G.; SOUZA, L. P.; ARAÚJO, R. H. C. R.; PINHEIRO, F. W. A.; ALMEIDA, L. L. S. Morfofisiologia de porta-enxerto de goiabeira irrigado com águas salinizadas sob doses de nitrogênio. *Comunicata Scientiae*, v.8, n.1, p.32-42, 2017.

SILVA, F. A. M.; MELONI, R.; MIRANDA, J. R. P.; CARVALHO, J. G. Efeito de estresse salino sobre a nutrição mineral e o crescimento de mudas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) cultivadas em solução nutritiva. *Revista Cerne*, v.6, n.1, p.52-59, 2000.

SILVA, Í. N.; FONTES, L. de O.; TAVELLA, L. B.; OLIVEIRA, J. B.; OLIVEIRA, A. C. Qualidade de água na irrigação, ACSA - Agropecuária Científica no Semiárido, v.7, n.3, p. 01 – 15, 2011.

SINGH A. Soil salinization management for sustainable development: A review. *J Environ Manage*. 2021 Jan 1;277:111383. doi: 10.1016/j.jenvman.2020.111383

SOARES, F. A. L.; GHEYI, H. R.; VIANA, S. B. A.; UYEDA, C. A.; FERNANDES, P. D. Water salinity and initial development of yellow passion fruit. *Scientia Agricola*, v.59, n.3, p.491-497, 2002.

SOARES FILHO, W. S.; GHEYI, H. R.; BRITO, M. E. B.; NOBRE, R. G.; FERNANDES, P. D.; MIRANDA, R. S. Melhoramento genético e seleção de cultivares tolerantes à salinidade. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F., GOMES FILHO, E. (ed.). Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. 2.ed. Fortaleza: INCTSAL. 2016, p.259-271.

SOUSA, A. B. O.; BEZERRA, M. A.; FARIA, F. C. Germinação e desenvolvimento inicial de clones de cajueiro comum sob irrigação com água salina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.4, p.390-394, 2011.

SOUSA, G. B.; CAVALCANTE, L. F.; CAVALCANTE, I. H. L.; CAVALCANTE, M. Z. B.; NASCIMENTO, J. A. Salinidade do substrato contendo biofertilizante para formação de mudas de maracujazeiro irrigado com água salina. *Revista Caatinga*, v.21, n.2, p.172-180, 2008.

SOUSA, L. B.; HEITOR, L. C.; SANTOS, P. C.; FREITAS, J. A. A.; FREITAS, M. S. M.; FREITAS, S. J.; CARVALHO, A. J. C. Crescimento, composição mineral e fenóis totais de espécies de *Passiflora* em função de fontes nitrogenadas. *Bragantia*, v.72, n.3, p.247-254, 2013.

SLAMA, I., ABDELLY, C., BOUCHEREAU, A., FLOWERS, T., AND SAVOURE, A. Diversity, distribution and roles of osmoprotective compounds accumulated in halophytes under abiotic stress. *Annals of Botany*, v.115, n.1, p.1-15, 2015.

SHOKRI, N.; HASSANI, A.; SAHIMI, M. Multi-Scale Soil Salinization Dynamics from Global to Pore Scale: A Review. *Reviews of Geophysics*, 2024.

SANGA, D. L.; MWAMAHONJE, A. S.; MAHINDA, A. J.; KIPANGA, E. A. Soil salinization under irrigated farming: A threat to sustainable food security and environment in semi-arid tropics. *Journal of Agricultural Science and Practice*, 2024.

SILVA, G.; ROQUE, A. A.; QUEIROZ, R.; MEZZONATO-PIRES, A. C. *Passiflora natalensis*, a new species of *Passiflora* (Passifloraceae sensu stricto) from the Atlantic Forest of northeastern Brazil. *Acta Botanica Brasilica*, Uberlândia, v. 38, e20230282, dez. 2024. DOI: 10.1590/1677-941X-ABB-2023-0282.

SOUZA, G. L. F. de; NASCIMENTO, A. P. J.; SILVA, J. de A.; BEZERRA, F. T. C.; SILVA, R. Í. L. da; CAVALCANTE, L. F.; MENDONÇA, R. M. Growth of wild passion fruit (*Passiflora*

foetida L.) rootstock under irrigation water salinity. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 26, n. 2, p. 114-120, 2022.

VARGAS, F. S.; REBECHI, R. J.; SCHORN, L. A.; FENILLI, T. A. B. Efeitos da mudança de recipiente em viveiro na qualidade de mudas de *Cassia leptophylla Vogel*, *Eugenia involucrata* DC. e de *Cedrela fissilis Vell.* Revista Academica: Ciências Agrárias e Ambientais, v. 9, n. 2, p. 169-177, 2011.

VIANA, P. C.; LIMA, J. G. A.; ALVINO, F. C. G.; SOUSA JUNIOR, J. R.; GOMES, É. C.; VIANA, K. C. Efeito da salinidade da água de irrigação na produção de maracujazeiro-amarelo. ACSA - Agropecuária Científica no Semiárido, v.8, n.1, p.45-50, 2012.

WANI, A. S.; AHMAD, A.; HAYAT, S.; TAHIR, I. Epibrassinolide and proline alleviate the photosynthetic and yield inhibition under salt stress by acting on antioxidant system in mustard. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.135, n.1, p. 385-394, 2019.

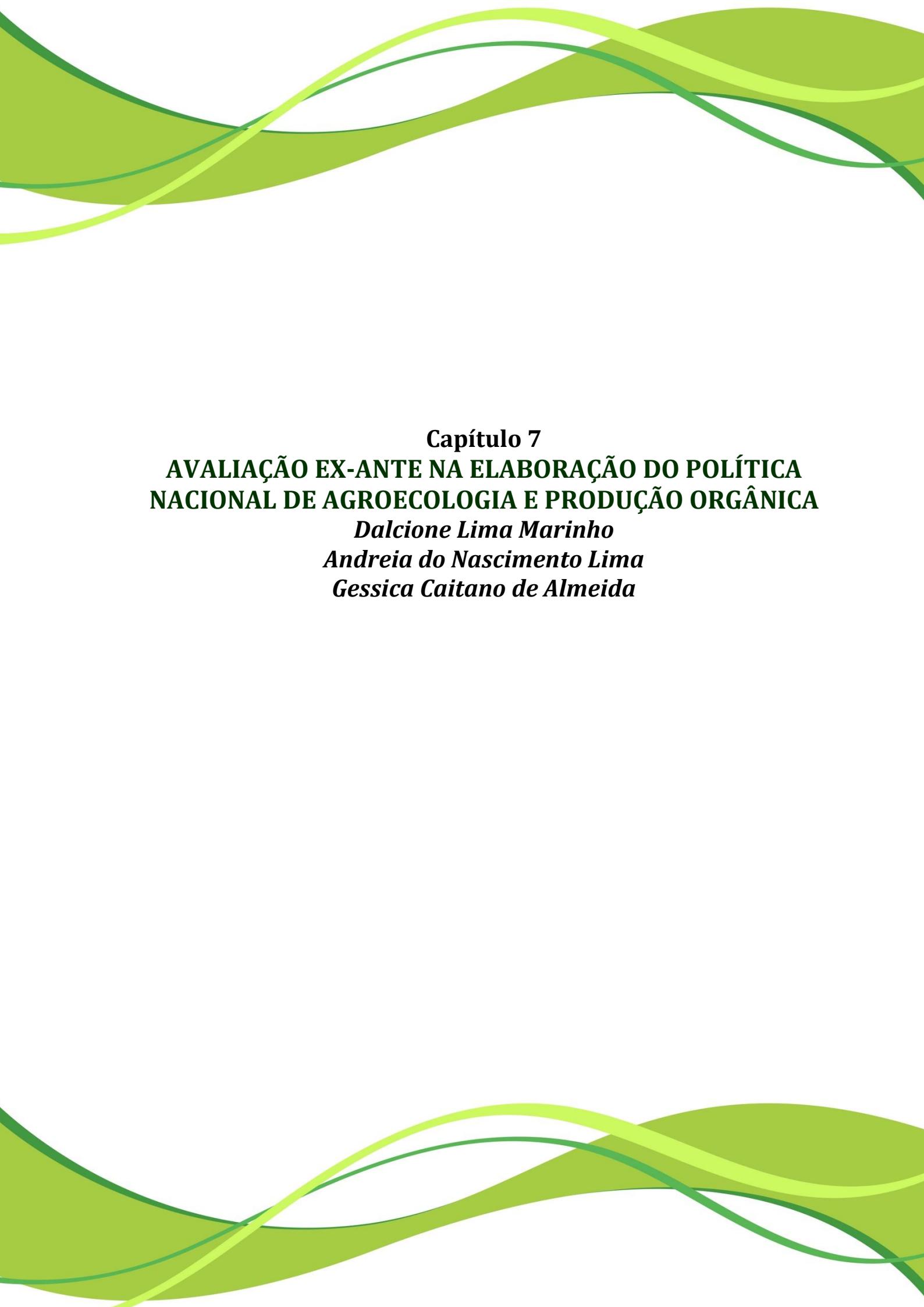
XU, H. M.; TAM, N. F. Y.; ZAN, Q. J.; BAI, M.; SHIN, P. K. S.; VRIJMOED, L. L. P.; CHEUNG, S. G.; LIAO, W. B.; Effects of salinity on anatomical features and physiology of a semi-mangrove plant *Myoporum bontioides*. *Marine Pollution Bulletin*. v.85, n.2, p.738–746. 2014.

YOUNIS, A.; RIAZ, A.; IKRAM, S.; NAWAZ, T.; HAMEED, M.; Salinity-induced structural and functional changes in 3 cultivars of *Alternanthera bettzickiana* (Regel) G. Nichloson. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, v.37, n.1, p.674-687, 2013.

ZHANG, J.; TAO, S.; HOU, G.; ZHAO, F.; MENG, Q.; TAN, S. Phytochemistry, nutritional composition, health benefits and future prospects of *Passiflora*: a review. *Food Chemistry*, Amsterdam, v. 404, p. 134727, 2023.

ZUCARELI, V. Aspectos anatômicos, fisiológicos e bioquímicos da enxertia de maracujazeiros sobre *Passiflora cincinnata* Mast. 2011. 112f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Botânica: Fisiologia Vegetal, Universidade Estadual Paulista.

ZUCARELI, V.; ORIKA ONO, E.; KROHN, N. G. A enxertia na cultura do maracujazeiro: aspectos anatômicos, bioquímicos e fisiológicos. *Journal of Agronomic Sciences*, v.3, n. especial, p.86-97, 2014.



Capítulo 7

**AVALIAÇÃO EX-ANTE NA ELABORAÇÃO DO POLÍTICA
NACIONAL DE AGROECOLOGIA E PRODUÇÃO ORGÂNICA**

Dalcione Lima Marinho
Andreia do Nascimento Lima
Gessica Caitano de Almeida

AVALIAÇÃO EX-ANTE NA ELABORAÇÃO DO POLÍTICA NACIONAL DE AGROECOLOGIA E PRODUÇÃO ORGÂNICA

Dalcione Lima Marinho

Doutorando do Programa de Pós-graduação em Educação Profissional - IFRN. Docente do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Pará. E-mail: dalcione.marinho@ifpa.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6126-4206>

Andreia do Nascimento Lima

Mestra em Educação pela Universidade Estadual Paulista - UNESP. Email: andreia.lima@ifpa.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1008-8870>

Gessica Caitano de Almeida

Mestra em Ciências Agrárias (Agroecologia), UFPB-PGCAG/CCHSA. E-mail: gcaitano29@gmail.com. ORCID: 0000-0003-3426-7056

RESUMO

Este estudo insere-se na interseção das áreas de educação, administração pública e agroecologia, se articulando ao campo de estudo da avaliação e da gestão de políticas públicas. Seu objetivo consiste em identificar e analisar a presença de aspectos e instrumentos característicos da análise *Ex-Ante* na elaboração da Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (PNAPO) no Brasil. O estudo foi realizado no período compreendido entre os meses de janeiro e março de 2025, adotando a pesquisa do tipo qualitativa, optou-se pela pesquisa documental, a qual incluiu a análise de documentos legais e normativos, as informações foram analisadas por meio de uma abordagem situada na perspectiva dialética. A pesquisa evidenciou que, embora a PNAPO tenha sido elaborada antes da formalização da análise *Ex-Ante* no Brasil, é possível identificar elementos dessa abordagem no processo de sua construção, especialmente no que diz respeito ao diagnóstico situacional, à participação democrática e à integração intersetorial. Além disso, a utilização dessas práticas preliminares com vias ao planejamento participativo ajudou a configurar uma política pública mais sólida e

alinhada aos desafios e oportunidades presentes no contexto agroecológico do Brasil.

Palavras-chave: Avaliação de políticas públicas. Análise *Ex-Ante*. Agroecologia. Ensino de políticas públicas e gestão.

ABSTRACT

This study is part of the intersection of the areas of education, public administration and agroecology, articulating itself with the field of study of evaluation and management of public policies. Its objective is to identify and analyze the presence of aspects and instruments characteristic of the Ex-Ante analysis in the elaboration of the National Policy of Agroecology and Organic Production (PNAPO) in Brazil. The study was carried out between January and March 2025, adopting qualitative research. We opted for documentary research, which included the analysis of legal and normative documents, the information was analyzed through an approach situated in the dialectical perspective. The research showed that, although the PNAPO was elaborated before the formalization of the Ex-Ante analysis in Brazil, it is possible to identify elements of this approach in the process of its construction, especially with regard to situational diagnosis, democratic participation and intersectoral integration. Furthermore, the use of these preliminary practices with paths to participatory planning helped to configure a more solid public policy, aligned with the challenges and opportunities present in the agroecological context of Brazil.

Keywords: Public policy evaluation. Ex-ante analysis. Agroecology. Teaching public policies and management.

INTRODUÇÃO

Este estudo insere-se na interseção das áreas de educação, administração pública e agroecologia, se articulando ao campo de estudo da avaliação e da gestão de políticas públicas. Seu objetivo consiste em identificar e analisar a presença de aspectos e instrumentos característicos da análise *Ex-Ante* na elaboração da Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (PNAPO) no Brasil.

A investigação foi motivada pela seguinte questão: algum instrumento característico da análise *Ex-Ante* foi utilizado durante a elaboração da PNAPO? Como ocorreu esse processo?

A política pública é uma ferramenta estratégica para a inclusão social e a redução da pobreza, especialmente em países em desenvolvimento, cujos contextos socioeconômicos frequentemente refletem situações expressivas de concentração de renda, desigualdade social e dependência econômica e tecnológica em relação às nações

mais industrializadas. Nesse contexto, a implementação bem-sucedida e qualitativa das políticas públicas é um objetivo almejado pelos diversos atores envolvidos no processo (usuários, operadores, gestores, políticos, entre outros), além de ser essencial para garantir a viabilidade das políticas, que se veem condicionadas por fatores externos (crises econômicas, guerras, endemias, entre outros) e internos (qualidade da política, competência dos gestores e operadores, participação e controle social dos usuários, entre outros).

As ações de orientação para ajustes e mitigação das políticas públicas são elaboradas por meio de processos de avaliação, cujas intenções e metodologias assumem características distintas em diferentes fases de uma política (elaboração, implementação, monitoramento e re-elaboração) e são definidas com base nos objetivos estabelecidos. Segundo Wu *et al.* (2014), a avaliação de políticas públicas é um fluxo coletivo que envolve diversas atividades realizadas pelos atores do processo, com o objetivo de obter informações sobre o desempenho da política, assim como aprimorar o seu desempenho para futuras iniciativas.

Este estudo se torna relevante por proporcionar uma sistematização das metodologias e dos procedimentos utilizados na avaliação durante a fase de elaboração da PNAPO no Brasil. Entretanto, não é possível afirmar que o processo de elaboração tenha se configurado como uma análise *Ex-Ante*, dado que essa abordagem de avaliação passou a integrar formalmente o protocolo de elaboração e gestão de políticas públicas no Brasil apenas com a promulgação do Decreto nº 9.203, de 22 de novembro de 2017. Ainda cabe destacar que a implementação da PNAPO teve início anteriormente, com a publicação do Decreto nº 7.794, de 20 de agosto de 2012.

Nesse sentido, espera-se, a partir deste estudo, evidenciar a importância das análises preliminares na fase de elaboração das políticas públicas, destacando especialmente seu potencial para promover maior eficiência, efetividade e eficácia durante a etapa de implementação dessas políticas. Ademais, credita-se que esta pesquisa contribui ao apontar direções e orientações sobre o uso da pesquisa na avaliação de análises *Ex-Ante* em políticas públicas, oferecendo subsídios que podem servir como referência para estudantes, pesquisadores e professores nas áreas de avaliação e gestão de políticas públicas.

A abordagem adotada para orientar esta pesquisa foi qualitativa, na qual a fonte primária de dados é o ambiente natural. Segundo Bogdan e Biklen (1994, p. 49), "ela

[abordagem qualitativa] exige que o mundo seja examinado com a ideia de que nada é trivial, que tudo tem potencial para constituir uma pista que nos permita estabelecer uma compreensão mais esclarecedora do nosso objeto de estudo".

O estudo foi realizado no período compreendido entre os meses de janeiro e março de 2025. A pesquisa teve início com uma fase exploratória, com o objetivo de realizar um levantamento bibliográfico sobre o tema em questão. Para tal, utilizou-se de livros e periódicos como fontes principais para embasar as análises.

Para complementar e qualificar as informações obtidas, optou-se pela pesquisa documental, a qual incluiu a análise de documentos legais e normativos, como o Decreto nº 7.794, de 20 de agosto de 2012 (Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica - PNAPO), os Planos Nacionais de Agroecologia e Produção Orgânica de 2013, 2016 e 2019, o Decreto nº 9.203, de 22 de novembro de 2017 (Política de Governança da Administração Pública Federal Direta, Autárquica e Fundacional), além de outros documentos como o "Guia Prático de Análise Ex Ante da Avaliação de Políticas Públicas", o Relatório do Tribunal de Contas da União sobre a Avaliação do PNAPO e os relatórios da Controladoria Geral da União sobre o mesmo tema. De acordo com Lüdke (1986, p. 39), "os documentos constituem também uma fonte poderosa de onde podem ser retiradas evidências que fundamentem afirmações e declarações do pesquisador". Esses documentos, além de serem considerados cientificamente autênticos, possibilitam a descrição e comparação dos fatos sociais.

As informações foram analisadas por meio de uma abordagem situada na perspectiva dialética, uma vez que, conforme Gatti (2002), esse método oferece maiores possibilidades epistemológicas para analisar o objeto investigado em suas múltiplas e concretas determinações históricas, destacando-se por sua aplicabilidade em pesquisas com uma perspectiva subjetiva.

O referencial teórico e metodológico que fundamenta esta pesquisa abrange os estudos de Sambuichi *et al.* (2017), Trovatto *et al.* (2017); Wu *et al.* (2014), Vitullo (2011) e Caporal, Costabeber e Paulus (2006).

Este capítulo encontra-se organizado em três seções, além desta introdução e das considerações finais. A primeira dedica-se aos fundamentos teóricos da pesquisa, os quais são apresentados por meio de uma exposição conceitual e metodológica sobre a avaliação de políticas públicas, com ênfase na etapa de análise *Ex-Ante*, além das definições relacionadas à agroecologia e à elaboração da PNAPO. A segunda descreve o processo de

formulação da PNAPO, destacando sua estrutura, organização e concepção, bem como os avanços e as contradições presentes na política. Por fim, a terceira apresenta uma reflexão sobre os instrumentos e métodos utilizados na análise *Ex-Ante* adotados durante a fase de elaboração da PNAPO.

ELEMENTOS TÉORICOS DA ANÁLISE EX-ANTE

A avaliação, em sua essência, configura-se como uma prática cultural humana e histórica, sendo, portanto, um instrumento que orienta as atividades cotidianas. Trata-se de uma ação intuitiva relacionada às diversas dimensões da existência humana, assumindo, nesse contexto, uma perspectiva ontológica.

A aplicação da avaliação na mensuração do desempenho das políticas públicas visa, principalmente, aprimorar processos e solucionar problemas. Essa perspectiva é comum a todos os tipos de avaliação (administrativa, educacional, institucional e de políticas públicas), constituindo-se como uma ação sistemática de análise. Segundo Boulossa (2020), nos últimos anos, a avaliação de políticas públicas tem se consolidado como um campo científico, não apenas no Brasil, mas também em diversos países da Ásia, África, América e Europa, sendo precedida por um aumento significativo na produção acadêmica e na formação de grupos de estudo. Nesse sentido, essa expansão denota um avanço no processo de qualificação das políticas públicas, uma vez que o aprimoramento dos aspectos avaliativos está diretamente relacionado ao atendimento das necessidades da população.

Belloni, Magalhães e Souza (2007) chamam a atenção para a existência de diferentes tipos de avaliação. Nesse sentido, a avaliação institucional e a avaliação de políticas públicas fazem parte de um mesmo tipo de avaliação, possuindo semelhanças metodológicas, mas com diferenças quanto aos objetos de avaliação. No primeiro caso, a avaliação ocorre de maneira global e sistemática dentro de uma instituição, com foco na missão institucional. Já no segundo caso, a instituição não faz parte da avaliação: o foco está exclusivamente na política pública, entendida como um conjunto de ações de um dado governo com o objetivo de alcançar um resultado específico.

No esteio dessa concepção, Wu *et al.* (2014) abordam a diferença entre avaliação administrativa e avaliação de políticas públicas. A avaliação administrativa, de acordo com os autores, é uma atuação interna realizada pelos sujeitos que executam e operam a

política, com resultados de aprendizagem e críticas limitadas, de forma a gerar impactos pontuais na reformulação da política, mas com baixa capacidade de inovação. Em contrapartida, a avaliação de políticas públicas ocorre de forma *ad hoc* (atuação externa), com independência em relação ao governo, permitindo uma participação democrática e o envolvimento de outros sujeitos no processo.

A avaliação de políticas públicas não deve se limitar à comparação entre as ações propostas e as atividades executadas, mas deve permitir uma análise crítica e processual (Wu *et al.*, 2014). Para tanto, as ações avaliativas devem possibilitar uma compreensão contextualizada do aprimoramento dos objetivos e metas estabelecidas, funcionando como referências para reorientações e adoções de novos procedimentos ou reorganização de atividades. Essa avaliação deve ser entendida tanto como um processo quanto como um resultado, abrangendo as fases de formulação e implantação e possibilitando o aprimoramento da gestão pública para atender às necessidades da população.

Nesse sentido, quanto ao período de realização da avaliação de políticas públicas, as mensurações podem ocorrer nas fases de elaboração/ampliação e execução, denominadas, respectivamente, como análise *Ex-Ante* ou análise *Ex-Post*. Nesse sentido, as análises *Ex-Ante* e *Ex-Post* são adotadas conforme as diferentes necessidades e intenções expressas na política, com seus objetivos e metodologias estabelecidos de acordo com essa ordem.

A análise *Ex-Post* constitui-se como um instrumento essencial para a tomada de decisão durante a execução da política pública, orientando os sujeitos envolvidos na gestão e implementação das ações, com o objetivo de aprimorar suas atividades e otimizar recursos (financeiros, humanos, infraestruturais, entre outros).

Por outro lado, a análise *Ex-Ante* tem como propósito refletir de forma mais abrangente sobre a criação, expansão ou aprimoramento das políticas públicas, visando a um melhor planejamento e desenho dessas políticas. Além disso, essa análise envolve a delimitação do monitoramento e a definição das atividades avaliativas a serem empregadas antes da implementação da política, juntamente com a identificação de indicadores, responsáveis, custos e públicos-alvo. Segundo o Guia Prático de Análise *Ex-Ante* (Brasil, 2018, p. 13):

[...] A avaliação das políticas públicas deve começar no nascedouro, por meio da análise *Ex-Ante*, a fim de verificar, fundamentalmente, se respondem a um problema bem delimitado e pertinente. Em função disso, observa-se se há um objetivo claro de atuação do Estado e se propõe um

desenho que efetivamente possa ser alcançado. Entre outros tópicos, é necessário que as políticas públicas contem com essa análise *Ex-Ante* para que os recursos públicos e o bem-estar da sociedade sejam otimizados. Desse modo, evita-se a detecção posterior de erros de formulação e de desenho, que, com maior racionalidade no processo inicial de implantação da política, poderiam ter sido previstos e eliminados.

Nesse contexto, o objetivo central da análise *Ex-Ante* é orientar a tomada de decisão, de forma a recorrer à alternativa mais efetiva, eficaz e eficiente para o poder público, aprimorando sua racionalidade e, consequentemente, garantindo maior capacidade de ação na resolução dos problemas da sociedade. A análise *Ex-Ante* é executada com base em dois modelos (Brasil, 2018):

- a) O primeiro, referenciado pela experiência chilena, adota uma abordagem centralizada em determinados órgãos governamentais, com a função de reformular, expandir e criar políticas públicas. Esse sistema unitário permite um maior controle do governo sobre o processo de avaliação das políticas, garantindo a definição de prioridades e assegurando a qualidade técnica.
- b) O segundo modelo, oriundo do Reino Unido, é desenvolvido pelos próprios órgãos setoriais, com base em diretrizes emanadas pelos centros de governo. Nesse caso, a análise é vinculada a todas as novas políticas, programas e ações, possibilitando uma maior descentralização dos processos avaliativos, bem como a vinculação com diferentes dimensões e critérios, como os econômicos, sociais, ambientais, financeiros, entre outros.

A organização da análise *Ex-Ante* é estruturada em seis etapas: diagnóstico do problema; caracterização da política (objetivos, ações, públicos-alvo, resultados esperados); desenho da política; estratégia de construção de confiabilidade e credibilidade; estratégia de implementação; estratégia de monitoramento, avaliação e controle; e análise de custo-benefício e impacto orçamentário e financeiro (Brasil, 2018).

O diagnóstico corresponde à primeira etapa da análise, iniciando com a identificação de um problema público que requeira uma intervenção estatal, diretamente relacionado à política em elaboração. Nesse contexto, é essencial delimitar objetivos claros para a ação governamental, além de elaborar um desenho que permita compreender adequadamente a realidade a ser abordada. As informações necessárias são obtidas a partir de bancos de dados públicos, de pesquisas específicas e do uso de metodologias dinâmicas e participativas. Além disso, faz-se uso de referências bibliográficas que apontam estudos relacionados a experiências empíricas sobre o

problema e políticas públicas similares, com o intuito de evitar sobreposições e promover a complementaridade entre as políticas públicas, garantindo, assim, sua efetividade.

A caracterização da política envolve a definição técnica e a elaboração dos objetivos, ações, públicos-alvo e resultados esperados, com base no diagnóstico anterior. Nesse sentido, a execução desta fase permite a construção de um escopo que se aproxima e se identifica mais com o problema definido, de forma que as ações projetadas se tornem mais eficazes na sua implementação.

O desenho da política pública refere-se às definições das estratégias e ações elaboradas com o objetivo de direcionar o seu processo de implantação e focalização. Essa etapa requer a compreensão dos atores e agentes públicos e privados envolvidos na concretização da política, além de considerar a sobreposição, a complementaridade e a articulação com outras ações públicas. Também é fundamental prever os impactos da implantação da política, considerando o tempo de duração e a seleção dos beneficiários.

A estratégia de construção de confiabilidade e credibilidade tem como objetivo avaliar a relevância da política pública para o público-alvo a quem a ação será destinada. Essa estratégia busca compreender o envolvimento e a participação dos beneficiários e lideranças no processo de elaboração da política, além de prever possíveis oposições, proposições e alternativas em relação à política proposta.

A análise de custo-benefício e o impacto orçamentário e financeiro estão diretamente relacionados à viabilidade e à efetividade da política pública. Ela envolve a avaliação dos custos de implementação da política, sua compatibilidade com a Lei Orçamentária Anual (LOA), a Lei de Diretrizes Orçamentárias (LDO), o Plano Plurianual (PPA) e o demonstrativo da origem dos recursos. Além disso, é fundamental considerar os potenciais riscos fiscais associados à proposta.

A análise *Ex-Ante* deve ser realizada no momento da elaboração, expansão ou aperfeiçoamento da política pública, especialmente em três situações específicas, conforme o guia de análise (Brasil, 2018):

1. Quando o impacto fiscal for superior a R\$ 150 milhões ao ano, ou representar um percentual superior a 5% ao ano do orçamento dos fundos, órgãos e entidades integrantes dos orçamentos fiscal e da seguridade social;
2. Quando houver proposta de aumento de gastos decorrentes de aumento do salário mínimo, reajuste de salários ou ajustes para correção da inflação, assim como quando houver remanejamento de recursos entre programas do

mesmo ministério, resultando em uma expansão do valor disponível para um deles e redução para o outro;

3. Quando a política já tenha passado por uma avaliação *Ex-Post* e os resultados dessa avaliação indicarem que o desempenho da política foi baixo ou insatisfatório, de forma a suscitar uma reformulação em um ou mais dos elementos de seu desenho.

Nesse contexto, é essencial que o processo de avaliação da política pública seja integrado desde o início da sua fase de elaboração. Tal precaução é crucial para garantir que o desenho e a estrutura da política possuam a capacidade de atender aos seus objetivos de forma eficiente e eficaz. Ademais, é necessário investigar as motivações subjacentes ao problema central, a fim de determinar se este realmente configura uma questão de interesse público ou se está relacionado a interesses privados. Essas iniciativas podem favorecer uma análise mais criteriosa ao longo do processo de construção da política pública, promovendo a otimização dos resultados e aumentando a racionalidade na alocação dos recursos públicos, com base em critérios claros e transparentes, permeados por análises técnicas sistematizadas.

Embora o papel da avaliação seja imprescindível em todas as etapas das políticas públicas, é fundamental que esse mecanismo seja analisado sob uma perspectiva crítica. Os instrumentos de controle e gestão passaram a integrar a agenda política brasileira de forma mais sistemática e estruturada, especialmente com a implementação do Decreto nº 9.203, de 22 de novembro de 2017 (Brasil, 2017). Esse decreto estabeleceu a política de governança para a administração pública federal direta, autárquica e fundacional, com o objetivo de viabilizar o Novo Regime Fiscal instituído pela Emenda Constitucional nº 95/2016 (Brasil, 2016).

Nesse contexto, a Emenda Constitucional nº 95/2016 estabeleceu um limite para os gastos públicos por um período de vinte anos, o que provocou a necessidade de um debate mais aprofundado sobre a priorização das políticas públicas e as decisões relativas à alocação do orçamento. À medida que visava a redução drástica dos gastos públicos e a diminuição significativa das políticas sociais, o texto também contribuiu para a reorganização dos aparatos administrativos e legais, consolidando e aprofundando, assim, um modelo de Estado com viés neoliberal.

O neoliberalismo defende a ideia clássica de reorganizar o Estado com o objetivo de minimizar os investimentos públicos em políticas sociais, promovendo a transferência

desses serviços e recursos financeiros para a iniciativa privada (Harvey, 2018). Nesse contexto, a economia seria autorregulada pelo mercado, o que resulta na crescente vulnerabilidade da classe trabalhadora, especialmente em períodos de crises econômicas. A relação entre o Estado e a política neoliberal é estreita, fundamentada em interesses particulares que asseguram a manutenção e a perpetuação do poder da classe dominante.

É importante destacar que as políticas públicas, dentro do contexto da sociedade capitalista, constituem-se sempre como um espaço marcado por contradições e disputas. Nesse cenário, a presença de diferentes projetos sociais reflete as características de uma sociedade dividida em classes, sob o regime de produção capitalista, no qual a desigualdade e a concentração de renda são elementos fundamentais para a reprodução ampliada do capital e para a implementação da política neoliberal.

No que diz respeito aos impactos diretos da Emenda Constitucional nº 95/2016 em áreas como a Educação Profissional, pode ser observada uma diminuição nos investimentos públicos, tanto no que consiste no fomento as instituições existentes quanto à expansão da rede de ensino profissional (Ramos, 2016). Em consonância com essa reflexão, Henning e Britte (2021) afirmam que a emenda contribuiu diretamente para reprodução do ensino profissional tradicional, impulsionado pela fragilização das instituições públicas (sucateamento da infraestrutura, diminuição dos códigos de vagas para novos servidores, redução no recurso da pesquisa e extensão, diminuição da formação continuada dos servidores e outros), assim como pela ascensão da iniciativa privada na oferta desta modalidade de ensino.

A redução das políticas sociais não implica, como poderia parecer à primeira vista, na constituição de um Estado mínimo ou fraco. Pelo contrário, trata-se da presença de um Estado ausente das necessidades e interesses da classe trabalhadora, mas ao mesmo tempo forte, presente e regulador no que se refere aos interesses do capitalismo global (Azevedo, 2004). Vale a pena ressaltar que as políticas públicas, na sociedade capitalista, sempre são um território de contradições e disputas. Assim, diferentes projetos societários são uma característica inerente de uma sociedade de classe sob o regime de produção capitalista, cuja desigualdade e a concentração da renda são fatores essenciais para a reprodução ampliada do capital e para a implantação da política neoliberal.

Nesse contexto, ao refletirmos sobre a origem e a referência histórica da análise *Ex-Ante*, conforme já mencionado, é possível identificar o Reino Unido, na Europa, e o Chile, na América Latina, como exemplos centrais. De acordo com Vitullo (2011), ambos

os países foram pioneiros na adoção de modelos econômicos neoliberais. Embora as realidades culturais e sociais desses países apresentem diferenças significativas, os impactos e consequências dos referidos modelos foram, em grande parte, semelhantes, considerando-se as respectivas proporções. Entre as principais consequências, destacam-se o empobrecimento da classe trabalhadora e o aumento do desemprego, entre outros efeitos negativos.

Em outra perspectiva, a agroecologia, temática central desta pesquisa, tem suas raízes a partir da década de 1930, formulada como uma resposta crítica aos impactos negativos dos projetos e movimentos imperialistas de desenvolvimento e globalização do campo, os quais se expandiram globalmente (Folhes; Fernandes, 2022). Tais movimentos tinham como objetivo impulsionar a ascensão e a propagação do capitalismo industrial, especialmente na Europa e nos Estados Unidos, fundamentando-se no paradigma da modernização agrícola. Porém, na década de 1980, a agroecologia se estabelece como uma ciência multidimensional, contrariando os modelos cartesianos e, desse modo, adotando uma abordagem integradora e holística, mais adequada como base teórica e prática para estratégias de desenvolvimento rural sustentável (Caporal *et al.*, 2006).

Diante desse cenário, movimentos sociais, juntamente com organizações não-governamentais e membros da comunidade científica, que se opunham à agricultura industrial, começaram a se mobilizar e a conquistar espaço no contexto nacional. Nesse processo, a agroecologia ganhou força de maneira articulada na sociedade, impulsionando avanços no campo das políticas públicas. Esse movimento culminou na promulgação do decreto nº 7.794, de 20 de agosto de 2012, que instituiu a Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (PNAPO) no Brasil (Brasil, 2012).

Nesse sentido, a criação da Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (PNAPO) constitui um marco significativo na elaboração de políticas públicas voltadas para a promoção da produção sustentável no Brasil. Este instrumento reconhece a agroecologia e a produção orgânica como abordagens tecnológicas estratégicas para garantir a soberania alimentar nacional, preservar os recursos naturais e contribuir para a erradicação da pobreza, especialmente a partir de uma perspectiva contra-hegemônica que desafia a lógica dominante de produção imposta pelo agronegócio.

ELABORAÇÃO DA POLÍTICA NACIONAL DE AGROECOLOGIA E PRODUÇÃO ORGÂNICA

A agricultura tem por principal objetivo assegurar a oferta de alimentos às comunidades em torno das áreas produtivas, mas a medida em que avançavam as técnicas de cultivo, aumentavam-se as áreas exploradas, ocasionando significativas mudanças nas organizações sociais. O que no princípio era uma exploração de subsistência passou a ter grande importância econômica ao longo dos tempos, intensificando os modos de cultivo, simplificando a natureza, reduzindo a biodiversidade e deixando os campos de cultivos mais homogêneos, com vistas a facilitar a tecnificação dos sistemas. “[...] À medida que o modelo industrial foi sendo introduzido nos países em desenvolvimento, a diversidade agrícola foi se erodindo, uma vez que as monoculturas passaram a predominar” (Altieri, 2012, p.23).¹

Acabar com a fome foi o argumento principal usado para legitimar a modernização da agricultura com base nos preceitos da Revolução Verde. O aumento de produtividade necessário para tal fim viria da adoção de sementes melhoradas cultivadas com o uso de fertilizantes sintéticos, irrigação, agrotóxicos e novas máquinas e equipamentos (Fernandes, 2019). Esses fatos ocasionaram diversos distúrbios de ordem ambiental, social, cultural, política e econômica, tendo em vista que

o aumento das pressões sobre os recursos naturais no planeta gerou uma crescente preocupação mundial relacionada ao esgotamento desses recursos e à sustentabilidade do crescimento econômico dos países, resultando na realização de uma série de encontros internacionais para debater sobre o tema (Sambuichi *et al.*, 2012, p.7).

No Brasil, o processo de luta por uma agricultura que fosse ambientalmente correta, socialmente justa e economicamente viável iniciou na década de 1970, enquanto movimento socialmente organizado, como aponta Brandenburg (2002), por meio de organizações sociais, como as Comunidades Eclesiais de Base (CEBs) e movimentos da agricultura alternativa que faziam frente de resistência ao modelo de modernização agrícola disseminado pela Revolução Verde, a qual poderia ser altamente produtiva, mas também potencialmente exclusiva, agravando o problema de concentração fundiária; aumentando o êxodo rural; gerando encharcamento social na zonas urbanas, com moradia e alimentação precárias; elevando os problemas sociais preexistentes a um novo

¹ A Revolução Verde marcou o desenvolvimento capitalista da agricultura, impulsionada por pacotes tecnológicos de melhoramento genético, mecanização e intensificação produtiva. Essa revolução, ao promover a simplificação da natureza, gerou graves impactos de ordem ambiental e social.

patamar; e fomentando as organização e pressões de grupo de resistência a tal modelo de agricultura.

Em contraposição à agricultura moderna, há a agricultura orgânica, existente desde o início da década de 1940, a qual busca mudança nos moldes de exploração do agroecossistema e que, ao longo dos anos, se manifestou em diferentes frentes, mas com o mesmo objetivo: trabalhar a produção agrícola pautada na ciclagem natural dos insumos, os bioinsumos. Entre essas mudanças, está a busca por uma relação mais harmônica entre a produção de alimentos e a conservação ambiental por meio de formas alternativas de agricultura, como a agricultura orgânica, a agricultura natural, a agricultura biodinâmica, entre outras. Essas correntes de agricultura alternativa, chamadas também de agricultura de base ecológica, permitiram expandir o debate sobre a Agroecologia, de modo que, hoje, ela não é entendida somente como mais uma corrente da agricultura alternativa (Candiotto; Meira, 2014).

A agroecologia ergue-se enquanto movimento ideológico mas, a partir de 1980, é endossada com bases conceituais e pesquisas acadêmicas, estabilizando-se quanto à ciência que nos anos 2000 é acrescida de novas dimensões. O que antes era pautado apenas nos princípios da ecologia e em técnica agronômica sofreu influência da sociologia, agregando uma visão além do produtivo e ambiental, mas também socioeconômico, cultural e sociopolítico.

A força destes movimentos é expressada na criação de diversas leis, dentre elas a Lei nº 10.831/2003, lei da Agricultura orgânica, Lei nº 11.326/2006, que regulamenta a criação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais, Lei nº 7.794/2012, que institui a Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica, além de apontar a adequação em várias outras leis, como a Lei nº 13.014/2014, a qual determina que os benefícios monetários nelas previstos sejam pagos preferencialmente à mulher responsável pela unidade familiar.

Ao analisá-las, é possível identificar os princípios da agroecologia presente, com fundamentos na biodiversidade, no uso racional dos recursos ambientais, na justiça social, na equidade de gênero, na busca pela soberania alimentar e na valorização dos conhecimentos tradicionais. Pois como apontam Candiotto e Meira (2014), a agroecologia procura trabalhar com estratégias apoiadas em metodologias participativas, sob um enfoque interdisciplinar e de comunicação horizontal, a fim de enfrentar os problemas agrícolas e agrários contemporâneos.

No esteio da concepção de Agroecologia, a PNAPO, que tem por objetivo integrar, articular e adequar políticas programa e ações indutoras da transição agroecológica e produção orgânica, é um importante instrumento na disseminação de técnicas e incentivos de manejos de sistemas resilientes e justos socialmente, pois preconiza instrumentalizar o agricultor de modo a integralizá-lo no sistema produtivo, buscando respeitar sua realidade sociocultural. Para esse fim, a PNAPO está organizada de modo inclusivo, pois se estrutura na participação da sociedade civil por meio de conselhos com função de monitorar as ações dessa política, assegurada na Lei com a Comissão Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica - CNAPO, a qual tem, dentre suas funções, promover a participação social na elaboração e acompanhamentos de ações da PNAPO e do Plano Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica - PLANAPO, principal instrumento da PNAPO. A gestão dessas políticas está sob responsabilidade de setores interministerial do governo, por meio da Câmara Interministerial de Agroecologia e Produção Orgânica - CIAPO.

Logo, a estruturação da PNAPO, por si só, já é um dos principais avanços na busca por um novo modelo de desenvolvimento rural, tendo em vista estar pautada em um modelo transversal, ou seja, contém a influência e participação dos principais beneficiários dessa política: a sociedade civil. A construção participativa, feita em diálogo com a sociedade civil durante o processo de construção da política, foi o ponto mais destacado como positivo. O fato de o governo ter promovido o diálogo com a sociedade civil em busca de consensos foi um grande acerto e um aspecto fundamental no processo, contribuindo para que outros atributos importantes da política pudessem ser construídos, como o foco no desenvolvimento rural e na agricultura familiar (Sambuchi et al., 2017).

A PNAPO buscou adotar uma perspectiva intersetorial, articulando diferentes ministérios e mobilizando, além disso, um conjunto diferenciado de organizações sociais e instituições. No entanto, muitos instrumentos de política pública não foram pensados, originalmente, como ferramentas de promoção da agroecologia. O ajuste destes dispositivos com base em um novo enfoque demanda, necessariamente, uma série de modificações tanto do ponto de vista normativo como no que se refere às suas formas de implementação (Niederle et al. 2019).

Mesmo que a construção da PNAPO tenha tido uma ampla participação social, ainda há pontos a serem melhorados, o que dependerá muito do reconhecimento da

sociedade. O autor supracitado aponta uma contradição existente na PNAPO e no nivelamento entre agroecologia e agricultura orgânica, a tal ponto que Candiotti e Meira (2014, p.172) alertam:

[...] nem todas as experiências de agricultura orgânica objetivam o fortalecimento da agricultura familiar, sobretudo no plano da autonomia política desses agricultores. Há um processo de disputas ideológicas dentro da agricultura orgânica, polarizado, por um lado, por aqueles que a associam com a agricultura familiar e com um novo paradigma em direção à sustentabilidade em suas variadas dimensões, ou seja, os defensores da Agroecologia; e, por outro, por aqueles que, apesar de praticarem uma agricultura mais coesa do ponto de vista ambiental, continuam priorizando seus lucros e a lógica capitalista no contexto da agricultura, inserindo-se na agricultura orgânica com o objetivo de obter benefícios com esse nicho de mercado.

Assim, por meio de uma análise depurada, é possível perceber que os instrumentos da PNAPO como as políticas de crédito, os seguros agrícolas, a assistência técnica e demais, estão amplamente pautados na Lei da Agricultura Orgânica, Lei nº 10.831/2003, o que, como apontado anteriormente, tem forte presença da lógica do capital, fazendo uso do termo “sustentabilidade” como *marketing* comercial, deixando de lado a promoção da agricultura familiar pautada na autonomia econômica e sociocultural, por meio do fortalecimento dos agroecossistemas. Enfim, a agroecologia abrange uma diversidade ampla de temas relacionados ao desenvolvimento rural, que vão desde o acesso a recursos naturais, como água, terra e biodiversidade, passando pela valorização dos conhecimentos das comunidades, até questões de gênero e gerações (Sambuchi *et al.*, 2017).

OS INSTRUMENTOS DA ANÁLISE EX-ANTE APLICADO NA ELABORAÇÃO DA POLÍTICA NACIONAL DE AGROECOLOGIA E PRODUÇÃO ORGÂNICA

A avaliação de políticas públicas tem se consolidado como uma estratégia essencial no contexto da sua execução e gestão, desempenhando um papel fundamental na otimização da efetividade e eficiência das intervenções governamentais. No contexto deste estudo, a análise *Ex-Ante* se configura como um instrumento crucial de planejamento e avaliação, com a capacidade de antecipar os impactos potenciais de uma política pública antes de sua implementação.

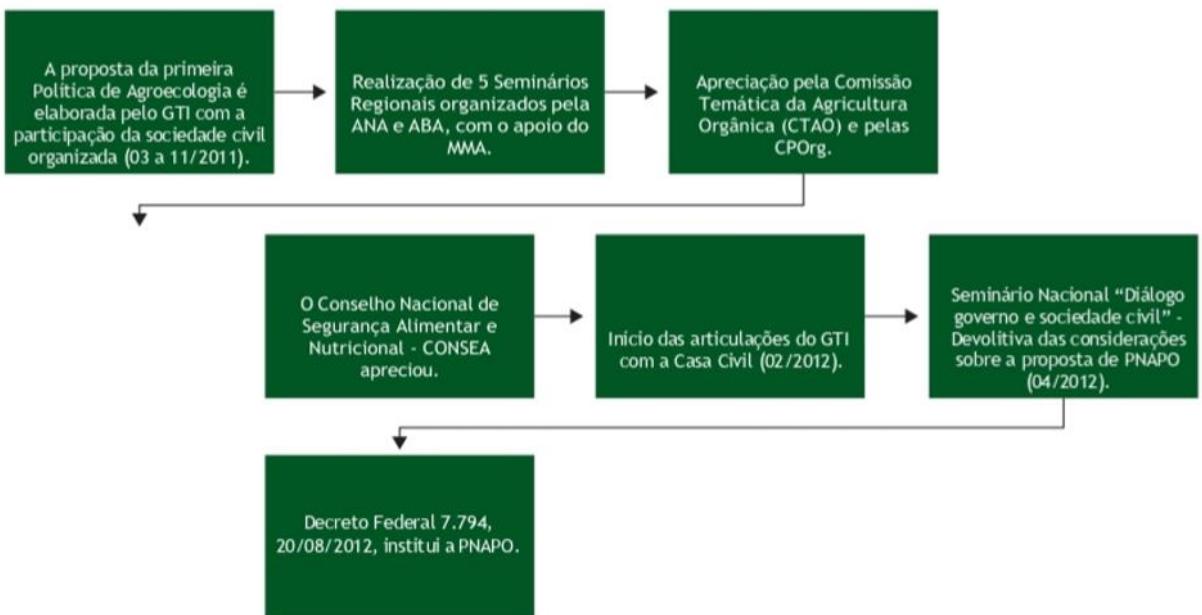
Essa abordagem permite a identificação e compreensão dos possíveis resultados, facilitando a organização e o direcionamento das ações, da estrutura e do desenho da política, em consonância com as necessidades e desafios reais da sociedade. Assim, a análise *Ex-Ante* contribui de maneira significativa para a maximização da eficiência e efetividade na formulação de políticas públicas.

A PNAPO, estabelecida pelo Decreto nº 7.794/2012, demanda uma compreensão aprofundada dos elementos centrais que fundamentam sua materialidade (Brasil, 2012). Nesse contexto, o PNAPO emerge como uma resposta à crescente preocupação da sociedade civil, particularmente dos movimentos sociais dos campos, das águas e das florestas. Tal conjuntura evidencia a formação de uma base sólida e um interesse coletivo explícito, o que garante um respaldo social significativo, conferindo legitimidade à referida política (Trovatto *et al.* 2017).

Sob uma outra perspectiva, a PNAPO aborda uma matéria relevante e uma atuação intersetorial. Nesse sentido, está intrinsecamente relacionada à alimentação saudável, à saúde pública, à preservação dos bens naturais e à justiça social, fatores que tornam sua importância amplamente reconhecida. Contudo, setores conservadores, representados pela elite agrária brasileira e por seu aparato político e econômico, opõem-se a essa concepção de desenvolvimento, defendendo uma lógica de produção predatória e de subordinação do campo aos interesses da indústria, pautada no modelo do agronegócio.

A PNAPO foi concebida antes da formalização e aplicação da análise *Ex-Ante* como parte da agenda de avaliação e gestão das políticas públicas brasileiras. Contudo, é possível identificar aspectos e instrumentos empregados na elaboração da PNAPO que apresentam semelhanças com esse tipo de análise. Dessa forma, acredita-se que a sua utilização contribuiu para assegurar que os objetivos da política estivessem alinhados às demandas sociais, econômicas e ambientais dos agricultores e de suas organizações de representação agroecológica no Brasil. De acordo com a Figura 01, percebe-se que a elaboração da política foi organizada em sete etapas:

Figura 1 – Processo sintético de elaboração da PNAPO



Fonte: Souza (2015).

A Figura 1 apresenta as etapas relacionadas à materialização da PNAPO. Nesse contexto, é possível identificar momentos de diálogo e o envolvimento de diversos atores sociais. Segundo Wu *et al.* (2014), os espaços democráticos e participativos são essenciais para o alcance dos objetivos de uma política, ou seja, são elementos fundamentais para a promoção da efetividade e da eficiência na sua implementação. De acordo com Trovatto *et al.* (2017, p. 94):

[...] O ministério do Meio Ambiente convidou os ministérios do Desenvolvimento Agrário, do Desenvolvimento Social e Combate à Fome (MDS) e da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) e a Embrapa para iniciar a composição de um grupo permanente de estudos e pesquisas. Ao longo de 2011, outros órgãos foram incorporados ao grupo; a sociedade civil, liderada pela ANA, foi convidada diversas vezes para fazer parte da discussão de elaboração da proposta de política [...] A partir de outubro de 2011, a proposta passou pela discussão ampla da sociedade civil em cinco seminários, que ocorreram nas cinco regiões do país, e num seminário nacional. Os participantes desses eventos puderam contribuir com a revisão da proposta de política encaminhada à Casa Civil da Presidência da República.

Nesse contexto, a forma como a PNAPO foi elaborada e estruturada reflete a natureza coletiva e transformadora do movimento agroecológico. Ou seja, trata-se de uma política pública que emerge dos anseios da sociedade civil organizada e exerce influência

sobre o Estado por meio dos espaços de participação democrática, além de possuir legitimidade econômica, social e ambiental (Zanon, 2021).

Assim, foi instituído um modelo de gestão intersetorial e intergovernamental, com a participação ativa da sociedade civil. A estrutura de gestão é composta pela Câmara Interministerial de Agroecologia e Produção Orgânica (CIAPO), responsável pela coordenação das ações intragovernamentais, e pela Comissão Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (CNAPO), que assegura a participação paritária entre o governo e a sociedade civil (Brasil, 2012). Ademais, a PNAPO caracteriza um dos aspectos da análise *Ex-Ante*, ao apresentar a estratégia de implementação e focalização da política pública, destacando os agentes públicos e privados envolvidos, que desempenharão um papel ativo na execução da proposta.

De acordo com Sambuichi *et al.* (2017), a concepção da PNAPO foi favorecida por um ambiente político sensível às demandas por sustentabilidade e inclusão social no meio rural. Nesse contexto, a agroecologia já se consolidava como um campo científico multidisciplinar, integrando conhecimentos das ciências naturais, sociais e econômicas, com o objetivo de propor alternativas sustentáveis à agricultura convencional (Embrapa, 2006).

Para tanto, a incorporação dessa perspectiva científica na elaboração da PNAPO foi importante para a formulação de diretrizes e ações baseadas em fundamentos sólidos, com o intuito de promover uma transição agroecológica que levasse em consideração a complexidade dos sistemas produtivos e a diversidade dos territórios rurais brasileiros. Esse processo permitiu a avaliação antecipada dos possíveis impactos e desafios da política, favorecendo o ajuste de suas diretrizes e a previsão de condições de implementação mais adequadas às realidades locais. Dessa forma, observa-se a aplicação de elementos da análise *Ex-Ante*, especialmente no que tange à antecipação dos impactos esperados pela sociedade.

Em outra perspectiva, Lassance (2022) afirmam que, na análise *Ex-Ante*, é importante observar os seguintes pontos na elaboração de uma política pública: diagnosticar o problema ou a necessidade que a proposta visa solucionar, identificar suas causas e apresentar evidências de sua existência na realidade brasileira. Nesse sentido, na elaboração da PNAPO, procedeu-se uma fase de diagnóstico situacional a partir da criação de grupos de estudos, organização intersetoriais, criação de comissão com representação

do público-alvo, participação da sociedade civil em seminários regionais e nacional para criação da proposta da política (Sambuchi *et al.*, 2017).

A elaboração da PNAPO representou um ponto de inflexão na abordagem governamental sobre sustentabilidade nos sistemas agroalimentares. Desde sua formulação, a PNAPO tem promovido o debate entre sociedade civil e governo, além de influenciar diretamente a formulação e execução de diversas políticas públicas. A articulação entre os órgãos gestores durante a elaboração da PNAPO resultou em um ambiente institucional sinérgico, no qual as ações das entidades organizadas em comissões repercutiam sobre as demais, fortalecendo o tema nos diversos setores do governo (Trovatto *et al.*, 2017).

Este processo proporcionou a integração de ações com base na agroecologia antes inexistentes na agenda pública brasileira, especialmente aquelas previstas no Plano Plurianual (PPA), que passaram a se articular de maneira mais estruturada com a sanção da PNAPO. Essa integração evidencia uma etapa de análise *Ex-Ante* na política pública, ao conectar planejamento e avaliação preliminar das ações previstas.

No contexto do planejamento estratégico governamental, a inserção da agroecologia como tema estruturante no PPA 2012–2015 reforça sua transversalidade e sua inter-relação com outras políticas públicas. Em 2011, ainda durante a elaboração da PNAPO, diversas ações foram incorporadas ao Programa da Agricultura Familiar dentro do PPA, principal instrumento de planejamento de médio prazo do governo federal. A análise de conteúdo feita por Souza (2015) mostra que o termo “agroecologia” apareceu nos tomos referentes aos programas sociais e aos programas de desenvolvimento produtivo e ambiental, evidenciando a presença desse enfoque em múltiplas frentes da política pública. Esse vínculo entre planejamento e formulação é exemplo claro da análise *Ex-Ante*, na medida em que antecipa impactos e organiza esforços intersetoriais para fortalecer a agroecologia como eixo estruturante do desenvolvimento rural.

Além da PNAPO, o governo federal desenvolveu outras iniciativas que se alinham à promoção da agroecologia e da produção orgânica, consolidando um ecossistema de políticas públicas articuladas. Entre essas ações, destacam-se programas voltados à agrobiodiversidade, combate à desertificação, organização produtiva de mulheres rurais, pesquisa agroecológica (sob responsabilidade da Embrapa e instituições de ensino superior) e programas de compras institucionais, como o Programa de Aquisição de Alimentos (PAA) e o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE). Outros

instrumentos, como a Política Geral de Preços Mínimos, o Programa Cisternas e os programas de educação ambiental com enfoque em agricultura familiar também contribuíram para criar um ambiente favorável ao avanço da agroecologia (Canavesi; Moura; Souza, 2016). A articulação dessas ações, muitas das quais precedem a institucionalização da PNAPO, demonstra como a política pública se beneficia de avaliações e análises preliminares ao ser concebida, reforçando a relevância do enfoque *Ex-Ante* na governança agrícola.

A elaboração da PNAPO incorporou dispositivos importantes de monitoramento, avaliação e controle, elementos que podem ser encontrados na abordagem *Ex-Ante*. Nesse sentido, a lógica integradora da agroecologia esteve presente na formulação das ações da PNAPO e na articulação intersetorial por meio da Câmara Interministerial, criada para coordenar e monitorar políticas públicas federais associadas a temas específicos (Nascimento, 2010). O envolvimento do governo e da sociedade civil nos conselhos e instâncias de gestão ampliou a governança da política.

A avaliação da Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (PLANAPO) foi prevista de ser estruturada em relatórios semestrais e anuais de execução física e financeira, coordenados pelo Comitê Técnico de Monitoramento (CT de Monitoramento) no âmbito da CIAPO (Souza, 2015). Esse processo de acompanhamento tornou-se uma ferramenta para aferir resultados e propor ajustes contínuos, ainda que com limitações operacionais.

Essas iniciativas reforçam o papel da análise *Ex-Ante* ao antecipar riscos, articular recursos e prever mecanismos de controle. No entanto, a continuidade e efetividade dessas ações dependem de articulação permanente entre os membros da CIAPO e da CNAPO, além do envolvimento ativo da sociedade civil nas discussões orçamentárias anuais (Souza, 2015). Embora o processo de monitoramento possa sofrer limitações e modificações, sua inserção na política nacional é um passo no sentido de desenvolver uma cultura de planejamento estratégico e controle social mais robusta, contribuindo para a consolidação de uma política agroecológica baseada em evidências.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo investigou a presença de instrumentos e aspectos da análise *Ex-Ante* durante a elaboração da PNAPO no Brasil, com o intuito de refletir sobre como essas

abordagens podem ter influenciado a formulação da política. A PNAPO, estabelecida pelo Decreto nº 7.794/2012, é materializada em um contexto de crescente demanda por uma agricultura mais sustentável, socialmente inclusiva e ambientalmente responsável.

A pesquisa evidenciou que, embora a PNAPO tenha sido elaborada antes da formalização da análise *Ex-Ante* no Brasil, é possível identificar elementos dessa abordagem no processo de sua construção, especialmente no que diz respeito ao diagnóstico situacional, à participação democrática e à integração intersetorial. Assim, a utilização dessas práticas preliminares com vias ao planejamento participativo ajudou a configurar uma política pública mais sólida e alinhada aos desafios e oportunidades presentes no contexto agroecológico do Brasil.

Ao longo do estudo, observou-se que a análise *Ex-Ante*, enquanto ferramenta de avaliação preventiva, tem um papel fundamental no planejamento de políticas públicas, pois permite antecipar possíveis impactos e ajustar as estratégias para melhor atender às necessidades dos públicos-alvo. No caso da PNAPO, a forma como a política foi elaborada, com forte envolvimento de diversos atores sociais e setores do governo, reflete a aplicação dos princípios da análise *Ex-Ante*. O processo de consulta pública e os seminários regionais realizados em 2011 contribuíram para uma formulação mais alinhada às demandas sociais e ambientais, características essenciais dessa abordagem.

Ademais, este estudo contribui ao oferecer uma visão mais ampla sobre o uso de instrumentos de avaliação e gestão no contexto das políticas públicas brasileiras, fornecendo uma análise crítica sobre como diferentes abordagens metodológicas podem influenciar na eficácia dessas políticas. A pesquisa, portanto, não só amplia o entendimento sobre a importância da análise *Ex-Ante*, como também aponta para a necessidade de integração dessas metodologias nas fases iniciais da formulação de políticas públicas, para garantir uma gestão mais eficiente e transparente.

Por fim, é importante destacar que a pesquisa apresenta contribuições significativas para o campo da avaliação de políticas públicas, oferecendo subsídios para pesquisadores, estudantes e gestores interessados em aprimorar as práticas de avaliação e gestão de políticas no Brasil, especialmente em áreas como a agroecologia e a produção orgânica. Este estudo reafirma a importância da avaliação contínua e integrada ao longo de todas as etapas da implementação das políticas públicas, para assegurar que elas alcancem seus objetivos sociais e econômicos de forma eficaz e sustentável.

REFERÊNCIAS

ALTIERI, Miguel. **Agroecologia**: bases científicas para uma agricultura sustentável. 23. ed. São Paulo/Rio de Janeiro: Expressão Popular/AS-PTA, 2012.

AZEVEDO, Janete Lins de. **A educação como política pública**. São Paulo: autores associados, 2004.

BELLONI, Isaura; MAGALHÃES, Heitor de; SOUSA, Luzia Costa de. **Metodologia de Avaliação em Políticas Públicas**: uma experiência em educação profissional. 4.ed. São Paulo, Cortez, 2007.

BOGDAN, Robert; BIKLEN, Sari. **Investigação qualitativa em educação**: uma introdução à teoria e aos métodos. Portugal: Porto Editora, 1994.

BOULOSSA, Rosana de Freitas. Por um olhar epistemológico para a avaliação de políticas públicas: história, teoria e métodos. **Aval**, vol. 4, n. 18, p. 9-37, jul./dez. 2020.

BRANDENBURG, Alfio. Movimento agroecológico: trajetória, contradições e perspectivas. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, [S. l.], v. 6, 2002. DOI: 10.5380/dma.v6i0.22125. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/22125>. Acesso em: 5 jun. 2025.

BRASIL. **Avaliação de políticas públicas**: guia prático de análise *Ex-ante*, volume 1 / Casa Civil da Presidência da República, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. – Brasília: Ipea, 2018. v. 1 (192 p.).

BRASIL. **Decreto nº 7.794, de 20 de agosto de 2012**. Institui a Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF. 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2012/decreto/d7794.htm#:~:text=DECRETO%20N%C2%BA%207.794%2C%20DE%2020,vista%20o%20disposto%20no%20art. Acesso em: 5 jun. 2025.

BRASIL. **Decreto nº 9.203, de 22 de novembro de 2017**. Dispõe sobre a política de governança da administração pública federal direta, autárquica e fundacional. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 3, 22 nov. 2017. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2015-2018/2017/decreto/D9203.htm. Acesso em: 5 mai. 2025.

BRASIL. **Emenda Constitucional nº 95/2016 15 de dezembro de 2016**. Presidência da República. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/emendas/emc/emc95.htm. Acesso em 22 de março de 2025.

CANAVESI, F. C.; MOURA, I. F.; SOUZA, C. Agroecologia nas políticas públicas e promoção da segurança alimentar e nutricional. **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, v. 23, p. 1019-1030, dez. 2016. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/san/article/view/8635617>. Acesso em: 5 jun. 2025.

CANDIOTTO, Luciano Zanetti Pessôa; MEIRA, Suzana Gotardo de. Agricultura orgânica: uma proposta de diferenciação entre estabelecimentos rurais. **Revista Campo-Território**, Uberlândia, v. 9, n. 19 Out., p. 149–176, 2014. DOI: [10.14393/RCT91926083](https://doi.org/10.14393/RCT91926083). Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/campoterritorio/article/view/26083>. Acesso em: 5 jun. 2025.

CAPORAL, Francisco Roberto; COSTABEBER, José Antônio; PAULUS, Gervásio. **Agroecologia - Matriz disciplinar ou novo paradigma para o desenvolvimento sustentável**. Brasília, MDA, abr. 2006.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Marco referencial em agroecologia**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006.

FARIA, Carlos Aurélio Pimenta de. A política de Avaliação de Políticas Públicas. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, v. 2-, n.59 outubro/2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcsoc/a/dHQ6MVmWkGqbKQ6DrSP9shg/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 5 jun. 2025.

FERNANDES, Gabriel Bianconi. **Novas biotecnologias, velhos agrotóxicos**: um modelo insustentável que avança e pede alternativas urgentes. Rio de Janeiro: Fundação Heinrich Böll Brasil, 2019.

FOLHES, Ricardo Theophilo; FERNANDES, Danilo Araujo. A dominância do paradigma tecnológico mecânico-químico-genético nas políticas de desenvolvimento da bioeconomia na Amazônia. **Papers do NAEA**, Belém, v. 31, p. 540, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/pnaea/article/view/12993>. Acesso em: 5 mai. 2025.

GATTI, Bernardete A. **A construção da pesquisa em educação no Brasil**. Brasília, DF: Plano, 2002.

HARVEY, David. **O neoliberalismo**: histórias e implicações. São Paulo: Edições Loyola, 2008.

HENNING, Adriana Clarice; BRITTES, Letícia Ramalho. EMENDA CONSTITUCIONAL Nº 95/2016: AMEAÇAS E DESAFIOS AOS INSTITUTOS FEDERAIS. **Revista Contexto & Educação**, [S. I.], v. 36, n. 113, p. 373–391, 2021. DOI: 10.21527/2179-1309.2021.113.373-391. Disponível em: <https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/contextoeducacao/article/view/10271>. Acesso em: 5 jun. 2025.

LASSANCE, Antônio. **Análise ex ante de políticas públicas**: fundamentos teórico-conceituais e orientações metodológicas para a sua aplicação prática. Rio de Janeiro: Ipea, 2022.

LEITE, Sergio Pereira; MEDEIROS, Leonilde Servolo. **Agronegócio**. Verbete do Dicionário da Educação do Campo. EPSJV/Expressão Popular, 2012, p. 81-87.

LÜDKE, Menga; ANDRÉ, Marli Eliza Dalmazo Afonso de. **Pesquisa em Educação:** abordagens qualitativas. São Paulo: EPU, 1986.

NASCIMENTO, S. **Reflexões sobre a intersetorialidade entre as políticas públicas.** Serviço Social e Sociedade, São Paulo, n. 101, p. 95-120, jan./mar. 2010.

NIEDERLE, Paulo André; SABOURIN, Eric; SCHMITT, Cláudia Job; ÁVILA, Mário Lúcio; PETERSEN, Paulo; ASSIS, William Santos de. A trajetória brasileira de construção de políticas públicas para a agroecologia. **Redes** (Santa Cruz do Sul. Online), v. 24, n. 1, janeiro-abril, 2019. ISSN 1982-6745. Disponível em:

<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/218359>. Acesso em: 5 jun. 2025.

RAMOS, Marise Nogueira. A educação da classe trabalhadora e o PNE (2014-2024). **HOLOS**, [S. l.], v. 6, p. 3-21, 2016. DOI: 10.15628/holos.2016.4982. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/4982>. Acesso em: 20 de mar. 2025.

SAMBUICHI, Regina Helena Rosa. Análise da construção da Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica no Brasil In: SAMBUICHI, Regina Helena Rosa; MOURA, Iracema Ferreira de; MATTOS, Luciano Mansor de; ÁVILA, Mário Lúcio de; SPÍNOLA, Paulo Asafe Campos; SILVA, Ana Paula Moreira da (Orgs.). **A política nacional de agroecologia e produção orgânica no Brasil: uma trajetória de luta pelo desenvolvimento rural sustentável.** Brasília: Ipea, 2017.

SAMBUICHI, Regina Helena Rosa; OLIVEIRA, Michel Ângelo Constantino de; SILVA, Ana Paula Moreira da; LUEDEMANN, Gustavo. A sustentabilidade ambiental da agropecuária brasileira: impactos, políticas públicas e desafios. **Repositório do conhecimento do IPEA**, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/1050>. Acesso em: 05 jun. 2025.

SAMBUICHI, Regina Helena Rosa et al. A sustentabilidade ambiental da agropecuária brasileira: impactos, políticas públicas e desafios. **Texto para Discussão**: Instituto de Pesquisa Econômica aplicada- Brasília: Rio de Janeiro 2012.

SOUZA, C. **Documento contendo proposta com caracterização, metodologia de funcionamento da Câmara Interministerial de Agroecologia e Produção Orgânica e uma agenda de trabalho para o ano de 2014.** Produto 1, Projeto Pnud/SAF BRA 11/009 (Contrato n° 2014/266. PO 30661. Linha 71305). Brasília: MDA, 2015.

TROVATTO, Cássio Murilo Moreira; BIANCHINI, Valter; SOUZA, Cláudia de; MEDAETS, Jean Pierre; RUANO, Onaur. Construção da Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica: Um olhar sobre a Gestão do Primeiro Plano Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica. In: SAMBUICHI, Regina Helena Rosa; MOURA, Iracema Ferreira de; MATTOS, Luciano Mansor de; ÁVILA, Mário Lúcio de; SPÍNOLA, Paulo Asafe Campos; SILVA, Ana Paula Moreira da (Orgs.). **A política nacional de agroecologia e produção orgânica no Brasil: uma trajetória de luta pelo desenvolvimento rural sustentável.** Brasília: Ipea, 2017.

VITULLO, Gabriel Eduardo. Ascensão, auge e decadência do neoliberalismo na América Latina. **Cadernos PET**: artigos acadêmicos, v. 5, p. 31-48, 2011.

WU, Xun *et al.* **Guia de Políticas Públicas**: gerenciando processos. Brasília; ENAP, 2014.

ZANON, Raquel Silvestrin. Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica: Breve Análise da Implementação no Estado do Rio Grande do Sul. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 54, p. 143-183, set. 2021.



Capítulo 8

DIAGNOSE VISUAL E REDUÇÃO DE BIOMASSA EM OCIMUM BASILICUM L. SOB OMISSÃO DE MACRONUTRIENTES E MICRONUTRIENTES

Regiana dos Santos Moura

Jordânia Medeiros Soares

Rezanio Martins Carvalho

Eudinete Ribeiro de Sousa

João Carlos Rocha dos Anjos

José Gil dos Anjos Neto

Risoneide de Cássia Zeferino Silva

Luana Maria Alves da Silva

Djavan Pinheiro Santos

**DIAGNOSE VISUAL E REDUÇÃO DE BIOMASSA EM *OCIMUM BASILICUM*
L. SOB OMISSÃO DE MACRONUTRIENTES E MICRONUTRIENTES**

Regiana dos Santos Moura

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2847-2654>

Jordânia Medeiros Soares

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8900-5702>

Rezanio Martins Carvalho

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2749-2685>

Eudinete Ribeiro de Sousa

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8508-3201>

João Carlos Rocha dos Anjos

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2231-0953>

José Gil dos Anjos Neto

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8440-5280>

Risoneide de Cássia Zeferino Silva

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5001-2016>

Luana Maria Alves da Silva

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4382-3747>

Djavan Pinheiro Santos

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1811-5362>

RESUMO

O manjericão (*Ocimum basilicum* L.), reconhecido como uma das mais relevantes espécies medicinais e aromáticas, destaca-se por sua ampla variabilidade morfológica e de quimiotipos, além de possuir elevado valor comercial em razão do óleo essencial rico em compostos voláteis. Este capítulo tem como objetivo apresentar os principais sintomas visuais decorrentes da deficiência de nutrientes em plantas de manjericão cultivadas em solução nutritiva. Para isso, foi conduzido um experimento em delineamento de blocos casualizados, com três repetições e quatorze tratamentos, incluindo a omissão individual dos seguintes nutrientes: nitrogênio (-N), fósforo (-P), potássio (-K), cálcio (-Ca), magnésio (-Mg), enxofre (-S), boro (-B), cobre (-Cu), ferro (-Fe), manganês (-Mn), molibdênio (-Mo) e zinco (-Zn), além de um tratamento sem oxigenação (-O₂) e uma testemunha com solução completa. A evolução sintomática foi acompanhada até a completa expressão visual da deficiência, seguida pela colheita e separação das plantas em raiz e parte aérea para avaliação morfofisiológica. As variáveis analisadas incluíram diâmetro do caule, altura da planta, comprimento da raiz, além da biomassa fresca e seca das diferentes partes da planta. A ordem de manifestação visual dos sintomas de deficiência foi: nitrogênio > cálcio > potássio > magnésio > ferro > manganês > boro > cobre > oxigênio > fósforo > molibdênio > enxofre > zinco. Os maiores impactos na produção de biomassa foram associados à deficiência dos macronutrientes N, Mg, Ca e K, evidenciando a sensibilidade do manjericão à limitação desses elementos. Já os micronutrientes Zn, Cu e Mo não apresentaram sintomas visuais nem interferência significativa nas variáveis de crescimento, possivelmente por terem sido parcialmente supridos no estágio inicial do cultivo (berçário). Os resultados contribuem para a compreensão do diagnóstico visual de deficiências nutricionais em *O. basilicum* L. e reforçam a importância do manejo adequado da nutrição mineral para o sucesso do cultivo.

Palavras-chave: manjericão, nutrientes essenciais, solução nutritiva.

ABSTRACT

Basil (*Ocimum basilicum* L.), recognized as one of the most important medicinal and aromatic plants, is characterized by its broad morphological variability and diverse chemotypes, and holds high commercial value due to its essential oil, rich in volatile compounds. This chapter aims to present the main visual symptoms associated with nutrient deficiencies in basil plants grown in a nutrient solution. The experiment was conducted using a randomized block design with three replications and fourteen treatments, which included the individual omission of the following nutrients: nitrogen (-N), phosphorus (-P), potassium (-K), calcium (-Ca), magnesium (-Mg), sulfur (-S), boron (-B), copper (-Cu), iron (-Fe), manganese (-Mn), molybdenum (-Mo), and zinc (-Zn), as well as a treatment without oxygenation (-O₂) and a complete nutrient solution as control. The development of deficiency symptoms was monitored until full visual expression, followed by plant harvest and separation into root and shoot systems for morphophysiological

assessment. The measured variables included stem diameter, plant height, root length, and fresh and dry biomass of both aerial and root parts. The visual manifestation of nutrient deficiency symptoms appeared in the following order: nitrogen > calcium > potassium > magnesium > iron > manganese > boron > copper > oxygen > phosphorus > molybdenum > sulfur > zinc. The most significant reductions in biomass production were associated with deficiencies of the macronutrients N, Mg, Ca, and K, highlighting basil's sensitivity to the limitation of these elements. In contrast, the micronutrients Zn, Cu, and Mo did not exhibit noticeable visual symptoms or significant impact on biomass variables, likely due to partial nutrient uptake during the seedling phase. These findings contribute to the understanding of visual diagnosis of nutrient deficiencies in *O. basilicum* L. and underscore the importance of appropriate mineral nutrition management for successful crop development.

Keywords: basil, essential nutrients, nutrient solution.

INTRODUÇÃO

O manjericão (*Ocimum basilicum* L.) é uma planta pertencente à família Lamiaceae, amplamente reconhecida por seu uso medicinal e condimentar. Originária da Índia e de outras regiões da Ásia, destaca-se como uma importante fonte de óleos essenciais e de compostos químicos de aroma natural amplamente comercializados no mercado global (SUJATHA et al., 2011). Entre seus principais usos medicinais, destacam-se suas propriedades antiespasmódicas para gases estomacais, estimulantes do apetite, diuréticas e anti-inflamatórias (DANESHNIAA, 2015).

Considerado uma das mais relevantes plantas medicinais, o manjericão apresenta ampla variabilidade morfológica e diversidade de quimiotipos. Seu óleo essencial possui elevado valor econômico, atribuído à presença de uma complexa mistura de substâncias voláteis, incluindo monoterpenos, sesquiterpenos e seus análogos oxigenados (LUCCHESI et al., 2004).

Comercialmente, o manjericão é geralmente vendido na forma seca, o que permite seu armazenamento por longos períodos. No entanto, a demanda por manjericão fresco tem crescido significativamente devido ao seu sabor mais marcante e à melhor qualidade visual. Apesar disso, sua vida útil pós-colheita é extremamente curta, em virtude de sua elevada sensibilidade à refrigeração, o que o torna um produto altamente perecível (AHARONI et al., 2010; BEKHRADI et al., 2015).

Os nutrientes essenciais são elementos indispensáveis ao metabolismo vegetal, desempenhando funções específicas nas reações bioquímicas das plantas. Quando esses nutrientes não estão disponíveis em quantidades adequadas, ocorre deficiência celular, promovendo alterações metabólicas. De maneira geral, os sintomas de deficiência de cada nutriente são relativamente característicos. Desordens nutricionais, sejam por deficiência, excesso ou desequilíbrio, afetam diretamente a produtividade das culturas, frequentemente se manifestando por sintomas visuais, especialmente nas folhas. Contudo, é importante salientar que os prejuízos à produção podem ocorrer mesmo antes da manifestação visível desses sintomas (MALAVOLTA et al., 1997; COELHO et al., 1996; EPSTEIN, 1975).

Segundo Raij (1991), a ocorrência de deficiências de micronutrientes é menos frequente que a de macronutrientes. Ainda assim, estudos sobre a função e o impacto dos micronutrientes são fundamentais, uma vez que, de acordo com Malavolta (1986), a deficiência desses elementos pode comprometer o crescimento e, consequentemente, reduzir a produção das culturas em cerca de 20% a 30%.

A diagnose visual de deficiências minerais em manjericão constitui uma importante técnica auxiliar na identificação das necessidades nutricionais da planta e na recomendação adequada de fertilizantes e corretivos. A utilização de soluções nutritivas em cultivos hidropônicos tem se mostrado uma ferramenta eficaz para o avanço do conhecimento na área de nutrição vegetal, pois permite o controle rigoroso da composição do meio de cultivo e elimina a heterogeneidade e complexidade do solo (SARRUGE, 1975). Os sintomas de deficiência nutricional tornam-se mais evidentes em estágios agudos, nos quais se observa redução acentuada na taxa de crescimento e na produção.

Nesse contexto, estudos experimentais recentes têm aprofundado a compreensão sobre os efeitos das omissões nutricionais em condições controladas. Um exemplo relevante é o trabalho conduzido por Song, Yang e Jeong (2024), no qual a indução controlada de deficiências nutricionais em manjericão cultivado em sistema hidropônico permitiu uma caracterização precisa dos sintomas visuais associados à ausência de macro e micronutrientes. Os autores observaram que a omissão de nutrientes essenciais resultou em alterações visíveis no crescimento, coloração foliar e eficiência fotossintética das plantas, medidos por meio da relação Fv/Fm, refletindo a degradação do aparato fotossintético. Essa abordagem experimental reforça a importância do cultivo em solução

nutritiva como método confiável para estudos diagnósticos em nutrição vegetal, destacando a relação direta entre deficiência nutricional e redução do desenvolvimento morfofisiológico da planta, corroborando a eficácia da diagnose visual como ferramenta complementar na prática agrícola.

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo caracterizar os sintomas visuais decorrentes da deficiência nutricional em plantas de manjericão cultivadas em solução nutritiva, contribuindo para a compreensão dos efeitos da omissão de macro e micronutrientes sobre o desenvolvimento morfofisiológico da cultura.

METODOLOGIA

O experimento foi conduzido em ambiente protegido, especificamente na casa de vegetação do Núcleo de Estudo de Água e Solos (NEAS), pertencente à Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), situada no município de Cruz das Almas, Bahia. A pesquisa foi realizada durante o período compreendido entre os meses de outubro e novembro de 2015.

As sementes utilizadas pertenciam à variedade Alfavaca Basilicão (*Ocimum basilicum* L.), as quais foram inicialmente germinadas em substrato inerte de espuma fenólica, sendo irrigadas diariamente. Após oito dias de germinação, as plântulas foram transferidas para o berçário, onde passaram a ser irrigadas com solução nutritiva completa na concentração de $\frac{1}{2}$ força iônica, conforme a recomendação proposta por Furlani (1998). Essa etapa teve duração de onze dias, tempo suficiente para o estabelecimento inicial das mudas antes da aplicação dos tratamentos experimentais.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com três repetições por tratamento, totalizando quatorze tratamentos e 42 unidades experimentais. Os tratamentos consistiram na omissão individual de macronutrientes e micronutrientes, além de um tratamento controle (testemunha) com solução nutritiva completa. Especificamente, foram testadas as seguintes omissões: nitrogênio (-N), fósforo (-P), potássio (-K), cálcio (-Ca), magnésio (-Mg), enxofre (-S), boro (-B), cobre (-Cu), ferro (-Fe), manganês (-Mn), molibdênio (-Mo) e zinco (-Zn), além do tratamento sem oxigenação da solução nutritiva (-O₂).

As soluções utilizadas foram preparadas utilizando reagentes de grau analítico (p.a.) para os micronutrientes, e fertilizantes de uso agrícola para os macronutrientes. As

soluções nutritivas específicas para cada tratamento foram formuladas a partir de soluções estoque concentradas, com concentração molar de 1 mol L⁻¹, conforme descrito na Tabela 1. O preparo e a aplicação das soluções seguiram os padrões descritos por Sarruge (1975), sendo cada tratamento ajustado com base na omissão do nutriente correspondente.

Para o estabelecimento dos tratamentos, as mudas previamente selecionadas foram organizadas em grupos de três plantas e transplantadas para vasos plásticos com capacidade de dois litros. Cada vaso foi preenchido com a solução nutritiva correspondente ao seu tratamento experimental, seja esta a solução completa ou a solução com a omissão do nutriente em questão. As unidades experimentais foram mantidas sob aeração artificial contínua, garantindo adequado suprimento de oxigênio às raízes, com exceção do tratamento específico sem oxigenação.

O período experimental após o transplante foi de 21 dias. Durante esse tempo, foi realizada apenas uma troca de solução nutritiva, ocorrida após quinze dias de experimento. Cada vaso, contendo uma única planta, foi considerado uma parcela experimental, totalizando 42 parcelas para análise.

Tabela 1. Concentração da solução estoque e quantidades utilizadas por reagente em gramas por litro.

Solução estoque	Peso molecular	Molaridade	g/L
Macronutrientes			
KH₂PO₄	136,07	1M	136,07
KNO₃	101,11	1M	101,11
Ca(NO₃)₂	164,10	1M	164,10
MgSO₄	120,38	1M	120,38
KCl	74,55	1M	74,55
CaCl₂	110,98	1M	110,98
NH₄HPO₄	112,98	1M	112,98
NH₄NO₃	80,02	1M	80,02
(NH₄)₂SO₄	132,09	1M	132,09
Mg(NO₃)₂	148,33	1M	148,33
Micronutrientes			
MnCl₂4H₂O	197,84	1M	2,86
ZnCl₂	136,27		0,10
H₃BO₃	61,82		2,86
CuCl₂	134,45		0,04
H₂MoO₄ H₂O	179,94		0,02
Fe-EDTA			

Durante o período de condução do ensaio, as soluções nutritivas foram mantidas com o pH rigorosamente controlado na faixa de 5,5 a 6,1. Sempre que necessário,

realizaram-se correções com soluções de ácido clorídrico (HCl) ou hidróxido de sódio (NaOH), ambas na concentração de 1,0 mol L⁻¹, visando garantir a estabilidade do ambiente químico radicular. Além disso, a condutividade elétrica (CE) foi monitorada continuamente e as soluções foram renovadas sempre que a CE apresentava uma redução de 1,0 dS m⁻¹ em relação ao valor inicial, que era de 2,0 dS m⁻¹, característico da solução nutritiva utilizada.

O controle do pH e da condutividade elétrica foi realizado a cada dois dias. Além disso, o volume da solução nutritiva nos vasos foi avaliado diariamente, e quando identificado decréscimo no volume por evaporação ou absorção pelas plantas, procedeu-se à reposição com água deionizada, assegurando a constância das condições hidropônicas para o adequado desenvolvimento das plantas e expressão dos sintomas de deficiência.

A sintomatologia das deficiências nutricionais foi cuidadosamente descrita e monitorada durante todo o período experimental, até que os sintomas visuais estivessem completamente definidos para cada tratamento de omissão. Concluída a etapa de observação dos sintomas, procedeu-se à colheita das plantas. Para a coleta de dados morfológicos e biométricos, as plantas foram separadas em duas partes: sistema radicular e parte aérea.

As seguintes variáveis foram avaliadas:

- Diâmetro do caule (mm): medido com paquímetro digital de precisão.
- Altura da planta (AP) e comprimento da raiz (CR): obtidos com fita métrica, em centímetros.
- Massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa fresca da raiz (MFR): mensuradas em balança analítica com precisão de 0,001 g.
- Massa fresca total (MFT): determinada pela soma dos valores de MFPA e MFR.

Para a determinação da massa seca, as amostras de parte aérea e raiz foram colocadas em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura constante de 65 ± 5 °C, durante 48 horas. Após esse período, as amostras foram pesadas para obtenção da:

- Massa seca da parte aérea (MSPA),
- Massa seca da raiz (MSR),
- Massa seca total (MST), também determinada pela soma dos componentes individuais.

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística. Primeiramente, aplicou-se a análise de variância (ANOVA) por meio do teste F, para verificação do efeito significativo dos tratamentos. Para atender ao pressuposto de normalidade dos resíduos, os dados foram previamente transformados utilizando a fórmula da raiz quadrada de ($Y + 0,5$), ou seja, $\sqrt{Y + 0,5}$, conforme recomendação para estabilização da variância em dados com distribuição assimétrica.

Posteriormente, quando identificadas diferenças significativas, procedeu-se à comparação de médias pelo teste de Scott-Knott, adotando-se um nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$). Todas as análises estatísticas foram realizadas por meio do software SISVAR (FERREIRA, 2011), programa amplamente utilizado em experimentos agrícolas por sua eficiência no tratamento de dados com delineamentos complexos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sintomas Visuais de Deficiência de Macro e Micronutrientes

Os sintomas de deficiência nutricional, tanto de macro quanto de micronutrientes, foram cuidadosamente observados em plantas de manjericão (*Ocimum basilicum* L.) ao longo do experimento. A manifestação visual dos sintomas foi registrada até o 21º dia após o início dos tratamentos (DAIT), momento em que se evidenciaram de forma plena os efeitos das omissões específicas dos elementos essenciais (Figura 1).

A ordem cronológica de aparecimento dos sintomas visuais nas plantas seguiu o seguinte padrão: nitrogênio, cálcio, potássio, magnésio, ferro, manganês, boro, cobre, oxigênio, fósforo, molibdênio, enxofre e, por último, zinco. Essa ordem reflete, em parte, a mobilidade dos nutrientes nas plantas, bem como a intensidade com que cada elemento influencia os processos fisiológicos do manjericão.

A deficiência de nitrogênio foi a primeira a apresentar sintomas visíveis, com início aos 7 DAIT. Os sintomas se intensificaram nos dias subsequentes, caracterizando-se por raquitismo e nanismo das plantas, além de um amarelecimento generalizado das folhas, conhecido como clorose. Este sintoma foi mais evidente nas folhas mais velhas, o que se deve à alta mobilidade do nitrogênio no interior da planta, que, diante da escassez, é remobilizado das folhas maduras para os tecidos em crescimento. Esse comportamento é corroborado por Parado et al. (2011), que descrevem o padrão de translocação do nitrogênio como sendo altamente eficiente, especialmente em condições de deficiência,

priorizando o suprimento das regiões meristemáticas. No que se refere ao sistema radicular, não foram observados sintomas visuais evidentes, indicando que a deficiência de nitrogênio afetou prioritariamente a parte aérea da planta, principalmente seu metabolismo foliar e crescimento vegetativo.

A presença de sintomas em ordem decrescente entre os demais nutrientes ainda será discutida com base nas características específicas de cada elemento e suas funções metabólicas, estruturais e fisiológicas nas plantas de manjericão, conforme os dados coletados no presente estudo.

Com base nos achados obtidos neste experimento, os sintomas visuais observados nas plantas de manjericão corroboram, em parte, os padrões descritos na literatura recente, inclusive com o suporte de tecnologias avançadas de detecção. Gul et al., (2023), em estudo publicado na *Sensors* (MDPI), utilizaram redes neurais convolucionais pré-treinadas (CNNs) para identificar deficiências nutricionais em manjericão cultivado em sistema hidropônico. Segundo os autores, as CNNs demonstraram alta acurácia na identificação precoce dos sintomas relacionados à deficiência de macronutrientes, como o nitrogênio, cálcio e potássio — justamente os primeiros a se manifestarem visualmente também no presente estudo. A tecnologia utilizada permitiu detectar padrões sutis de clorose, necrose e alterações morfológicas ainda nos estágios iniciais, o que se alinha ao relato deste trabalho, no qual o amarelecimento das folhas causado pela deficiência de nitrogênio foi evidente a partir do 7º dia após o início dos tratamentos.

Além disso, Gul et al., (2023) observaram que os sintomas de deficiência de micronutrientes, como zinco e molibdênio, apresentaram uma manifestação mais tardia e menos pronunciada visualmente, exigindo maior precisão para sua identificação — fato igualmente confirmado neste experimento, onde essas deficiências se manifestaram por último, aos 21 DAIT. A similaridade nos resultados, mesmo obtidos por metodologias distintas (visual manual versus inteligência artificial), reforça a confiabilidade dos sintomas característicos descritos para cada elemento. A integração de abordagens tradicionais e tecnológicas, como a proposta por Gul et al., (2023), representa um avanço significativo na fisiologia nutricional de plantas, especialmente em sistemas hidropônicos, permitindo diagnósticos precoces e intervenções mais eficazes no manejo nutricional do manjericão.

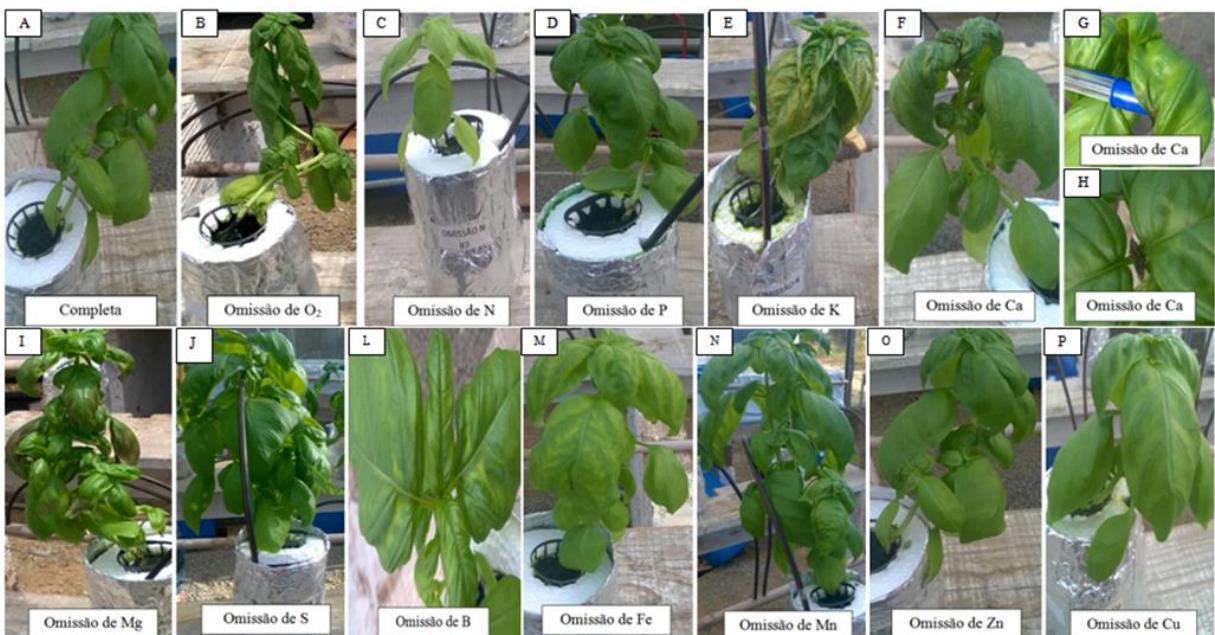


Figura 1. Sintomas visuais de deficiência nutricional em plantas de manjericão: (A) sem deficiência; (B) em O₂; (C) em N; (D) em P; (E) em K; (F, G, H) em Ca; (I) em Mg; (J) em S; (L) em B; (M) em Fe; (N) em Mn; (O) em Zn e (P) em Cu.

As folhas mais velhas das plantas de manjericão submetidas ao tratamento com omissão de nitrogênio (-N) apresentaram coloração verde-clara em comparação com as plantas do tratamento completo (Figura 1C; 1A). Esse clareamento foliar, característico da deficiência de nitrogênio, está diretamente relacionado à menor produção de clorofila, como já relatado por Marschner (1995) e Malavolta et al. (1997). Tal sintoma decorre da mobilidade do nitrogênio na planta, que, ao ser redistribuído via floema para tecidos em desenvolvimento, resulta no amarelecimento das folhas mais velhas. No presente estudo, essa característica foi nitidamente observada, sendo um indicativo precoce da deficiência desse nutriente. Flores et al. (2012), ao cultivarem pimenta malagueta sob deficiência de nitrogênio, também observaram sintomas semelhantes nas folhas mais velhas, reforçando a consistência do achado.

De forma similar, Almeida et al. (2011) constataram tais sintomas em plantas de alface da cultivar Verônica, enquanto Puga et al. (2010) e Daflon et al. (2014) identificaram os mesmos efeitos em plantas de chicória e coentro, respectivamente, comprovando a uniformidade da resposta vegetal à ausência de nitrogênio. Com relação ao tratamento com omissão de fósforo (-P), os primeiros sintomas foram visíveis nas folhas novas, a partir de 9 dias após a instalação dos tratamentos (9 DAIT), sendo caracterizados por uma coloração verde-escura, conforme ilustrado na Figura 1D. Este escurecimento das folhas foi acompanhado por alterações morfológicas no sistema

radicular, o qual apresentou coloração escura e crescimento reduzido (Figura 2A), contrastando com o vigor observado nas plantas cultivadas com solução completa.

Tais observações corroboram com os estudos de Johanson e Walker (1963), que descreveram a ocorrência de coloração azulada em nervuras menores sob deficiência de fósforo, evoluindo posteriormente para o restante da folha. Além disso, a intensificação do verde nas folhas sob deficiência de fósforo foi também registrada por Pacheco et al. (2006) em morangueiro. No entanto, esses autores não mencionaram alterações significativas no sistema radicular, como as identificadas no presente trabalho, sugerindo que os efeitos da deficiência de fósforo podem variar entre espécies e entre os estádios fenológicos das culturas estudadas.

Os resultados obtidos neste estudo quanto à manifestação de sintomas visuais de deficiência nutricional em plantas de manjericão cultivadas em sistema hidropônico corroboram com os achados recentes, Hazrati et al. (2025) relataram que diferentes formulações de soluções nutritivas impactaram não apenas o rendimento das plantas, mas também seu perfil fisiológico e bioquímico, como o teor de óleo essencial e a presença de contaminantes. Esses autores também destacaram que o desequilíbrio na disponibilidade de nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio influenciou diretamente a coloração das folhas e o desenvolvimento radicular — resultados estes similares aos observados no presente experimento, em que a deficiência de N e P provocou clorose foliar e escurecimento radicular, respectivamente. Assim, esses estudos recentes reforçam a relevância do manejo preciso da solução nutritiva para evitar sintomas fisiológicos indesejáveis e comprometimento da qualidade final do cultivo hidropônico de manjericão.



Figura 2. Sintomas visuais de deficiência nutricional nas raízes de manjericão: (A) deficiência em P; (B) em K; (C) em Ca; (D) em Mg; (E) em O₂;

No tratamento de deficiência do potássio os sintomas iniciaram com pequena clorose nas margens das folhas aos 9 dias, evoluindo gradativamente para necrose (Figura 1E), isto ocorre devido às suas funções como, participação em processos osmóticos, síntese de proteínas e abertura/fechamento dos estômatos, como estas organelas não se abrem regularmente, há menor intensidade fotossintética (MALAVOLTA et al., 1997). Verificou-se que o sistema radicular teve pouco desenvolvimento (pouca quantidade de raízes) comparado ao tratamento completo (Figura 2B), atribuído ao decréscimo do fenômeno de carboidratos parte aérea para a raiz, consequentemente provocando redução no crescimento das (PRADO, 2008). Pequenas manchas necróticas crescimento abaixo do normal, necrose marginal e murcha das folhas, pequenas manchas necróticas e morte de gemas laterais e terminais são citados por Puga et al., (2010) como sintomas da deficiência de K, corroborando com este trabalho. Além disso, estudos recentes em sistemas hidropônicos com manjericão destacam o impacto da deficiência de potássio na morfologia e no rendimento da planta (HAZRATI et al., 2024; GUL et al., 2023).

As plantas cultivadas em solução nutritiva sob omissão de cálcio, inicialmente apresentaram retardamento no crescimento, seguido de aparecimento de clorose no limbo filiar, necrose nas margens das folhas mais jovens e morte da gema apical (Figura 1F; 1G; 1H). As raízes foram afetadas pela deficiência de cálcio e apresentaram coloração escura (Figura 2C). O cálcio é o nutriente essencial para manutenção da membrana plasmática e da rigidez da parede celular (MATHUIS, 2009), o que pode explicar as deformações observadas, como o encarquilhamento nos órgãos vegetativos em crescimento. Com a evolução da deficiência, aos 15 dias após o transplantio, as plantas começaram a sofrer necrose na gema apical e a perder as folhas. Sintomas semelhantes a esse foi observado por Pacheco et al., (2006) em morangueiro. Resultados recentes reforçam que a disponibilidade adequada de cálcio em cultivos hidropônicos é fundamental para evitar essas alterações fisiológicas, influenciando também no perfil de óleos essenciais de plantas aromáticas (HAZRATI et al., 2024).

As plantas submetidas à omissão de Mg apresentaram inicialmente clorose em folhas mais velhas, que se iniciou nas margens do limbo foliar progredindo para o interior das folhas (Figura 1I). As partes próximas à nervura central permaneceram verdes e com o avanço dos sintomas, pontos necróticos evoluíram no limbo foliar, isso ocorre, pois a deficiência deste nutriente pode induzir a descarboxilação de aminoácidos formando a putrecina (PUGA, et al., 2010). A deficiência de Mg afetou drasticamente crescimento do

sistema radicular (Figura 2D). A ocorrência da clorose em folhas mais velhas se dá pelo fato do Mg ser facilmente translocado de áreas maduras para as mais jovens da planta, provocando a apresentação dos primeiros sintomas visuais em folhas mais velhas (EPTEIS; BLOOM, 2004). Os cloroplastos sofrem influência direta em relação à ausência de Mg sendo afetado o tamanho, estrutura e função, este nutriente por ser constituinte da molécula de clorofila como resultado de sua ausência sempre haverá clorose (MARSCHNER, 1995).

Nos tratamentos com omissão de enxofre, zinco e molibdeno não foi possível concluir sobre a evolução dos sintomas (Figura 1J; 1P).

Os sintomas iniciais da deficiência do boro foram nas folhas jovens, apresentando espessamento e enrugamento das mesmas. Com o decorrer do experimento, este enrugamento tornou-se mais grave e as bordas da folha dobraram para baixo, ocorrendo também clorose intranervural (Figura 1L). Furlani et al. (1999) descreveram que este tipo de malformação, bem como a eventual necrose, pode resultar da ação dos radicais, que danificam as membranas, as quais possuem natureza lipídica. De acordo com Mengel & Kirkby (1987), a deficiência de B é expressa principalmente pelo desenvolvimento anormal ou retardado de pontos de crescimento. O boro participa no transporte de carboidratos e na formação da parede celular.

Assim, sua deficiência resulta em parede celular desestruturada, menos lignificada e no comprometimento da integridade da membrana celular (MALAVOLTA, 2006). Essas características são confirmadas também nos estudos que envolvem cultivos hidropônicos, onde a disponibilidade adequada de micronutrientes, incluindo o boro, influencia diretamente na fisiologia e qualidade das plantas (SANTOS et al., 2021). Com omissão de ferro (Fe), observou-se inicialmente clorose internerval nas folhas mais novas, e posteriormente clorose em todas as folhas, que evoluiu das margens para o centro (Figura 1M). A inibição da elongação radicular, aumentos do diâmetro das zonas apicais das raízes e formação abundante de raízes laterais está relacionada com a deficiência de ferro (ROMHELD & MARSCHNER, 1981). O ferro é constituinte ou ativador de enzimas, possui função estrutural e participa de processos como fotossíntese, respiração, síntese de lignina e suberina, e metabolismo de auxina, dentre outros (MALAVOLTA, 2006).

A importância da nutrição equilibrada em sistemas sem solo também é ressaltada em estudos recentes que monitoram deficiências nutricionais e seus impactos no crescimento de plantas como o manjericão, reforçando o papel crucial do ferro e outros

micronutrientes na produção hidropônica (HAZRATI et al., 2024; GUL et al., 2023). A omissão de manganês (Mn) provocou aparecimento de sintomas caracterizados por clorose das folhas mais velhas, com reticulado grosso das nervuras verdes sobre fundo amarelado, devido à distribuição irregular de clorofila (Figura 1N). A deficiência severa de Mn ocasiona uma quebra na estrutura do cloroplasto que não pode ser revertida. Os cloroplastos são as organelas mais sensíveis à deficiência de Mn, o que leva à desorganização do sistema lamelar e aos sintomas visíveis de clorose (VIÉGAS et al., 2013). Em plantas de *Bertholletia excelsa* foram descritos sintomas semelhantes por Camargo & Muraoka (2007). Além disso, o estudo de Santos et al. (2021) destaca que a disponibilidade e dinâmica dos micronutrientes no solo são determinantes para o desenvolvimento saudável das plantas, refletindo em sintomas como os observados.

Os sintomas de deficiência de cobre (Cu) surgiram sete dias após o início da imposição dos tratamentos. Inicialmente, as folhas novas exibiram uma clorose internerval leve e as plantas também apresentaram um aspecto de murcha nas folhas jovens (Figura 1P). Em cultivos hidropônicos, a monitorização das deficiências de micronutrientes, como Cu, tem sido possível por meio de técnicas avançadas, facilitando o diagnóstico precoce e correção eficiente (GUL et al., 2023).

Os sintomas de deficiência de oxigênio (O₂) surgiram aos sete dias após o início do tratamento (DAIT), apresentando inicialmente clorose internervural; aos 14 DAIT, as plantas estavam bastante debilitadas, com aspecto de murcha e tortuosidade, deixando a planta sem firmeza (Figura 1B). O sistema radicular foi drasticamente afetado, com sintomas de podridão (Figura 2E). Os processos vitais do sistema radicular, como a absorção de nutrientes e manutenção do metabolismo basal (funcionamento adequado das raízes), envolvem gasto de energia produzida a partir da respiração radicular, que é diretamente dependente do O₂ dissolvido na solução nutritiva. Diversos processos metabólicos necessitam de O₂ para serem realizados; a respiração e o metabolismo de nitrogênio são os eventos mais estudados para esse nutriente.

Ocorre o funcionamento parcial no ciclo do ácido tricarboxílico em ambas as direções quando há ausência de um acceptor eletrônico terminal na cadeia de transporte de elétrons. As principais reações fermentativas das plantas acontecem com a acidificação do citosol e o piruvato, produto da glicólise, é transformado em lactato e etanol. Durante todo esse processo anaeróbico, ainda é produzida alanina, resultante das altas taxas de interconversão entre aminoácidos, em que as transaminases, tais como alanina

aminotransferase, desempenham papel importante (SOUZA & SODEK, 2002). Tais aspectos são fundamentais para entender os limites da produção hidropônica, como apontado por Hazrati et al. (2024), que ressaltam a importância da regulação adequada de nutrientes e oxigênio para otimizar o rendimento e qualidade do manjericão cultivado em sistema sem solo.

Produção de fitomassa fresca e seca

Verifica-se para todas as variáveis analisadas DC, AP, CR, MFPA, MFR, MFT, MSPA, MSR, e MST efeitos significativos ($p \leq 0.01$) do manjericão sob os tratamentos com deficiência de nutrientes (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância para diâmetro de caule (DC), altura de planta (AP), comprimento radicular (CR), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa fresca total (MFT), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e massa seca total (MST) em plantas de manjericão, em função dos tratamentos com omissão de nutrientes.

FV	Quadrado médio									
	D	A	CR	MFPA	MFR	MFT	MSPA	MSR	MST	
Tratamento	0.15**	1.48**	0.67**	6.55 **	1.92**	6.91**	0.39 **	0.04**	0.44**	
Bloco	0.09 ns	0.55 ns	0.03 ns	0.46 ns	0.21 ns	0.50 ns	0.21 ns	0.01 ns	0.17 ns	
CV	7.39	11.01	9.35	19.06	13.08	10.69	20.59	7.73	16.35	
M. geral	2.61	5.35	4.42	5.06	4.68	6.93	1.78	1.19	2.03	

ns, ** e * = não significativo, significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade, respectivamente.

Apesar de não ter importância econômica para a cultura, o diâmetro caulinar tem relação direta com a capacidade de transporte de fotoassimilado da planta, o que torna importante a sua avaliação (FERREIRA et al., 2016). A omissão dos macronutrientes, exceto o enxofre, resultou em decréscimo do diâmetro caulinar (Figura 3A) quando comparado com o tratamento com a solução completa. A omissão de nitrogênio foi o fator que mais limitou o crescimento em diâmetro das plantas de manjericão, proporcionando uma redução de aproximadamente 46%. Para a omissão dos micronutrientes, somente a ausência de boro causou redução no diâmetro caulinar, consequência da participação do nutriente no metabolismo de carboidratos e no transporte de açúcares através de membranas, bem como na formação da parede celular e divisão celular, o que compromete o crescimento secundário das plantas (MALAVOLTA, 2006; SANTOS et al., 2021).

O nitrogênio, por participar da constituição de substâncias e de funções metabólicas essenciais, é um nutriente limitante ao crescimento e desenvolvimento das plantas. O potássio também limita o crescimento, por ser ativador enzimático e estar diretamente ligado à fotossíntese e produção de carboidratos. Na Figura 3B, os macronutrientes que tiveram influência na redução do crescimento primário por sua omissão foram o N, Ca e K, sendo as maiores reduções de 51%, 49% e 44%, respectivamente. O cálcio, por ser o componente principal das paredes celulares, exerce forte influência sobre o crescimento (MENGEL & KIRKBY, 1987). Já no crescimento radicular em comprimento (Figura 3B), só houve interferência significativa nos casos de omissão dos macronutrientes N, Ca e Mg, além da ausência de oxigenação.

Vale destacar que a deficiência de nutrientes em sistemas hidropônicos pode ser rapidamente identificada por mudanças fisiológicas e morfológicas, como registrado por Hazrati et al. (2024), que observaram alterações no crescimento e composição do óleo essencial em manjericão sob diferentes soluções nutritivas hidropônicas. Além disso, estudos como o de Gul et al. (2023) demonstram que técnicas modernas, como redes neurais convolucionais pré-treinadas, podem ser empregadas com sucesso na detecção precoce dessas deficiências em cultivos hidropônicos, reforçando a importância do monitoramento contínuo e tecnológico da nutrição vegetal.

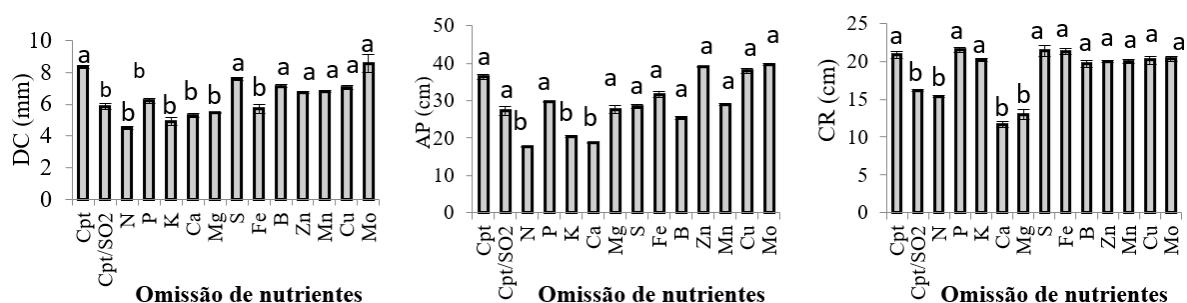


Figura 3. Sintomas de deficiências nutricionais nas variáveis (A) diâmetro do caule, (B) altura de planta e (C) comprimento da raiz no manjericão.

Uma das finalidades do cultivo do manjericão é a produção de matéria verde para o consumo. Para essa finalidade, a ausência dos macronutrientes apresentou valores críticos de produção de matéria fresca da parte aérea, atingindo o valor mínimo de 5 g/planta para a ausência de nitrogênio (Figura 4A), o que representa uma redução de 90% quando comparado com o tratamento com a solução completa. Os demais nutrientes

resultaram em uma redução entre 20 e 40%, com exceção do enxofre, que apresentou redução similar à observada para os micronutrientes Fe, B e Mn.

Essa expressiva redução em resposta à ausência de nitrogênio pode ser explicada pela função essencial do N na síntese de aminoácidos, proteínas e clorofila, impactando diretamente o crescimento vegetativo (SANTOS et al., 2021). Tal comportamento foi confirmado por Hazrati et al. (2024), que ao avaliarem diferentes soluções hidropônicas em manjericão, observaram que a deficiência de nutrientes compromete não apenas o crescimento, mas também a segurança alimentar e o perfil químico da planta.

Para a produção de massa fresca das raízes (MFR) (Figura 4B), ocorreu um comportamento semelhante ao observado na variável comprimento radicular (CR), em que o único nutriente que apresentou um comportamento diferente foi o potássio. Isso se deve ao fato de que, apesar de ter proporcionado um crescimento aparentemente normal da parte aérea, sua deficiência resultou em uma menor formação de raízes adventícias, o que ocasionou a redução na produção de MFR. De fato, o potássio está diretamente envolvido no metabolismo energético e na atividade enzimática relacionada ao crescimento radicular (SANTOS et al., 2021; HAZRATI et al., 2024). Além disso, tecnologias recentes têm sido empregadas para detecção precoce de deficiências nutricionais em cultivos hidropônicos, como demonstrado por Gul et al. (2023), os quais utilizaram redes neurais convolucionais pré-treinadas para identificar, com alta precisão, deficiências de nutrientes em manjericão, inclusive em estágios iniciais do desenvolvimento.

Na Figura 4C, observa-se a produção total de matéria seca, a qual teve uma resposta similar à MFPA devido à maior contribuição da parte aérea para esse valor. A correlação entre a sanidade nutricional e a biomassa acumulada é amplamente reconhecida na literatura, sendo que a deficiência de nutrientes limita a fotossíntese, o acúmulo de reservas e, consequentemente, a produção de matéria seca total da planta (HAZRATI et al., 2024).

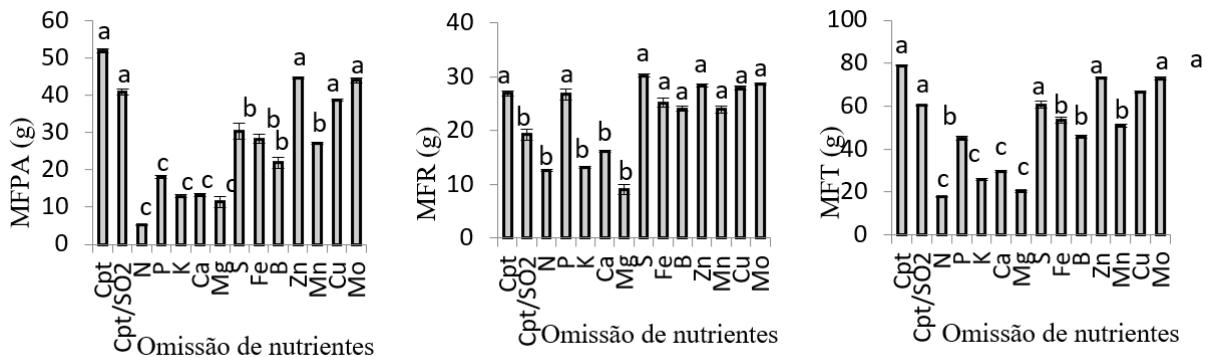


Figura 4. Sintomas de deficiências nutricionais nas variáveis (A) massa fresca da parte aérea, (B) massa fresca da raiz e (C) massa fresca total do manjericão.

O manjericão pode ser comercializado de acordo com a exigência do mercado, sendo uma alternativa a sua oferta na forma desidratada. Semelhante à resposta observada para as variáveis de massa fresca, a omissão dos macronutrientes causou perdas expressivas para a cultura do manjericão, com a maior redução de 64% no caso da omissão de nitrogênio em referência à massa seca total (MST). Os demais macronutrientes que causaram as maiores reduções foram o magnésio, o potássio e o cálcio, respectivamente.

Esses resultados corroboram a importância do fornecimento equilibrado de nutrientes na produção de plantas aromáticas, especialmente em sistemas sem solo. Hazrati et al. (2024), ao avaliarem diferentes soluções hidropônicas em manjericão, observaram que a omissão de macronutrientes, sobretudo o nitrogênio, compromete de forma significativa o rendimento, a composição química e o conteúdo de óleo essencial da planta. A deficiência de N impacta diretamente o metabolismo primário da planta, interferindo na formação de compostos estruturais e na atividade fotossintética.

Além disso, a redução observada para magnésio, potássio e cálcio está relacionada às funções fisiológicas desses nutrientes: o Mg é parte central da molécula de clorofila, o K atua na regulação estomática e no transporte de fotoassimilados, e o Ca é fundamental para a integridade das paredes celulares e sinalização intracelular (SANTOS et al., 2021). Em sistemas hidropônicos, onde a planta depende exclusivamente da solução nutritiva, a ausência ou desequilíbrio de qualquer nutriente pode refletir rapidamente em queda de produtividade e qualidade comercial.

Avanços tecnológicos, como o uso de redes neurais convolucionais aplicadas por Gul et al. (2023), têm contribuído para identificar precocemente deficiências nutricionais em plantas cultivadas em hidroponia, incluindo o manjericão. Isso reforça a necessidade

de monitoramento constante e ajuste das soluções nutritivas para garantir o máximo potencial produtivo da cultura.

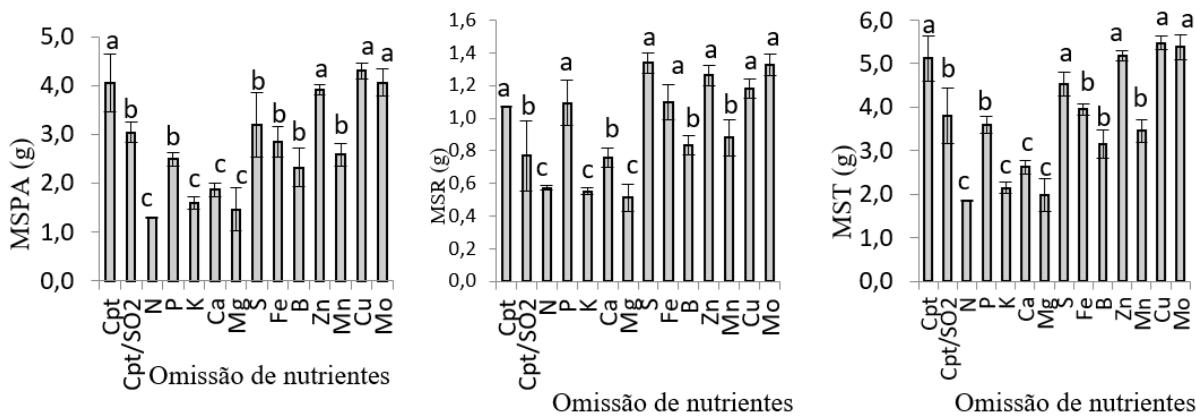


Figura 5. Sintomas de deficiências nutricionais nas variáveis (A) massa seca da parte aérea, (B) massa seca da raiz e (C) massa seca total do manjericão.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo evidenciou a sensibilidade do manjericão (*Ocimum basilicum* L.) às deficiências nutricionais, principalmente aos macronutrientes, cuja ausência comprometeu significativamente o crescimento e a produção de biomassa da cultura. A manifestação visual das deficiências seguiu uma ordem clara de severidade, com o nitrogênio sendo o nutriente mais limitante, seguido por cálcio, potássio e magnésio. Esses elementos estão diretamente envolvidos em processos fisiológicos essenciais como fotossíntese, transporte de assimilados, formação da parede celular e divisão celular, o que justifica sua importância para o desenvolvimento vegetativo da planta.

A deficiência de nitrogênio resultou na maior redução da matéria seca total, demonstrando que este é o nutriente mais crítico para a produção de manjericão em sistemas de cultivo sem solo. A menor resposta das plantas às omissões de micronutrientes como Zn, Cu e Mo pode ser atribuída às exigências extremamente baixas desses elementos, que provavelmente foram supridas ainda durante a fase de berçário.

RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS

1. Monitoramento Nutricional Contínuo: Recomenda-se a análise frequente da solução nutritiva e dos tecidos vegetais, com especial atenção ao fornecimento de nitrogênio, magnésio, cálcio e potássio, que demonstraram maior impacto sobre a produtividade da cultura.
2. Reposição Fracionada de Nutrientes: A aplicação fracionada dos macronutrientes ao longo do ciclo da cultura pode evitar deficiências agudas e melhorar a eficiência de absorção pelas plantas.
3. Uso de Tecnologias de Diagnóstico Precoce: A adoção de tecnologias como sensores ópticos, câmeras multiespectrais e inteligência artificial, como proposto por Gul et al. (2023), pode ser uma estratégia eficaz para identificar deficiências nutricionais ainda em estágios iniciais, possibilitando correções rápidas.
4. Atenção à Fase de Berçário: A nutrição durante a fase inicial (berçário) é essencial, especialmente para os micronutrientes, cujas pequenas exigências podem ser supridas adequadamente nessa etapa, como observado neste estudo.
5. Formulação Adequada da Solução Nutritiva: A formulação da solução deve seguir padrões baseados nas exigências específicas do manjericão, considerando o equilíbrio entre os nutrientes e as condições ambientais do sistema hidropônico ou sem solo.
6. Capacitação Técnica e Boas Práticas: Agricultores e técnicos devem ser capacitados quanto ao manejo nutricional adequado em sistemas sem solo, com foco na identificação de sintomas de deficiência, interpretação de análises químicas e correções nutricionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHARONI, N.; GHANIM, M.; GOREN, R.; MEIRI, I.; JELINEK, H.; MEYER, J.; LEVY, A. Reducing chilling injury and decay in stored sweet basil. *Journal of Plant Science*, v. 58, p. 167–181, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.01.004>

ALMEIDA, T. B. F.; PRADO, R. M.; CORREIA, M. A. R.; PUGA, A. P.; BARBOSA, J. C. Avaliação nutricional da alface cultivada em soluções nutritivas suprimidas de macronutrientes. *Biotemas*, v. 24, p. 27-36, 2011. <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2011v24n2p27>

BEKHRADI, F.; ZANDI, P.; ASHRAFI, M.; MALEKI, A.; GHASSEMZADEH, A.; GHOLAMPOUR, A. Effect of deficit irrigation on the postharvest quality of different genotypes of basil including purple and green Iranian cultivars and a Genovese variety. *Postharvest Biology and Technology*, v. 100, p. 127–135, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.09.007>

CAMARGO, S. L.; MURAOKA, T. Teores, acúmulo e redistribuição de micronutrientes em castanheira-do-brasil. *Revista Agricultura Tropical*, v. 9, p. 144-154, 2007.

DAFLON, D. S. G.; FREITAS, M. S. M.; CARVALHO, A. J. C.; MONNERAT, P. H.; PRINS, C. L. Sintomas visuais de deficiência de macronutrientes e boro em coentro. *Horticultura Brasileira*, v. 32, p. 28-34, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362014000100005>

DANESHNIA, F.; AMINI, A.; CHAICHI, B. M. R. Surfactant effect on forage yield and water use efficiency for berseem clover and basil in intercropping and limited irrigation treatments. *Agricultural Water Management*, v. 160, p. 57–63, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.06.002>

EPSTEIN, E. Nutrição mineral de plantas – princípios e perspectivas. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. 341 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. 2. ed. Londrina: Ed. Planta, 2006. p. 42-65.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. Nutrição mineral de plantas – princípios e perspectivas. 2. ed. Londrina: Editora Planta, 2004. 403 p.

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

FERREIRA, S. D.; BULEGON, L. G.; YASSUE, R. M.; ECHER, M. M. Efeito da adubação nitrogenada e da sazonalidade na produtividade de *Ocimum basilicum* L. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, v. 18, n. 1, p. 67-73, 2016. https://doi.org/10.1590/1983-084X/15_178

FLORES, R. A.; ALMEIDA, T. B. F.; POLITI, L. S.; PRADO, R. M.; BARBOSA, J. C. Crescimento e desordem nutricional em pimenteiras malagueta cultivadas em soluções nutritivas suprimidas de macronutrientes. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 7, p. 104-110, 2012. <https://doi.org/10.5039/agraria.v7i1a1507>

FURLANI, P. R. et al. Cultivo hidropônico de plantas. Campinas: Instituto Agronômico, 1999. 52 p. (Boletim Técnico IAC, 180).

GUL, Z.; BORA, S. Exploiting pre trained convolutional neural networks for the detection of nutrient deficiencies in hydroponic basil. *Sensors*, Basel, v. 23, n. 12, p. 5407, 07 jun. 2023. <https://doi.org/10.3390/s23125407>

HAZRATI, S.; MOHAMMADI, S.; ASGHARI, H.; SAYYARI-ZAHAN, M. H.; FALLAH, S.; EBRAHIMI, S.; ESMAEILI, M. Impact of four hydroponic nutrient solutions and regrowth on yield, safety and essential oil profile of basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivated in soilless culture systems. *Folia Horticulturae*, Kraków, v. 36, n. 4, p. 517–531, 2024. Publicado online em 2025. <https://doi.org/10.2478/fhort-2024-0034>

LUCCHESI, M. E.; CHEMAT, F.; SMADJA, J. Solvent-free microwave extraction of essential oil from aromatic herbs: comparison with conventional hydro-distillation. *Journal of Chromatography*, v. 1043, p. 323–327, 2004.

MALAVOLTA, A. Manual de nutrição de plantas. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. Avaliação do estado nutricional das plantas – princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAPOS, 1997. 319 p.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2. ed. Londres: Academic Press, 1995. 889 p.

PACHECO, D. D.; RIBEIRO, D. P.; DIAS, M. S. C.; ANTUNES, P. D.; LIMA, L. M. S.; PINHO, D. B.; RUAS, L. O.; MOREIRA, S. A. F.; SOUZA, F. V.; ALMEIDA JUNIOR, A. B.; SOUZA, R. P. D. Sintomas visuais de deficiências minerais em morangueiro cultivado no norte de Minas Gerais. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, Cabo Frio. Palestras e recursos. Frutas do mundo. Cabo Frio: SBF, 2006.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; ROQUE, C. G. Resposta da cultura do milho a modos de aplicações e doses de fósforo em adubação de manutenção. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, p. 83–90, 2001.

PRADO, R. M.; VIDAL, A. A. Efeito da omissão de macronutrientes em solução nutritiva sobre o crescimento e a nutrição do milheto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 38, n. 3, p. 208–214, 2008.

PUGA, A. P.; PRADO, R. M.; CORREIA, M. A. R. Omissão de macronutrientes no crescimento e no estado nutricional da chicória cultivada em solução. *Revista Agrarian*, v. 3, p. 56–62, 2010.

RAIJ, B. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Agronômica Ceres/POTAPOS, 1991. 343 p.

ROMHELD, V.; MARSCHNER, H. Iron deficiency stress induced morphological and physiological changes in root tips of sunflower. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, v. 53, n. 4, p. 354-360, 1981.

SANTOS, F. D.; FANTINEL, R.; WEILER, E.; CRUZ, J. C. Fatores que afetam a disponibilidade de micronutrientes no solo. *Tecno-Lógica*, Santa Cruz do Sul, v. 25, n. 2, p. 272–278, jul. 2021.
<https://doi.org/10.17058/tecnolog.v25i2.15552>

SARRUGE, J. R. Soluções nutritivas. *Summa Phytopathologica*, v. 1, n. 3, p. 231-233, 1975.

SONG, J.; YANG, J.; JEONG, B. R. Characterization of Physiology, Photosynthesis, and Nutrition Based on Induced Deficiencies of Macro- and Micronutrients in Basil (*Ocimum basilicum* L.). *Plants*, Basel, v. 13, n. 1, p. 25, 2024.

SOUSA, C. A. F.; SODEK, L. The metabolic response of plants to oxygen deficiency. *Brazilian Journal Plant Physiology*, v. 14, n. 2, p. 83-94, 2002.

SUJATHA, S. et al. Impacto finter cropping of medicinal and aromatic plants with organic farming approach in resource use efficiency in arecanut (*Areca catechu* L.) plantation in India. *Industrial Crops Production*, v. 33, p. 78–83, 2011.

VIÉGAS, I. de J. M.; SOUSA, G. O. de; SILVA, A. F.; CARVALHO, J. G. de; LIMA, M. M. Composição mineral e sintomas visuais de deficiências de nutrientes em plantas de pimenta-longa (*Piper hispidinervum* C. DC.). *Acta Amazônica*, v. 43, n. 1, p. 45–52, 2013.

O livro Ciências Agrárias: Tecnologias e Revolução no Campo apresenta uma visão atualizada e abrangente sobre as transformações que vêm ocorrendo no meio rural a partir do uso de novas tecnologias. A obra explora como o avanço científico e o desenvolvimento de técnicas modernas têm impactado a produção agrícola, promovendo maior eficiência, sustentabilidade e qualidade de vida no campo.

O livro aborda temas como agricultura de precisão, biotecnologia, manejo de solo e água, além da mecanização e automação agrícola. Com uma linguagem acessível e dados atualizados, os capítulos demonstram como essas inovações estão revolucionando as práticas tradicionais, contribuindo para o aumento da produtividade e a preservação ambiental.

Indicado para estudantes, profissionais e interessados nas ciências agrárias, o livro oferece uma análise crítica e prática sobre os desafios e oportunidades da modernização no campo. Ele mostra que, mais do que uma tendência, a adoção de tecnologias é essencial para garantir a segurança alimentar e o desenvolvimento sustentável das próximas gerações.



uniatual
EDITORIA

ISBN 978-658601391-7

A standard linear barcode representing the ISBN number 978-658601391-7. The barcode is black and white, with vertical bars of varying widths.

9 786586 013917