

SUSTENTABILIDADE E INOVAÇÃO

**Abordagens Interdisciplinares
nas Ciências Agrárias e
Ambientais**

Valéria Fernandes de Oliveira Sousa
João Manoel da Silva
João Henrique Barbosa da Silva
Adriano Salviano Lopes
João Paulo de Oliveira Santos
(Organizadores)

Valéria Fernandes de Oliveira Sousa
João Manoel da Silva
João Henrique Barbosa da Silva
Adriano Salviano Lopes
João Paulo de Oliveira Santos
(Organizadores)

SUSTENTABILIDADE E INOVAÇÃO
Abordagens Interdisciplinares
nas Ciências Agrárias e Ambientais

1ª edição

Editora Itacaiúnas
Ananindeua – PA
2025

©2025 por Valéria Fernandes de Oliveira Sousa, João Manoel da Silva, João Henrique Barbosa da Silva, Adriano Salviano Lopes e João Paulo de Oliveira Santos (Org.)

© 2025 por diversos autores

Todos os direitos reservados.

1ª edição

Conselho editorial / Colaboradores

Márcia Aparecida da Silva Pimentel – Universidade Federal do Pará, Brasil
José Antônio Herrera – Universidade Federal do Pará, Brasil
Márcio Júnior Benassuly Barros – Universidade Federal do Oeste do Pará, Brasil
Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil
Wildoberto Batista Gurgel – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil
André Luiz de Oliveira Brum – Universidade Federal de Rondônia, Brasil
Mário Silva Uacane – Universidade Licungo, Moçambique
Francisco da Silva Costa – Universidade do Minho, Portugal
Ofélia Pérez Montero - Universidad de Oriente – Santiago de Cuba, Cuba

Editora-chefe: Viviane Corrêa Santos – Universidade do Estado do Pará, Brasil
Editor e web designer: Walter Luiz Jardim Rodrigues – Editora Itacaiúnas, Brasil
Editor e diagramador: Deividy Edson Corrêa Barbosa - Editora Itacaiúnas, Brasil

Editoração eletrônica/ diagramação: Walter Rodrigues

Projeto de capa: dos organizadores

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

ES82 Sustentabilidade e Inovação: Abordagens Interdisciplinares nas Ciências Agrárias e Ambientais [recurso eletrônico] / vários autores; organizado por Valéria Fernandes de Oliveira Sousa, João Manoel da Silva, João Henrique Barbosa da Silva, Adriano Salviano Lopes e João Paulo de Oliveira Santos. - Ananindeua: Editora Itacaiúnas, 2025.

178 p.: il.: PDF , 3,0 MB.

Inclui bibliografia e índice.

ISBN: 978-85-9535-322-0 (Ebook)

DOI: 10.36599/itac-978-85-9535-322-0

1. Agricultura. 2. Agropecuária. 3. Meio ambiente. 4. Pesquisas Interdisciplinares. 5. Estudos ambientais e interdisciplinares. I. Título.

CDD 630

CDU 631

Índice para catálogo sistemático:

1. Agricultura e tecnologias relacionadas 630
2. Agricultura 631

E-book publicado no formato PDF (*Portable Document Format*). Utilize software [Adobe Reader](#) para uma melhor experiência de navegabilidade nessa obra.

Todo o conteúdo apresentado neste livro é de responsabilidade do(s) autor(es).

Esta publicação está licenciada sob [CC BY-NC-ND 4.0](#)

Esta obra foi publicada pela **Editora Itacaiúnas** em abril de 2025.



SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	7
FUNGOS ENTOMOPATOGÊNICOS E SEU PAPEL NA SUSTENTABILIDADE DO AGROECOSSISTEMA	8
João Manoel da Silva, Viviane Araújo Dalbon, Yamina Coentro Montaldo, Tania Marta Carvalho dos Santos, Paula Cibelly Vilela da Silva, Elizabeth Simões do Amaral Alves, Tayron Souza Amaral	
ACTINOBACTÉRIAS COMO FERRAMENTAS SUSTENTÁVEIS PARA A AGRICULTURA E O MEIO AMBIENTE	16
Paula Cibelly Vilela da Silva, João Manoel da Silva, Yamina Coentro Montaldo, Tathiane Mendonça da Silva, Maria Eduarda Lino da Costa, Heberth Gustavo Ferreira Alves, Tania Marta Carvalho dos Santos	
CONDICIONAMENTO DE SEMENTES DE <i>Hylocereus costaricensis</i> COMO ATENUANTE DO ESTRESSE SALINO NA GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO INICIAL	24
Vitória Cristina dos Santos Ribeiro, Micaela Benigna Pereira, Antônio Carlos de Sena Rodrigues, Renata Nunes da Costa, Raquel Ferreira dos Santos, Daiane Mirian Tomaz da Silva Lima, Kilson Pinheiro Lopes	
PRÉ-EXPOSIÇÃO AO PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO NA TOLERÂNCIA DE MUDAS DE GOIABEIRA AO ESTRESSE SALINO	31
Antônio Carlos de Sena Rodrigues, Micaela Benigna Pereira, Kilson Pinheiro Lopes, Erika Caminha Almeida, Vitória Cristina dos Santos Ribeiro, Rafael Gonçalves da Silva, Railene Hérica Carlos Rocha Araújo	
INSUMOS ORGÂNICOS NA HORTICULTURA: VIABILIDADE TÉCNICA E SUSTENTABILIDADE	38
Micaela Benigna Pereira, Reynaldo Teodoro de Fatima, Kaline Dantas Travassos, Mateus Gonçalves Silva, Anderson Bruno Anacleto de Andrade, Alesia Alves de Sousa, Maria Amanda Guedes	
USO DE INSUMOS ORGÂNICOS NA AGRICULTURA FAMILIAR DE BASE AGROECOLÓGICA	46
Micaela Benigna Pereira, Reynaldo Teodoro de Fatima, Kaline Dantas Travassos, Mateus Gonçalves Silva, Anderson Bruno Anacleto de Andrade, Maria Amanda Guedes, Alesia Alves de Sousa	
USO E MANEJO DE BIOINSUMOS PARA AGRICULTURA	53
João Manoel da Silva, Yamina Coentro Montaldo, Tania Marta Carvalho dos Santos, Regla Toujaguez, Paula Cibelly Vilela da Silva, Rafael dos Santos Balbino, Augusto Araújo Santos	
AGRICULTURA REGENERATIVA: BENEFÍCIOS E DESAFIOS	61
Fernando Martins Brito, Maria Aparecida da Silva Damasio, Kilson Pinheiro Lopes, Micaela Benigna Pereira, Maria Lacey Vitorino de Sousa, Maria Laisy Vitorino de Sousa e Renata Nunes da Costa	

AGRICULTURA DE BAIXO CARBONO NO BRASIL: DESAFIOS E PERSPECTIVAS	68
Maria Lacey Vitorino de Sousa, Maria Laisa Vitorino de Sousa, Kilson Pinheiro Lopes, Micaela Benigna Pereira, Maria Aparecida da Silva Damásio, Fernando Martins Brito e Caio Cardoso de Araújo	
TORTA DE FILTRO: ENRIQUECENDO OS CANAVIAIS DA PARAÍBA	76
Edson Antonio de Moraes Pinho e Souza, João Henrique Barbosa da Silva, Joseane da Silva Ferreira, Luiz Henrique Guedes Sousa, Lian Rodrigo Torres Cavalcante, Aline Amanda da Silva Lima, Leonardo Marques Martins, Pedro Ian Maia Santana, Givanilson Rosa da Silva	
DESAFIOS DO CULTIVO DE BANANEIRA NO SEMIÁRIDO NORDESTE FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	83
Micaela Benigna Pereira, Reynaldo Teodoro de Fatima, Alesia Alves de Sousa, Maria Amanda Guedes, Anderson Bruno Anacleto de Andrade, Mateus Gonçalves Silva, Kaline Dantas Travassos	
DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO E SEUS IMPACTOS	91
Caio Cardoso de Araújo, Levy Nithack Cardoso Bezerra, Kilson Pinheiro Lopes, Micaela Benigna Pereira, Antônio Ruan Furtado Júnior, José Antônio da Costa Moura e Francisco Miguel de Oliveira Campos	
IMPORTÂNCIA E CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DA CULTURA DA PITAYA: UMA REVISÃO	98
Maria Luana Oliveira Silva, Francisca Pereira da Silva, Valéria Fernandes de Oliveira Sousa, Vitória Cristina dos Santos Ribeiro	
MARACUJÁ-AZEDO NO BRASIL: UMA ANÁLISE INTEGRADA DOS DESAFIOS AGRONÔMICOS, ECONÔMICOS E AMBIENTAIS	107
Micaela Benigna Pereira, Reynaldo Teodoro de Fatima, Anderson Bruno Anacleto de Andrade, Alesia Alves de Sousa, Maria Amanda Guedes, Kaline Dantas Travassos, Mateus Gonçalves Silva	
CANA-DE-AÇÚCAR: ESTRATÉGIAS PARA O AUMENTO PRODUTIVO NO ESTADO DA PARAÍBA	114
Joseane da Silva Ferreira, João Henrique Barbosa da Silva, Luiz Henrique Guedes Sousa, Lian Rodrigo Torres Cavalcante, Aline Amanda da Silva Lima, Leonardo Marques Martins, Pedro Ian Maia Santana, Edson Antonio de Moraes Pinho e Souza, Thaynah Rodrigues da Silva	
DANOS DA LAGARTA-DO-CARTUCHO (<i>Spodoptera frugiperda</i>) EM PLANTAS DE MILHO: UMA REVISÃO	120
Aline Amanda da Silva Lima, João Henrique Barbosa da Silva, Joseane da Silva Ferreira, Luiz Henrique Guedes Sousa, Lian Rodrigo Torres Cavalcante, Leonardo Marques Martins, Pedro Ian Maia Santana, Edson Antonio de Moraes Pinho e Souza, Luis Karlos Pereira da Silva	
USO DE DRONES NA AGRICULTURA: UMA REVISÃO	126
Lian Rodrigo Torres Cavalcante, João Henrique Barbosa da Silva, Joseane da Silva Ferreira, Luiz Henrique Guedes Sousa, Leonardo Marques Martins, Pedro Ian Maia Santana, Edson Antonio de Moraes Pinho e Souza, Aline Amanda da Silva Lima, Thaynah Rodrigues da Silva	
AGROTÓXICOS: OS RISCOS INVISÍVEIS NA NOSSA SAÚDE E NO MEIO AMBIENTE	132
Antônio Ruan Furtado Júnior, José Antônio da Costa Moura, Kilson Pinheiro Lopes, Micaela Benigna Pereira, Levy Nithack Cardoso Bezerra, Francisco Miguel de Oliveira Campos e Renata Nunes da Costa	
QUALIDADE DO LEITE E SEGURANÇA ALIMENTAR: REFLEXÕES SOBRE O DIPPING SUSTENTÁVEL NA SANIDADE DO ÚBERE	140
Elizabeth Simões do Amaral Alves, João Manoel da Silva, Elizabeth Sampaio de Medeiros	

**ANÁLISE DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM GARANHUNS - PE:
UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA EM CONFORMIDADE COM A POLÍTICA
NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS..... 148**

Carla Renata da Silva Xavier, José Robson Alves Ferreira da Silva, Taize Calvacante Santana,
Glaudemir Santos Leite, Aymê Fernanda de Almeida Melo de Lima, Ricardo Brauer Vigoderis,
Edivan Rodrigues da Silva

**GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM EMPREENDIMENTOS
URBANOS COM O USO DE MODELAGEM..... 157**

Glaudemir Santos Leite, Ricardo Brauer Vigoderis, Aymê Fernanda de Almeida Melo de Lima,
José Robson Alves Ferreira da Silva, Taize Calvacante Santana, Santana, Edivan Rodrigues da
Silva, Werônica Meira de Souza

**POTENCIAL HIDROLÓGICO SUSTENTÁVEL DOS TELHADOS VERDES EM
AMBIENTES URBANOS 164**

Taize Calvacante Santana, Cristiane Guiselini, Ricardo Brauer Vigoderis, Nicolay Farias Gomes,
Aymê Fernanda de Almeida Melo de Lima, José Robson Alves Ferreira da Silva, Glaudemir
Santos Leite

ORGANIZADORES..... 172

APRESENTAÇÃO

*É com grande entusiasmo que apresentamos o eBook **Sustentabilidade e Inovação: Abordagens Interdisciplinares nas Ciências Agrárias e Ambientais**, uma obra que reúne uma série de reflexões e estudos sobre alguns dos desafios e as soluções que emergem no campo das ciências agrárias e ambientais. Com a contribuição de pesquisadores de diferentes áreas, o objetivo desta obra é apresentar um panorama das práticas e inovações que estão sendo desenvolvidas para tornar mais eficientes e sustentáveis os sistemas agrícolas e ambientais.*

A obra é composta por 22 capítulos que abordam questões atuais, como o uso de tecnologias na agricultura, as estratégias para aumentar a produtividade de culturas como a cana-de-açúcar e o milho, e as alternativas sustentáveis para o manejo de resíduos e o controle de pragas. Também são discutidos temas relacionados à agricultura regenerativa, o impacto das mudanças climáticas e os desafios da agricultura no semiárido, entre outros.

A proposta deste livro é oferecer uma visão abrangente e técnica sobre diversos temas que conectam o setor agrícola com a sustentabilidade ambiental, destacando a importância da inovação para a gestão mais eficiente dos recursos naturais e para a redução dos impactos negativos no meio ambiente.

Acreditamos que as abordagens apresentadas ao longo dos capítulos podem servir como base para profissionais, acadêmicos e estudantes que buscam um entendimento mais profundo sobre as interações entre as ciências agrárias e ambientais e suas implicações para o futuro.

Agradecemos a todos os autores que, com seu conhecimento e dedicação, tornaram este projeto possível. Esperamos que este livro incentive mais pesquisas, novas ideias e, acima de tudo, contribua para o desenvolvimento de práticas mais equilibradas e sustentáveis.

Boa leitura!

Os organizadores

FUNGOS ENTOMOPATOGÊNICOS E SEU PAPEL NA SUSTENTABILIDADE DO AGROECOSSISTEMA

João Manoel da Silva¹, Viviane Araújo Dalbon², Yamina Coentro Montaldo, Tania Marta Carvalho dos Santos³, Paula Cibelly Vilela da Silva⁴, Elizabeth Simões do Amaral Alves⁵, Tayron Souza Amaral⁶

¹*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas – IFAL/Campus Santana do Ipanema, Santana do Ipanema-AL, e-mail: agrobio.jm@gmail.com*

²*Universidad de Córdoba – Montería*

³*Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas – CECA-UFAL, Rio Largo – AL*

⁴*Rede Nordeste de Biotecnologia, Instituto de Química e Biotecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió-AL - RENORBIO-IQB-UFAL*

⁵*Universidade Federal Rural de Pernambuco, Sede – UFRPE, Recife-PE*

⁶*Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica Serra Talhada – UFRPE-UAST, Serra Talhada-PE*

RESUMO

Os fungos entomopatogênicos (FEPs) vêm ganhando destaque na agricultura sustentável como agentes biológicos eficientes no controle de insetos-praga. Sua capacidade de infectar e eliminar insetos de forma específica e ambientalmente segura os torna aliados estratégicos na substituição de pesticidas sintéticos. Entre os principais gêneros utilizados estão *Beauveria*, *Metarhizium*, *Isaria* e *Lecanicillium*, cujos mecanismos de infecção envolvem a penetração na cutícula dos insetos, produção de enzimas e toxinas, culminando na morte do hospedeiro. Além de sua ação letal, os FEPs podem atuar como endófitos, colonizando tecidos vegetais e promovendo benefícios como indução de resistência, aumento da tolerância ao estresse e estímulo ao crescimento. Tais características ampliam sua funcionalidade no agroecossistema, contribuindo para a ciclagem de nutrientes, a promoção da biodiversidade e o equilíbrio ecológico. No manejo integrado de pragas, sua aplicação é viável em diferentes sistemas produtivos, especialmente os orgânicos, e sua eficácia pode ser potencializada com formulações avançadas. Contudo, persistem desafios à sua ampla adoção, como sensibilidade a fatores abióticos, dificuldades na produção em larga escala e resistência de parte dos agricultores. Apesar disso, as perspectivas futuras indicam uma crescente integração dos FEPs à agricultura moderna, especialmente com o apoio da biotecnologia, da educação rural e de políticas públicas voltadas à agroecologia. Portanto, os FEPs representam uma solução multifuncional promissora, contribuindo significativamente para a sustentabilidade e a resiliência dos sistemas agrícolas contemporâneos.

PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade agrícola, Fungos filamentosos, Controle biológico

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos, aliada à necessidade de mitigar os impactos ambientais da agricultura convencional, tem impulsionado a busca por soluções sustentáveis no manejo de pragas. Dentre as alternativas ao uso intensivo de agrotóxicos, os fungos entomopatogênicos (FEPs) emergem como agentes promissores, tanto pela sua

especificidade como pelo impacto reduzido sobre organismos não-alvo e o meio ambiente (Islam et al., 2021; Panwar; Szczepaniec, 2024).

Os FEPs compreendem um grupo diverso de micro-organismos capazes de causar infecção e morte em insetos, atuando naturalmente na regulação de populações de pragas (ZHANG et al., 2024). Os gêneros mais estudados e aplicados incluem *Beauveria*, *Metarhizium*, *Isaria* e *Lecanicillium*, amplamente distribuídos nos solos agrícolas e ambientes florestais. Esses fungos penetram o tegumento dos insetos, proliferam em seus tecidos internos e culminam na morte do hospedeiro, sendo posteriormente dispersos para novos ciclos de infecção (Ahirwar; Singh, 2023).

A aplicação de FEPs como bioinseticidas insere-se no contexto da agroecologia e da agricultura sustentável, permitindo o controle efetivo de pragas com menor impacto ecológico. Ademais, avanços recentes indicam que muitos desses fungos apresentam capacidade de viver como endófitos em plantas, promovendo benefícios adicionais, como crescimento vegetal e resistência a patógenos (Aravinthraju et al., 2024; Ahsan et al., 2024).

Apesar de seu potencial, o uso em larga escala dos FEPs ainda encontra desafios relacionados à formulação, estabilidade, persistência em campo e aceitação por parte dos produtores. Este artigo tem como objetivo discutir o papel dos fungos entomopatogênicos na sustentabilidade do agroecossistema, abordando aspectos ecológicos, tecnológicos e aplicados, com base na literatura científica atual e nos estudos recentemente publicados.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Diversidade taxonômica e mecanismos de infecção

Os fungos entomopatogênicos compreendem uma ampla diversidade taxonômica, sendo representados principalmente por espécies das ordens Hypocreales e Entomophthorales. Os gêneros mais relevantes em termos de aplicação agrícola pertencem às famílias Clavicipitaceae (como *Metarhizium* e *Beauveria*) e Cordycipitaceae (como *Isaria* e *Lecanicillium*), cujas características biológicas favorecem a produção de esporos em larga escala e a manutenção da viabilidade em formulações comerciais (Singh; Singh, 2023).

A infecção por FEPs inicia-se com a adesão dos conídios à cutícula do inseto, seguida pela germinação e penetração mecânica e enzimática. A produção de enzimas como quitinases, proteases e lipases é fundamental para transpor as barreiras estruturais do hospedeiro. Após a penetração, o fungo coloniza a hemolinfa e outros tecidos internos, utilizando os recursos nutricionais do inseto e produzindo toxinas que aceleram a morte do hospedeiro (Majzoub et al., 2023).

Esse processo culmina com a esporulação na superfície do inseto morto, favorecida por condições ambientais específicas, como alta umidade relativa e temperatura moderada. A capacidade de persistência no ambiente e a rápida esporulação conferem aos FEPs um potencial significativo para o controle populacional de pragas, especialmente quando integrados a outras estratégias de manejo (Juraimi et al., 2024).

Além da ação letal, estudos têm demonstrado efeitos subletais importantes, como a redução da fecundidade, alterações comportamentais e interferência no sistema imunológico dos insetos (Rajput et al., 2024). Esses efeitos contribuem para a eficácia do

controle biológico e reforçam a importância dos FEPs como alternativa viável aos inseticidas sintéticos.

A diversidade taxonômica dos FEPs também permite sua aplicação em diferentes culturas, zonas climáticas e tipos de solo, ampliando sua aplicabilidade no contexto agrícola. Essa versatilidade, somada ao baixo impacto ambiental e à especificidade entomopatogênica, coloca esses fungos no centro das estratégias sustentáveis de controle de pragas.

2.2 Interações ecológicas e funções no agroecossistema

A atuação dos fungos entomopatogênicos nos agroecossistemas ultrapassa o papel exclusivo de controle biológico de insetos-praga. Esses micro-organismos exercem múltiplas funções ecológicas, contribuindo para o equilíbrio das cadeias tróficas, a manutenção da biodiversidade e a resiliência dos sistemas agrícolas frente a perturbações ambientais. Sua presença no solo e na rizosfera influencia diretamente a microbiota local, interagindo com bactérias, outros fungos e raízes de plantas de forma complexa e muitas vezes sinérgica (Bamisile et al., 2021).

Fungos como *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae* demonstraram habilidade em colonizar tecidos vegetais como endófitos, promovendo benefícios adicionais à planta hospedeira. Entre os efeitos observados, destacam-se o aumento da tolerância ao estresse hídrico, a indução de mecanismos de defesa sistêmica e a melhoria na absorção de nutrientes, sobretudo fósforo e nitrogênio (Juraimi et al., 2024). Tais características reforçam a integração dos FEPs em programas de manejo sustentável de culturas.

No contexto da agroecologia, os FEPs podem desempenhar papel relevante na promoção de serviços ecossistêmicos, como a supressão natural de pragas, a ciclagem de nutrientes e o fortalecimento de interações planta-micro-organismo. Sua utilização se alinha aos princípios de redução da dependência de insumos externos e valorização da biodiversidade funcional do sistema agrícola (Panwar; Szczepaniec, 2024).

Além disso, há evidências de que a presença de FEPs no solo pode modular a composição e a estrutura das comunidades de insetos, não apenas reduzindo populações de pragas, mas também contribuindo para o equilíbrio entre inimigos naturais e espécies benéficas. Esse equilíbrio é essencial para a estabilidade dos agroecossistemas, uma vez que o excesso de pragas ou o colapso de predadores pode comprometer a produtividade e a sustentabilidade agrícola (Zhang et al., 2024).

É importante considerar, contudo, que a eficácia dos FEPs e sua atuação ecológica variam conforme fatores edafoclimáticos, práticas de manejo e características da cultura. A interação com defensivos químicos, por exemplo, pode inibir o desenvolvimento fúngico ou alterar sua persistência no campo. Assim, o uso racional e contextualizado dos FEPs exige conhecimento técnico e integração com outras práticas de manejo agroecológico (Ahirwar; Singh, 2023).

Portanto, as interações ecológicas estabelecidas pelos fungos entomopatogênicos vão além da mortalidade direta de insetos, abrangendo múltiplas dimensões que fortalecem a resiliência e a sustentabilidade dos agroecossistemas. O reconhecimento dessas funções amplia o escopo de aplicação dos FEPs e evidencia seu potencial como aliados estratégicos da agricultura ambientalmente responsável.

2.3. Aplicações práticas no manejo integrado de pragas

A inserção dos fungos entomopatogênicos em programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP) representa uma estratégia promissora para reduzir a dependência de inseticidas químicos, mitigar impactos ambientais e promover uma agricultura mais resiliente. Sua aplicação prática envolve o uso de formulações comerciais contendo conídios viáveis, geralmente aplicadas por pulverização foliar, tratamento de sementes ou incorporação ao solo (Islam et al., 2021).

Dentre as espécies mais utilizadas comercialmente destacam-se *B. bassiana* e *M. anisopliae*, com eficácia comprovada contra uma ampla gama de pragas agrícolas, como mosca-branca (*Bemisia tabaci*), percevejo-marrom (*Euschistus heros*), lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*), e besouros como *Hypothenemus hampei*. Essas aplicações vêm sendo cada vez mais aceitas por produtores, especialmente em sistemas orgânicos e agroecológicos (Panwar; Szczepaniec, 2024).

A compatibilidade dos FEPs com outros agentes de controle biológico, como parasitoides e predadores naturais, é um fator positivo que amplia sua integração em sistemas de produção diversificados. Além disso, podem ser utilizados em conjunto com extratos vegetais, armadilhas e feromônios, compondo uma abordagem multifatorial de controle de pragas. Essa versatilidade reforça o papel dos FEPs como componentes centrais do MIP.

Apesar das vantagens, a eficácia dos FEPs em campo pode ser influenciada por fatores abióticos como temperatura, radiação solar e umidade relativa. Por isso, o sucesso da aplicação depende do momento adequado, do tipo de formulação e das condições ambientais no período de uso. Formulações microencapsuladas, emulsões oleosas e grânulos têm sido desenvolvidos para aumentar a estabilidade dos fungos e prolongar sua ação após a aplicação (Juraimi et al., 2024).

O monitoramento das populações de pragas e a avaliação da viabilidade dos conídios no momento da aplicação são práticas fundamentais para garantir resultados positivos. Ensaios de campo e estudos regionais também são necessários para adaptar as estratégias de uso à realidade local, considerando a diversidade de culturas e de pragas-alvo.

Portanto, as aplicações práticas dos fungos entomopatogênicos no manejo integrado de pragas demonstram viabilidade técnica e ambiental, com potencial para reduzir custos, preservar inimigos naturais e minimizar os efeitos colaterais associados aos inseticidas sintéticos. A adoção crescente dessas biotecnologias no campo sinaliza um avanço significativo rumo a sistemas agrícolas mais sustentáveis e saudáveis.

2.4. Fungos entomopatogênicos endofíticos: funções e benefícios

Os fungos entomopatogênicos endofíticos representam uma vertente inovadora no uso desses micro-organismos na agricultura. A capacidade de certos FEPs de colonizarem tecidos internos das plantas, sem causar danos, amplia significativamente sua aplicabilidade, ao permitir uma atuação multifuncional que transcende o controle de pragas. Nessa condição, os fungos podem interagir diretamente com os mecanismos fisiológicos da planta, promovendo crescimento, resistência e eficiência no uso de recursos (Ahsan et al., 2024).

Estudos recentes demonstram que espécies como *B. bassiana* e *M. anisopliae*, quando estabelecidas como endófitas, contribuem para o desenvolvimento vegetal ao induzir o acúmulo de compostos antioxidantes, aumentar a produção de hormônios de crescimento, melhorar a captação de nutrientes e modular a expressão gênica relacionada ao estresse biótico e abiótico (Aravinthraju et al., 2024). Essas interações fortalecem a resiliência das plantas frente a condições ambientais adversas, como seca, salinidade e ataque de patógenos.

Além disso, a presença endofítica dos FEPs permite um controle mais duradouro e localizado de pragas. Ao colonizarem os tecidos vegetais, esses fungos podem agir de forma preventiva, eliminando insetos que se alimentam das partes colonizadas. Isso reduz a necessidade de aplicações externas e favorece a proteção de partes mais vulneráveis da planta, como brotações e órgãos reprodutivos. A ação endofítica também contribui para a redução da exposição do ambiente e de organismos não-alvo aos esporos aplicados (Panwar; Szczepaniec, 2024).

O uso de FEPs como endófitos é especialmente promissor em culturas de alto valor agregado e em sistemas orgânicos, onde o controle químico é limitado. Em hortaliças, frutíferas e plantas ornamentais, a aplicação de FEPs via sementes, imersão de mudas ou pulverização dirigida às raízes tem se mostrado eficaz na indução da colonização endofítica e na proteção contra pragas específicas (Zhang et al., 2024).

Entretanto, a colonização endofítica depende de múltiplos fatores, incluindo a compatibilidade entre o fungo e a espécie vegetal, as condições ambientais, a técnica de inoculação e o manejo agrônomo. Por isso, são necessários estudos aprofundados sobre os mecanismos moleculares envolvidos nessa interação e sobre a persistência dos FEPs endofíticos ao longo do ciclo da cultura.

Assim, os fungos entomopatogênicos endofíticos apresentam um grande potencial para transformar o manejo integrado de culturas, ao unirem ações de proteção, promoção de crescimento e sustentabilidade. Essa multifuncionalidade coloca os FEPs no centro das biotecnologias emergentes para uma agricultura de base ecológica e de alto desempenho.

2.5. Limitações e desafios no uso em larga escala

Apesar do reconhecido potencial dos fungos entomopatogênicos no controle biológico de pragas, a adoção generalizada dessa tecnologia ainda enfrenta uma série de limitações técnicas, ecológicas e socioeconômicas. Uma das principais barreiras é a variabilidade na eficácia dos FEPs em condições de campo, frequentemente associada à influência de fatores ambientais como temperatura, radiação solar, umidade relativa e pH do solo (Islam et al., 2021).

A sensibilidade dos conídios à radiação ultravioleta e às variações térmicas limita sua persistência no ambiente e reduz sua capacidade de colonização eficiente dos insetos. Esse problema tem sido parcialmente contornado com o desenvolvimento de formulações mais estáveis, como microencapsulados, grânulos poliméricos e emulsões oleosas, que aumentam a proteção dos esporos. No entanto, tais tecnologias elevam os custos de produção e podem tornar o produto final menos acessível a pequenos produtores (Juraimi et al., 2024).

Outro desafio é a produção em larga escala de conídios com alta viabilidade e estabilidade. A escolha do substrato, as condições de fermentação e o processo de secagem influenciam diretamente a qualidade do produto final. Além disso, a ausência de

padrões regulatórios amplamente harmonizados entre países dificulta a comercialização internacional e a padronização das práticas de aplicação dos FEPs.

A aceitação por parte dos agricultores também representa um entrave. Muitos produtores ainda demonstram resistência ao uso de agentes biológicos, seja pela menor velocidade de ação dos FEPs em comparação aos inseticidas químicos, seja pela falta de conhecimento técnico sobre as condições ideais de uso. Campanhas de extensão rural, capacitação e demonstrações de campo são essenciais para promover a adoção dessa tecnologia (Ahirwar; Singh, 2023).

Do ponto de vista ecológico, embora os FEPs sejam considerados seletivos, há necessidade de mais estudos sobre seus efeitos não intencionais em organismos não-alvo, incluindo polinizadores, micro-organismos do solo e espécies benéficas de insetos. A manutenção do equilíbrio ecológico deve ser prioridade em qualquer abordagem de manejo biológico, exigindo monitoramento contínuo e protocolos de biossegurança adaptados às diferentes realidades agrícolas.

Por fim, a integração dos FEPs com outras tecnologias de manejo sustentável exige um esforço multidisciplinar e políticas públicas que incentivem a pesquisa, o desenvolvimento e a adoção de soluções baseadas na natureza. Superar esses desafios é fundamental para consolidar os fungos entomopatogênicos como ferramentas viáveis e acessíveis para a agricultura do futuro.

2.6. Perspectivas futuras para a agricultura sustentável

À medida que se intensificam os desafios globais relacionados à segurança alimentar, mudanças climáticas e degradação ambiental, os fungos entomopatogênicos surgem como elementos-chave na construção de sistemas agrícolas mais sustentáveis, resilientes e baseados na biodiversidade. O futuro do uso desses micro-organismos está atrelado ao avanço das pesquisas científicas, ao desenvolvimento de tecnologias de aplicação mais eficazes e ao fortalecimento de políticas públicas que estimulem práticas agroecológicas.

O aprofundamento das investigações sobre as interações moleculares entre FEPs, plantas e insetos podem revelar novos mecanismos de ação, expandindo sua aplicação para além do controle de pragas. A engenharia genética, por exemplo, poderá permitir o aprimoramento de linhagens fúngicas com maior virulência, persistência e especificidade, ao mesmo tempo em que se preserva a segurança ambiental. Essas abordagens, contudo, devem ser acompanhadas de rigorosos protocolos de avaliação de risco e biossegurança.

O avanço das formulações biotecnológicas, com uso de nanotecnologia e biomateriais, também tende a ampliar a viabilidade técnica e econômica dos FEPs, tornando-os mais competitivos em relação aos produtos químicos. Além disso, o uso de consórcios microbianos — combinando FEPs com bactérias promotoras de crescimento, micorrizas e outros agentes benéficos — poderá maximizar os efeitos positivos sobre as plantas e o solo, contribuindo para uma abordagem holística do manejo agroecológico.

No campo da extensão rural e da educação agrícola, é fundamental capacitar técnicos e agricultores para o uso correto e eficiente dos FEPs, considerando as particularidades regionais e culturais. A popularização dessa tecnologia passa pelo diálogo entre ciência e prática, integrando saberes locais e conhecimentos técnicos. Iniciativas de agricultura familiar, cooperativas agroecológicas e programas de incentivo à produção orgânica podem se beneficiar amplamente dessa ferramenta.

Por fim, a valorização dos FEPs deve estar inserida em políticas públicas amplas de transição agroecológica, incentivo à pesquisa em controle biológico e fomento à bioeconomia. A construção de cadeias produtivas sustentáveis para produtos biológicos, com certificações e canais de distribuição acessíveis, será decisiva para consolidar o papel desses fungos como protagonistas na agricultura do século XXI.

Assim, as perspectivas futuras apontam para uma crescente integração dos fungos entomopatogênicos nos sistemas agrícolas, não apenas como bioinseticidas, mas como catalisadores de um modelo produtivo mais equilibrado, sustentável e sintonizado com os princípios da ecologia e da saúde pública.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os fungos entomopatogênicos representam uma solução promissora para os desafios da agricultura contemporânea, oferecendo alternativas biológicas eficazes, ambientalmente seguras e alinhadas com os princípios da sustentabilidade. Sua atuação vai além da mortalidade de insetos-praga, alcançando funções ecossistêmicas mais amplas, como promoção do crescimento vegetal, proteção endofítica, regulação da biodiversidade e integração com práticas agroecológicas.

Ao longo deste artigo, foi possível evidenciar que, embora ainda existam obstáculos a serem superados — como a variabilidade de eficácia em campo, limitações tecnológicas e desafios na aceitação por parte dos produtores —, os avanços científicos e tecnológicos na área vêm consolidando os FEPs como componentes centrais no manejo integrado de pragas e na transição para modelos agrícolas mais resilientes e regenerativos.

A adoção mais ampla dos FEPs depende do fortalecimento de políticas públicas voltadas à pesquisa, ao desenvolvimento tecnológico e à educação agrícola. Também se mostra essencial promover ações intersetoriais entre universidades, instituições públicas, cooperativas e agricultores, a fim de criar ambientes propícios à inovação e ao compartilhamento de saberes.

O papel dos fungos entomopatogênicos na sustentabilidade do agroecossistema está, portanto, diretamente ligado à sua capacidade de promover equilíbrio ecológico e de substituir, com eficiência, os insumos sintéticos que historicamente causam impactos adversos à saúde humana e ambiental. A valorização de sua multifuncionalidade e a integração com outras soluções biotecnológicas representam uma das estratégias mais promissoras para o futuro da agricultura.

Assim, conclui-se que os FEPs não devem ser vistos apenas como ferramentas de controle biológico, mas como agentes ativos na construção de sistemas agroalimentares mais saudáveis, equilibrados e sustentáveis. Seu uso racional e científico é um passo fundamental rumo a um modelo agrícola que respeita os ciclos naturais e valoriza a vida em todas as suas formas.

REFERÊNCIAS

AHIRWAR, R.; SINGH, A. K. Fungal-based biocontrol of insect pests in agriculture. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 55, 102830, 2023.

AHSAN, M. M. et al. Entomopathogenic fungi-induced systemic resistance and their role in sustainable agriculture. **Journal of Fungi**, v. 10, n. 7, p. 865, 2024.

ARAVINTHRAJU, R. et al. Engineering endophytic fungi for enhanced plant protection and growth promotion: recent advancements. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 108, p. 287–302, 2024.

BAMISILE, B. S. et al. Entomopathogenic fungi as effective biological control agents of insect pests: progress, challenges and insights for future implementation. **Microorganisms**, v. 9, n. 11, p. 2216, 2021.

ISLAM, M. T. et al. Assessing the safety and efficiency of entomopathogenic fungi as bioinsecticides: a brief review. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, v. 15, 100428, 2021.

JURAIMI, N. S. et al. Endophytic colonization and insecticidal efficacy of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* in crop protection. **Plants**, v. 13, n. 7, p. 1420, 2024.

MAJZOUB, M. E. et al. Entomopathogenic fungi and their insect hosts: cross-talk between immunity and behavior. **Current Research in Insect Science**, v. 5, p. 100114, 2023.

PANWAR, S.; SZCZEPANIEC, A. Endophytic entomopathogenic fungi as biological control agents of insect pests. **Pest Management Science**, v. 80, p. 1276–1287, 2024.

RAJPUT, A. A. et al. Insect-fungal interactions: immunological perspectives and biocontrol potential. **Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences**, v. 88, n. 4, p. 1061–1071, 2023.

SINGH, V.; SINGH, P. Application of entomopathogenic fungi in agriculture and pest management. **Plants**, v. 10, n. 10, p. 2119, 2021.

ZHANG, J. et al. Relevance of entomopathogenic fungi in soil–plant systems. **Plant and Soil**, v. 490, p. 489–510, 2024.

ACTINOBACTÉRIAS COMO FERRAMENTAS SUSTENTÁVEIS PARA A AGRICULTURA E O MEIO AMBIENTE

Paula Cibelly Vilela da Silva¹, João Manoel da Silva², Yamina Coentro Montaldo³,
Tathiane Mendonça da Silva³, Maria Eduarda Lino da Costa³, Heberth Gustavo Ferreira
Alves³, Tania Marta Carvalho dos Santos³

¹Renorbio – Rede Nordeste de Biotecnologia/ Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió, AL, e-mail: paulacibelly17@gmail.com

²Instituto Federal de Alagoas – IFAL, Santana do Ipanema-AL

³Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Rio Largo-AL

RESUMO

Este capítulo teve como objetivo revisar o potencial das actinobactérias como ferramentas sustentáveis aplicadas à agricultura e ao meio ambiente. O estudo consistiu em uma revisão sistemática da literatura, baseada na análise de artigos científicos publicados nos últimos dez anos, obtidos em bases como PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar e ScienceDirect. Os critérios de seleção priorizaram trabalhos com evidências experimentais sobre as funções agrônômicas e ecológicas das actinobactérias. Os resultados demonstram que essas bactérias promovem o crescimento vegetal por meio da produção de fitohormônios, fixação biológica de nitrogênio e solubilização de nutrientes como fósforo e potássio. Também apresentam atividade antimicrobiana, controlando patógenos por meio da produção de metabólitos bioativos e indução de resistência sistêmica em plantas. No âmbito ambiental, destacam-se por sua capacidade de degradar pesticidas, hidrocarbonetos e metais pesados, com aplicação promissora em estratégias de biorremediação e regeneração de solos contaminados. A discussão também abordou os desafios atuais, como a necessidade de avanços tecnológicos para produção industrial de bioinoculantes, aplicação de técnicas multi-ômicas para aprimoramento genético e a importância de políticas públicas que favoreçam sua adoção. Conclui-se que as actinobactérias representam alternativas viáveis à agricultura química convencional e ao manejo de áreas degradadas, reunindo potencial biotecnológico para a construção de sistemas agroambientais mais sustentáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Bioinoculantes, microbiota do solo, tecnologia ambiental.

1. INTRODUÇÃO

A intensificação do uso de insumos químicos tem gerado impactos negativos nos sistemas agrícolas e ambientais, estimulando a busca por alternativas sustentáveis baseadas na biotecnologia (Boubekri et al., 2022). Nesse cenário, as actinobactérias, amplamente distribuídas em diversos ecossistemas, ganham destaque pela produção de metabólitos bioativos aplicáveis à promoção do crescimento vegetal, biocontrole de fitopatógenos e remediação ambiental (Ebrahimi-Zarandi et al., 2022).

Esses microrganismos são considerados promissores para a agricultura sustentável e a proteção ambiental por suas múltiplas funções, incluindo a solubilização de nutrientes, produção de fitohormônios, inibição de patógenos e degradação de poluentes. Seu uso

pode reduzir a dependência de fertilizantes e pesticidas sintéticos, além de contribuir para a recuperação de solos contaminados (Ebrahimi-Zarandi et al., 2022).

Assim, este trabalho tem como objetivo revisar o potencial das actinobactérias como ferramentas sustentáveis na agricultura e no meio ambiente, abordando suas aplicações como biofertilizantes, agentes de biocontrole e organismos aplicáveis à remediação de poluentes. Adicionalmente, discute os principais desafios e perspectivas para sua adoção em larga escala no contexto da biotecnologia agroambiental.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo fundamentou-se em uma revisão de literatura voltada ao potencial das actinobactérias na agricultura e no meio ambiente. Foram consultadas bases científicas como PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar e ScienceDirect, utilizando-se os descritores: actinobactérias, biocontrole, biofertilizantes, biorremediação e sustentabilidade agrícola. A seleção abrangeu artigos dos últimos cinco anos, com ênfase em estudos revisados por pares e que apresentassem aplicações biotecnológicas das actinobactérias. Trabalhos anteriores a esse período foram considerados quando relevantes para o embasamento teórico.

Foram incluídos artigos com dados experimentais envolvendo contextos agrícolas e ambientais, abrangendo revisões, ensaios laboratoriais e estudos de campo. Excluíram-se publicações sem metodologia definida ou sem resultados aplicáveis. As informações foram organizadas em três categorias temáticas: biofertilizantes, biocontrole de patógenos e biorremediação ambiental. A análise qualitativa priorizou a identificação de avanços científicos e tecnológicos no uso de actinobactérias. O estudo foi conduzido no âmbito da biotecnologia agrícola e ambiental, com foco em práticas sustentáveis de cultivo e recuperação de solos contaminados. Casos de sucesso foram examinados para avaliar a viabilidade dessas bactérias como alternativas sustentáveis.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos a partir desta revisão evidencia a versatilidade funcional das actinobactérias no contexto agroambiental. Estudos abaixo citados demonstram que esses microrganismos possuem notável capacidade de promover o crescimento vegetal por meio da produção de fitormônios e da solubilização de nutrientes essenciais. Além disso, destacam-se na mitigação de doenças agrícolas ao inibirem patógenos por meio da síntese de metabólitos antimicrobianos.

3.1 Biofertilizantes e Promoção do Crescimento Vegetal

As actinobactérias promovem o crescimento vegetal por meio da produção de fitohormônios, como auxinas, citocininas e giberelinas (Ebrahimi-Zarandi et al., 2022). Também exercem papel relevante na fixação biológica de nitrogênio e na solubilização de fósforo e potássio, aumentando a disponibilidade de nutrientes e reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos (Narsing Rao et al., 2022). Seu uso como biofertilizantes tem refletido em ganhos produtivos, especialmente pela capacidade de

melhorar a estrutura do solo e favorecer o desenvolvimento radicular, com reflexos na tolerância a estresses como seca e salinidade (Ebrahimi-Zarandi et al., 2022; Boubekri et al., 2022).

Dentre os principais mecanismos agronômicos, destaca-se a produção de ácido indolacético (AIA), giberelinas e citocininas. Espécies como *Streptomyces*, *Actinomadura*, *Nocardia* e *Nonomuraea* atuam positivamente em diversas culturas, estimulando o crescimento vegetativo (Kaari et al., 2023). Essas bactérias também solubilizam fósforo e potássio por meio da secreção de ácidos orgânicos (lático, oxálico, cítrico, 2-cetoglucônico) e sideróforos. *Micromonospora endolithica* demonstrou eficácia tanto na solubilização de rochas fosfatadas quanto na colonização radicular. *Arthrobacter* e *Streptomyces griseorubens* também apresentaram alto desempenho na liberação de potássio de minerais como mica e feldspato (Boubekri et al., 2022).

Na fixação biológica de nitrogênio, *Frankia* forma simbioses com plantas actinorrízicas, enquanto *Streptomyces* age como diazotrófica de vida livre, com genes nif identificados. Parcerias com rizóbios ampliam esse potencial (Kaari et al., 2023). Por fim, cepas produtoras de ACC desaminase e AIA, como *Nocardia* e *Streptomyces filipinensis*, conferem maior tolerância das plantas a estresses salinos e hídricos, reforçando seu uso na agricultura resiliente (Kaari et al., 2023).

Na Tabela 1 estão listadas actinobactérias promotoras do crescimento vegetal, seus hospedeiros e atributos biológicos. Os dados evidenciam o potencial desses microrganismos na melhoria da absorção de nutrientes e na indução de resistência vegetal a estresses ambientais.

Tabela 1. Actinobactérias promotoras do crescimento vegetal, seus hospedeiros e atributos biológicos.

Actinobactérias	Hospedeiros	Atributos	Referências
<i>Streptomyces sp.</i> LH4	Pepino	Solubilização de P; produção de celulase, protease e regulação de fitohormônios (ácido jasmônico e salicílico)	(Mun et al., 2020)
<i>Arthrobacter arilaitensis</i> MG547869, <i>Streptomyces pseudovenezuelae</i> MG547870	Milho	Produção de IAA, sideróforos, ACC desaminase, HCN, amônia e solubilização de fosfato	(Chukwuneme et al., 2020)
<i>Streptomyces sp.</i> KPS-E004 e KPS-A032	Pimenta	Produção de AIA, sideróforos e solubilização de P	(Nimnoi & ruanpanun, 2020)
<i>Streptomyces palmae</i> PC12	Arroz	Produção de HCN, sideróforos e enzimas hidrolíticas	(Chaiharn et al., 2020)
<i>Streptomyces</i> MG788011, MG788012	Fava	Promoção de crescimento e controle de doença	(El-Shatoury et al., 2020)
<i>Streptomyces pactum</i> Act12	Trigo	Produção de ácido abscísico	(Li et al., 2020)

<i>Streptomyces spp.</i> and <i>Nocardia sp.</i>	Tomate	Atividade ACC	(Sánchez-purihuamán et al., 2023)
<i>Streptomyces sp.</i> KLBMP5084	Tomate	Inibe a diminuição da relação K ⁺ /Na ⁺ e o aumento do conteúdo de malondialdeído, aumento de prolina e antioxidantes	(Gong et al., 2020)
<i>Nocardioides sp.</i> NIMMe6	Trigo	Produção de IAA	(Meena et al., 2020)
<i>Streptomyces pseudovenezuelae,</i> <i>Arthrobacter arilaitensis</i>	Milho	Produção de IAA e ACCd	(Chukwuneme et al., 2020)
<i>Streptomyces sp.</i> Ac3	Milho	Flavonoide antioxidante, fitohormônio, sideróforo	(Warrad et al., 2020)

Fonte: Autora (2025)

3.2 Biocontrole de Patógenos

O controle biológico com actinobactérias representa uma estratégia sustentável no manejo de patógenos e pragas agrícolas. Essas bactérias produzem compostos antimicrobianos eficazes contra fungos, bactérias e nematoides fitopatogênicos (Giacomelli et al., 2024). Dentre seus metabólitos, destacam-se antibióticos naturais sintetizados por *Streptomyces*, eficazes contra patógenos de solo como *Fusarium*, *Rhizoctonia* e *Pythium* — agentes comuns de doenças radiculares (Sharma et al., 2020).

Além da ação direta, muitas actinobactérias produzem compostos voláteis, sideróforos e enzimas hidrolíticas (ex. quitinases e proteases), além de moléculas que induzem resistência sistêmica (ISR) por rotas de ácido salicílico, jasmônico e etileno, fortalecendo a imunidade da planta mesmo sem contato direto com o patógeno (Ebrahimi-Zarandi et al., 2022).

Diversos estudos de caso ilustram essa eficácia. *Streptomyces padanus* AOK-30 induziu lignificação e acúmulo de calose em *Kalmia latifolia*, fortalecendo barreiras contra infecção, *Streptomyces chartreusis* WZS021, isolada de cana-de-açúcar, revelou genes associados à produção de sideróforos, ACC desaminase e resistência ao estresse oxidativo, *Streptomyces sp.* Ac3 controlou doenças em milho via compostos antioxidantes e antifúngicos (Warrad et al., 2020). Já *S. pseudovenezuelae* e *Arthrobacter arilaitensis* combinaram biocontrole com produção de AIA, ACC desaminase e solubilização de fosfato (Chukwuneme et al., 2020).

Assim, as actinobactérias atuam como agentes antimicrobianos e imunológicos, contribuindo para sistemas agrícolas mais sustentáveis com menor uso de químicos.

3.3 Biorremediação e Sustentabilidade Ambiental

A biorremediação é uma estratégia promissora para mitigar a contaminação ambiental por metais pesados, pesticidas e hidrocarbonetos. Esse processo baseia-se no uso de microrganismos, como bactérias e fungos, capazes de degradar, transformar ou

remover compostos xenobióticos, promovendo a recuperação de áreas degradadas (Hamdan et al, 2021). Nesse cenário, as actinobactérias destacam-se por sua versatilidade metabólica, produção de enzimas degradativas e adaptação a ambientes hostis.

Espécies dos gêneros *Rhodococcus*, *Streptomyces*, *Nocardia*, *Frankia* e *Arthrobacter* demonstraram eficiência na degradação de compostos tóxicos e na remoção de metais como Cd^{2+} , Pb^{2+} , Cr^{6+} , Ni^{2+} e Cu^{2+} . Um exemplo é *Streptomyces rochei* ANH, que removeu metais de efluentes industriais e favoreceu a germinação de sementes de *Lepidium sativum* com 90% de sucesso (Hamdan et al, 2021).

No que se refere a pesticidas, *Arthrobacter sp.* AK-YN10 degrada atrazina em 24h, convertendo-a em ácido cianúrico, enquanto *Rhodococcus erythropolis* CX-1 metaboliza carbendazim como única fonte de carbono (Long et al., 2020). Para hidrocarbonetos, actinobactérias como *Streptomyces*, *Rhodococcus*, *Gordonia* e *Micrococcus* degradam naftaleno, fenantreno e fluoranteno, auxiliadas pela produção de biossurfactantes (Behera et al, 2023).

Tecnologias como a imobilização celular aumentam a eficiência dessas bactérias em biorreatores ou solos de difícil acesso (Saez et al, 2025). Essas evidências reforçam o papel das actinobactérias como agentes-chave em tecnologias de remediação ambiental. Sua implementação em estratégias de bioaumento, fitorremediação e uso de biossurfactantes representa uma abordagem inovadora e ecologicamente viável para a descontaminação de ambientes impactados por atividades industriais e agrícolas.

4. DESAFIOS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Embora o papel das actinobactérias em sistemas agrícolas e ambientais esteja bem documentado, sua aplicação em larga escala ainda enfrenta desafios, sobretudo no desenvolvimento industrial, inovação tecnológica e políticas de incentivo. A produção comercial de bioinoculantes requer tecnologias que assegurem viabilidade técnica e econômica, estabilidade dos consórcios microbianos, formulações adequadas para diferentes cultivos e conservação da viabilidade durante o armazenamento e uso (Boubekri et al., 2022).

Técnicas multi-ômicas, despontam como ferramentas promissoras para compreender as interações planta-microrganismo, identificar genes funcionais e aprimorar cepas com características agronomicamente desejáveis. A engenharia genética e a edição genômica também contribuem para o desenvolvimento de linhagens mais resistentes e eficientes na produção de compostos bioativos (Ebrahimi-Zarandi et al., 2023; Kaari et al., 2023).

Além dos avanços científicos, é necessário estabelecer regulamentações específicas que garantam a segurança no uso dessas bactérias, bem como políticas públicas que incentivem sua adoção nas práticas agrícolas. A aceitação por agricultores depende de ações de extensão e capacitação técnica (Boubekri et al., 2022).

Por fim, a integração das actinobactérias a modelos de economia circular e resiliência climática amplia seu potencial. O uso de resíduos agroindustriais como substrato para produção e sua aplicação em áreas degradadas reforçam seu papel na sustentabilidade e regeneração de ecossistemas (Saez et al., 2025).

5. CONCLUSÃO

As actinobactérias reúnem características que as tornam aliadas promissoras para a agricultura sustentável e a recuperação ambiental. Esta revisão evidenciou sua atuação na promoção do crescimento vegetal, por meio da produção de fitohormônios, solubilização de nutrientes e fixação de nitrogênio. Destaca-se também sua eficácia no controle de patógenos, por meio da síntese de metabólitos antimicrobianos e indução de resistência sistêmica, consolidando-se como alternativa ao uso de pesticidas químicos. Adicionalmente, sua aplicação na biorremediação de solos contaminados por metais, pesticidas e hidrocarbonetos reforça seu valor estratégico em práticas regenerativas.

No entanto, ainda há desafios quanto à produção industrial, regulamentação, aceitação e integração tecnológica. Superá-los exige esforços interdisciplinares que unam pesquisa, inovação, políticas públicas e transferência de conhecimento. Assim, o uso de actinobactérias configura-se como uma via concreta para a transição de sistemas agrícolas e ambientais rumo à sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

BEHERA, B. C.; DAS, A. Potential and prospects of Actinobacteria in the bioremediation of environmental pollutants: Cellular mechanisms and genetic regulations. *Microbiol Res*, v. 273, p. 127399, 2023.

BOUBEKRI, K.; SOUMARE, A.; MARDAD, I.; LYAMLOULI, K.; OUHDOUCH, Y.; HAFIDI, M.; KOUISNI, L. Multifunctional role of Actinobacteria in agricultural production sustainability: A review. *Microbiological Research*, v. 261, p. 1-15, 2022.

CHAIHARN, M.; PATHOM-AREE, W.; THEANTANA, T. Evaluation of biocontrol activities of *Streptomyces* spp. against rice blast disease fungi. *Pathogens*, v. 9, n. 2, p. 126, 2020.

CHUKWUNEME, C. F.; BABALOLA, O. O.; KUTU, F. R.; OJUEDERIE, O. B. Characterization of actinomycetes isolates for plant growth promoting traits and their effects on drought tolerance in maize. *Journal of Plant Interactions*, v. 15, n.1, p. 93–105, 2020.

EBRAHIMI-ZARANDI, M.; RISEH, S. R.; TARKKA, M. T. Actinobacteria as Effective Biocontrol Agents against Plant Pathogens, an Overview on Their Role in Eliciting Plant Defense. *Microorganisms*, v. 10, n. 9, p. 1-15, 2022.

EL-SHATOURY, S. A.; AMEEN F.; MOUSSA H.; ABDUL WAHID O.; DEWEDAR A.; ALNADHARI S. Biocontrol of chocolate spot disease (*Botrytis cinerea*) in faba bean using endophytic actinomycetes *Streptomyces*: a field study to compare application techniques. *PeerJ*, v. 8, p. e8582, 2020.

GONG, Y.; CHEN, L. J.; PAN, S. Y.; LI, X. W.; XU, M. J.; ZHANG, C. M.; XING, K.; QIN, S. Antifungal potential evaluation and alleviation of salt stress in tomato seedlings by a halotolerant plant growth-promoting actinomycete *Streptomyces* sp. KLBMP5084. *Rhizosphere*, v. 16, n. 100262. 2020.

GIACOMELLI R. H.; VAN DER SAND, S. T. Exploring the Trends in Actinobacteria as Biological Control Agents of Phytopathogenic Fungi: A (Mini)-Review. *Indian Journal of Microbiology*, v. 64, n. 1, p. 70–81, 2024.

HAMDAN, A. M.; ABD-EL-MAGEED, M. M.; GHANEM, K. M. Biological treatment of hazardous heavy metals by *Streptomyces rochei* ANH for sustainable water management in agriculture. *Scientific Reports*, v. 11, n. 9314, p. 1–12, 2021.

KAARI, U.; MANIKKAM, R.; ANNAMALAI, K. K.; JOSEPH, J. Actinobacteria as a source of biofertilizer/biocontrol agents for bio-organic agriculture. *Journal of Applied Microbiology*, v. 134, n. 2, p. 1–16, 2023.

LI, H.; GUO, Q.; JING, Y.; LIU, Z. Application of *Streptomyces pactum* Act12 Enhances Drought Resistance in Wheat. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 39, n.1. p. 171–186, 2020.

LONG, X.; WANG, X.; WANG, T.; DAI, H.; LI, C.; XUE Y.; DENG Y.; ZHANG H.; YU Y.; FANG, H. Characterization of a novel carbendazim-degrading strain *Rhodococcus* sp. CX-1 revealed by genome and transcriptome analyses, *Science of The Total Environment*, v. 754, n.1, 2021.

MEENA K. K.; BITLA U. M.; SORTY A. M.; SINGH D. P.; GUPTA V. K.; WAKCHAURE G. C.; KUMAR S. Mitigation of Salinity Stress in Wheat Seedlings Due to the Application of Phytohormone-Rich Culture Filtrate Extract of Methylophilic Actinobacterium *Nocardioides* sp. NIMMe6. *Frontiers in Microbiology*, v. 11, n 1, 2020.

MUN, B. G.; LEE W. H.; KANG S. M.; LEE S. U.; LEE S. M.; LEE D. Y.; SHAHID, M.; YUN, B. W.; LEE, I. J. *Streptomyces* sp. LH 4 promotes plant growth and resistance against *Sclerotinia sclerotiorum* in cucumber via modulation of enzymatic and defense pathways. *Plant Soil*, v. 448, p. 87-103, 2020.

NARSING RAO, M. P.; LOHMANEERATANA, K.; BUNYOO, C.; THAMCHAIPENET, A. Actinobacteria–Plant Interactions in Alleviating Abiotic Stress. *Plants*. v. 11, n. 2976, p. 1-18, 2022.

NIMNOI, P.; RUANPANUN, P. Suppression of root-knot nematode and plant growth promotion of chili (*Capsicum flutescens* L.) using co-inoculation of *Streptomyces* spp. *Biological Control*, v. 145, p. 101542, 2020.

SAEZ, J. M.; RAIMONDO, E. E.; COSTA-GUTIERREZ, S. B.; APARICIO, J. D.; ANGELUCCI, D. M.; DONATI, E.; POLTI, M. A.; TOMEI, M. C.; BENIMELI, C. S. Enhancing environmental decontamination and sustainable production through synergistic and complementary interactions of actinobacteria and fungi, *Heliyon*, v. 11, n. 3, 2025.

SANCHEZ-PURIHUAMAN, M.; HERNANDEZ-HERNANDEZ, J.; CARO-CASTRO, J.; CARRENO-FARFAN, C. Rhizospheric actinobacteria of *Opuntia* sp. “prickly pear” with deaminase activity as growth promoting in *Solanum lycopersicum* L. under salinity stress. *Scientia Agropecuaria*, v. 14, n. 1, p. 21-30, 2023.

SHARMA, M.; THAKUR, D. Biocontrol potential of *Streptomyces* spp. against fungal plant pathogens and characterization of actinomycins. *3 Biotech*, v. 10, n. 5, p. 1–10, 2020.

WARRAD, M.; HASSAN, Y. M.; MOHAMED, M. S. M.; HAGAGY, N.; AL-MAGHRABI, O. A.; SELIM, S.; SALEH, A. M.; ABDELGAWAD, H. A Bioactive Fraction from *Streptomyces* sp. Enhances Maize Tolerance against Drought Stress. **J Microbiol Biotechnol**. V. 30, n.8, 2020.

CONDICIONAMENTO DE SEMENTES DE *Hylocereus costaricensis* COMO ATENUANTE DO ESTRESSE SALINO NA GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO INICIAL

Vitória Cristina dos Santos Ribeiro¹, Micaela Benigna Pereira¹, Antônio Carlos de Sena Rodrigues¹, Renata Nunes da Costa¹, Raquel Ferreira dos Santos¹, Daiane Mirian Tomaz da Silva Lima¹, Kilson Pinheiro Lopes¹

¹Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/Campus Pombal, Pombal-PB, e-mail: vitoria.cristina.1@outlook.com

RESUMO

O cultivo de pitaia é crescente no Semiárido brasileiro, onde estresses abióticos frequentemente reduzem a produtividade de diversas culturas. Para minimizar esses estresses, estão sendo utilizadas substâncias exógenas. Nesse contexto, buscou-se oferecer uma revisão abrangente sobre os avanços relacionados aos efeitos prejudiciais da salinidade em plantas, em particular na pitaia e a utilização de condicionantes como agentes mitigadores desses efeitos na germinação e crescimento inicial. Neste estudo, foi utilizada a metodologia de revisão integrativa, que envolveu a seleção de artigos científicos e de revisão publicados nos últimos anos em inglês e português. A pesquisa bibliográfica foi conduzida utilizando palavras-chave pertinentes ao tema, seguida pela aplicação de critérios de inclusão e exclusão. Os artigos escolhidos foram submetidos a uma leitura detalhada e critérios determinados foram aplicados. Conclui-se que: a salinidade da água de irrigação afeta negativamente as áreas de cultivo. No entanto, o uso de biocondicionantes, como o ácido salicílico e o ácido giberélico, tem se mostrado uma estratégia promissora para mitigar os impactos dos sais nas plantas, em particular na pitaia, e aumentar sua tolerância à salinidade.

PALAVRAS-CHAVE: Pitaia, bioativador, salinidade

1. INTRODUÇÃO

A agricultura tem passado por transformações impulsionadas por fatores ambientais, como mudanças climáticas, e pelas demandas do mercado consumidor por alimentos saudáveis, o que tem aumentado a procura por produtos como frutas exóticas, entre elas a pitaia (CAJAZEIRAS et al., 2018). Embora a demanda por essas frutas esteja em ascensão, sua produção ainda é limitada em comparação a outras culturas, representando um nicho de mercado com potencial de crescimento (WATANABE; OLIVEIRA, 2014). Isso abre oportunidades para diversificar o uso de terras agrícolas e fortalecer a produção em regiões com restrições, como o Semiárido brasileiro (BARQUERO; MADRIGAL, 2010).

A pitaia, uma cactácea originária da América Central, destaca-se por suas características visuais únicas, propriedades nutricionais, antioxidantes e alto valor agregado, sendo uma opção atrativa para produtores, especialmente em áreas de clima árido (COSTA; MAIA; INOUE, 2017; FERREIRA et al., 2017). No entanto, os solos do Semiárido, devido à sua composição rica em sais e às condições climáticas adversas, como baixa precipitação e alta evaporação, apresentam elevada salinidade, o que limita a produção agrícola e o desenvolvimento vegetal (LEITE, 2022; RUIZ et al., 2004). A

escassez de água de boa qualidade também leva ao uso de água salina, agravando as restrições ao cultivo (CAVALCANTE et al., 2006; PAIVA et al., 2020).

A salinidade afeta a germinação das sementes e o crescimento das mudas, causando estresse osmótico, desequilíbrio iônico e estresse oxidativo, o que pode atrasar ou impedir o desenvolvimento das plantas (TAIZ et al., 2017; ALVES et al., 2013). Para mitigar esses efeitos, técnicas de manejo, como o uso de bioativadores, têm sido estudadas. Essas substâncias promovem o crescimento vegetal, auxiliam na expressão gênica e no equilíbrio hormonal, ajudando as plantas a superar condições adversas (Maneira, 2020). Produtos como ácido giberélico, ácido salicílico e peróxido de hidrogênio e outros têm sido testados para aumentar a tolerância das plantas ao estresse salino, melhorando a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas (CAZARIM et al., 2021; OLIVEIRA et al., 2020).

Em síntese, a pitia surge como uma alternativa viável para regiões semiáridas, mas o sucesso de seu cultivo pode depender de estratégias para mitigar os efeitos da salinidade, como o uso de bioativadores e reguladores de crescimento, que podem otimizar a germinação e o desenvolvimento das plantas nessas condições desafiadoras. Com isso, objetivou-se realizar uma revisão sobre os impactos negativos da salinidade nas culturas agrícolas, com foco no uso de condicionantes como agentes mitigadores desses efeitos, especialmente no cultivo da pitia no Semiárido brasileiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo adotou uma abordagem de pesquisa bibliográfica, com foco na análise de artigos científicos e revisões publicadas em português e inglês. A metodologia de revisão integrativa foi empregada para compilar e sintetizar os resultados de diversos estudos relacionados ao tema, seguindo as diretrizes propostas por Souza, Silva e Carvalho (2010). A seguir, são apresentadas as principais etapas desenvolvidas na pesquisa:

- **Definição do Tema e Objetivos:** Seleção do tema central da revisão; Estabelecimento de objetivos específicos e claros.
- **Seleção de Fontes Bibliográficas:** Identificação de bases de dados relevantes (Scopus e Google Scholar); Definição de critérios para inclusão e exclusão de estudos; Coleta inicial de artigos e publicações.
- **Triagem de Estudos:** Análise de títulos e resumos; Aplicação dos critérios de inclusão e exclusão; Elaboração de uma lista final dos artigos selecionados.
- **Síntese das Informações:** Integração dos dados coletados; Construção de uma visão geral consolidada sobre o tema.
- **Análise Comparativa:** Comparação dos resultados e metodologias dos estudos.
- **Extração de Dados:** Análise detalhada dos estudos selecionados; Coleta de informações relevantes (metodologia, resultados, conclusões).
- **Redação da Pesquisa:** Organização das seções do trabalho; Elaboração do texto final com base nas análises realizadas.

Os dados coletados foram organizados em tópicos alinhados aos objetivos do estudo, abordando os seguintes temas: pitia: características botânicas, morfologia; estresse salino e germinação; bioestimulantes e seus efeitos nas plantas; e considerações que contribuíram para a elaboração das conclusões finais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Pitaia: Características botânicas e morfologia

A pitaia, pertence à família Cactaceae (MIZRAHI et al., 1997). Considerada uma frutífera tropical exótica, é originária da América Tropical e Subtropical, tem ganhado destaque comercial devido às suas características físico-químicas, nutricionais e bioativas. Pode ser consumida in natura ou em polpas, licores, doces, geleias e sorvetes (MATAN et al., 2017; VERONA-RUIZ; URCIA-CERNA; PAUCAR-MENACHO, 2020). As espécies mais cultivadas comercialmente são *Hylocereus undatus* (casca vermelha e polpa branca), *H. costaricensis* (casca e polpa vermelha) e *Selenicereus megalanthus* (casca amarela e polpa branca com espinhos) (LONE et al., 2020).

É uma planta perene com metabolismo CAM, de hábito semi-epífita, cujos caules são formados por cladódios triangulares fotossintetizantes e com espinhos. Sua floração é noturna, o que lhe rendeu o apelido de "rainha da noite" (ORTIZ-HERNÁNDEZ; CARRILLO-SALAZAR, 2012; NUNES, 2014). O sistema radicular é fibroso, com raízes adventícias que auxiliam na fixação e absorção de nutrientes, permitindo que a planta cresça sobre pedras, muros e árvores (CANTO, 1993).

As flores possuem sépalas verdes e pétalas brancas, medindo entre 20 a 35 cm de comprimento. São hermafroditas, com estames dispostos ao redor do pistilo e pólen amarelo. A floração ocorre à noite, e a autopolinização é insuficiente, necessitando de polinizadores como abelhas para a formação dos frutos. A floração pode ocorrer até seis vezes ao ano (DONADIO, 2009; MUNIZ, 2019).

O fruto é globoso, com 10 a 20 cm de diâmetro, cores variadas, coberto por brácteas ou espinhos. A polpa, rica em fibras, pode ser branca ou rosa, com sementes pequenas e escuras distribuídas por toda a polpa (CANTO, 1993). A propagação pode ser sexuada ou assexuada, sendo a estaquia o método mais utilizado pelos produtores devido à facilidade e rapidez, enquanto a propagação sexuada é mais comum em programas de melhoramento genético (LONE et al., 2020; SANTOS et al., 2022).

3.2 Estresse salino e germinação

As plantas são influenciadas por fatores bióticos e abióticos que podem afetar seu desenvolvimento. O excesso de sais na água e no solo, seja por composição natural ou uso de fertilizantes, prejudica o crescimento vegetal. A salinidade elevada na água de irrigação causa acúmulo de sais na zona de absorção das raízes, dificultando a assimilação de nutrientes e a absorção de água, o que impacta negativamente a produção (TAIZ et al., 2017).

Altas concentrações de sais no solo ou na água podem retardar ou impedir a germinação das sementes, afetando a hidrólise de compostos de reserva e sua translocação para os eixos embrionários. O cloreto de sódio (NaCl), em particular, reduz o potencial osmótico, retendo água na solução e tornando-a indisponível para a semente, o que inibe a germinação. Além disso, o acúmulo de íons como Na^+ e Cl^- causa toxicidade, desequilíbrios fisiológicos e bioquímicos, reduzindo a germinação por efeitos osmóticos e iônicos (DUTRA et al., 2017; WANDERLEY et al., 2018).

Outro efeito negativo do estresse salino é o aumento do estresse oxidativo, com o acúmulo de espécies reativas de oxigênio (EROs). Em níveis normais, as EROs atuam

como moléculas sinalizadoras em processos como crescimento e desenvolvimento das plantas. No entanto, em excesso, causam peroxidação lipídica, degradação de clorofilas e danos ao DNA, podendo levar à morte celular (BOSE et al., 2014; CHAKRABORTY et al., 2019).

O impacto do estresse salino na germinação e no crescimento inicial das plântulas depende de fatores como o nível de salinidade e a resposta da espécie vegetal em termos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos. A resistência à salinidade é definida como a capacidade da planta de regular a absorção de sais e tolerar seus efeitos tóxicos e osmóticos (DUTRA et al., 2017; SALES et al., 2015).

3.3 Bioestimulantes e seus efeitos nas plantas e em particular na pitiaia

Os bioestimulantes, ou fitorreguladores, são substâncias naturais ou sintéticas que, quando aplicados exogenamente, atuam de forma semelhante aos hormônios vegetais, regulando processos morfológicos e fisiológicos, como crescimento, germinação e respostas ao estresse (CASTRO; VIEIRA, 2001).

Entre esses reguladores, destacam-se as giberelinas, como o ácido giberélico (GA3), que promovem a germinação, quebram a dormência e estimulam o alongamento celular. O GA3 atua na síntese de enzimas como a alfa-amilase, facilitando a quebra do amido e liberando energia para o crescimento do embrião e a protrusão da radícula (TAIZ et al., 2017). Estudos demonstram que o ácido giberélico mitiga os efeitos do estresse salino, aumentando a germinação e o crescimento de plântulas em culturas como aveia (CHAUHAN et al., 2019) e canola (LI et al., 2010). Em pitiaia, o GA3 também mostrou efeitos positivos, estimulando a germinação e aumentando os níveis de açúcares solúveis (CARVALHO et al., 2022).

O ácido salicílico, outro fitohormônio, regula respostas de defesa contra patógenos e estresses abióticos, além de promover o crescimento vegetal (SILVA et al., 2020). Em pepino japonês, o ácido salicílico reduziu os danos causados pelo estresse salino, melhorando o desenvolvimento e a produção de frutos (OLIVEIRA, 2023). Da mesma forma, em melão, o ácido salicílico teve efeito positivo durante a germinação e o desenvolvimento inicial (SILVA et al., 2023).

Extratos de *Ascophyllum nodosum*, uma alga marinha, também são amplamente utilizados como bioestimulantes, melhorando a tolerância das plantas a estresses bióticos e abióticos, promovendo o crescimento e a absorção de nutrientes (SHUKLA et al., 2019). Produtos como o Quicelum®, que contêm extratos de *A. nodosum* e sementes de aveia, soja, trigo e espinafre, atuam como precursores de hormônios como citosina e giberelina, auxiliando na floração, pegamento de frutos e aumento do teor de açúcares (ARVENSIS, 2020). Esses extratos também regulam a expressão de genes relacionados à tolerância ao estresse, aumentam os níveis de prolina e estimulam a produção de antioxidantes que protegem contra espécies reativas de oxigênio (GOÑI et al., 2018; JITHESH et al., 2018).

Pesquisas com diferentes espécies têm utilizado bioativadores desde o desenvolvimento inicial até a pós-colheita, como nos casos de *Hylocereus* spp., *Oryza sativa*, *Vicia faba*, *Helianthus annuus* e *Cucumis melo*. Os resultados têm mostrado eficácia significativa diante de condições estressantes de salinidade (LIU et al., 2018; CHAUHAN et al. 2019; CARVALHO et al., 2022; SILVA et al., 2023; LUNA et al., 2024). Carvalho et al. (2022) destacaram que o ácido salicílico exerce um efeito mitigador na germinação e no crescimento de plântulas de *Hylocereus undatus* sob condições de

estresse salino, além de elevar o teor de açúcares solúveis em plântulas de *H. costaricensis*. O hidrocondicionamento das sementes também demonstrou eficácia na atenuação dos efeitos do estresse salino durante a germinação de *H. undatus*, contribuindo ainda para o aumento da massa seca das mudas. Além disso, o ácido giberélico mostrou-se eficaz na estimulação da germinação de *H. undatus* e no crescimento de mudas tanto de *H. undatus* quanto de *H. costaricensis* em ambientes salinos.

4. CONCLUSÕES

A salinidade da água de irrigação afeta negativamente as áreas de cultivo. No entanto, o uso de biocondicionantes, como o ácido salicílico e o ácido giberélico, tem se mostrado uma estratégia promissora para mitigar os impactos dos sais nas plantas, em particular na cultura da pitaita, e aumentar sua tolerância à salinidade.

REFERÊNCIAS

- ALVES, F. L. et al. Germinação e estabelecimento de plântulas de cajueiro-anão precoce (*Anacardium occidentale* L.) em função da salinidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 2, p. 197-204, 2013.
- ARVENSIS. **Quicelum ativadores orgânicos**. Arvensis, 2020. Disponível em: <<https://www.arvensis.com/pt-br/productos/quicelum/>>. Acesso em: 28 fev. 2025.
- BARQUERO, M. E. G.; MADRIGAL, O. Q. Análisis del comportamiento de mercado de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) en Costa Rica. **Tecnología en Marcha**, v. 23, n. 2, p. 14-24, 2010.
- BOSE, J. et al. ROS homeostasis in halophytes in the context of salinity stress tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, p. 1241-1257, 2014.
- CAJAZEIRAS, J. P. et al. Growth and gas exchange in white pitaya under different concentrations of potassium and calcium. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 1, p. 112-121, 2018.
- CANTO, A. R. **El cultivo de pitahaya em Yucatan**. Maxcanú: Yucatán, 1993. 53p.
- CARVALHO, S. M. C. et al. Pre-germination treatments in pitaya (*Hylocereus* spp.) seeds to attenuate salt stress. **Rev. Ciência Agronômica**. v. 53, e20218121, 2022.
- CASTRO, P. R. C.; VIEIRA, E. L. **Aplicações de reguladores vegetais na agricultura tropical**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2001. 132p.
- CAVALCANTE, L. F. et al. Maracujá-amarelo e salinidade. In: CAVALCANTE, L. F.; LIMA, E. M. (Eds.). **Algumas frutíferas tropicais e a salinidade**. Jaboticabal: FUNEP, 2006. p. 91-114.
- CAZARIM, P. H. et al. Desempenho inicial de sementes de milho tratadas com Tiametoxam e *Azospirillum brasilense* em condições de deficiência hídrica simulada. **Acta Iguazu**, v. 10, n. 2, p. 90–99, 2021.
- CHAKRABORTY, K. et al. Salinity-induced changes in seed germination and the expression profile of antioxidant enzymes in peanut as early and late responses in emerging radicles. **Acta Physiol Plant**, v. 41, n. 134, 2019.

- CHAUHAN, A. et al. Influence of gibberellic acid and different salt concentrations on germination percentage and physiological parameters of oat cultivars. **Saudi J. Biol. Sci.**, v. 26, n. 4, p. 367-373, 2019.
- COSTA, A. C. et al. Pitaia: uma alternativa para a fruticultura mato-grossense. **Revista MT Horticultura**, v. 3, n. 2, p. 06-07, 2017.
- DONADIO, L. C. Pitaya. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 3, p. 637-929, 2009.
- DUTRA, T. R. et al. Efeito da salinidade na germinação e crescimento inicial de plântulas de três espécies arbóreas florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 91, p. 323-330, 2017.
- FERRERES, F. et al. Optimization of the recovery of high-value compounds from pitaya fruit by-products using microwave-assisted extraction. **Food Chemistry**, v. 230, p. 463-474, 2017.
- GOÑI, O. et al. Bioestimulantes do extrato de *Ascophyllum nodosum* e seu papel no aumento da tolerância ao estresse hídrico em plantas de tomate. **Fisiologia e Bioquímica Vegetal**, v. 126, p. 63-73, 2018.
- JITHESH, M. N. et al. Analysis of seaweed extract-induced transcriptome leads to identification of a negative regulator of salt tolerance in Arabidopsis. **HortScience**, v. 47, n. 6, p. 704-709, 2012.
- LEITE, M. J. H. Características gerais dos principais solos da região semiárida. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 3, n. 10, p. e3101964-e3101964, 2022.
- LI, Z. et al. Improving drought tolerance of germinating seeds by exogenous application of gibberellic acid (GA3) in rapeseed (*Brassica napus* L.). **Seed Science and Technology**, v. 38, n. 2, p. 432-440, 2010.
- LIU, L. et al. Salinity inhibits rice seed germination by reducing α -amylase activity via decreased bioactive gibberellin content. **Front. Plant Sci.**, v. 9, p. 275, 2018.
- LONE, A. B. et al. **Cultivo de Pitaia**. Florianópolis: Epagri, 2020. 44p. (Boletim Técnico, 196).
- LUNA, N. R. D. S. et al. Use of algae extract as an agent to mitigate salt stress in sunflower crop. **Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 28, n. 7, e279088, 2024.
- MATAN, N. et al. Combined antibacterial activity of green tea extract with atmospheric radio-frequency plasma against pathogens on fresh-cut dragon fruit. **Food Control**, v. 50, p. 291-296, 2017.
- MIZRAHI, Y. et al. Cactos como cultura. **Horticultural Reviews**, v. 18, p. 291-320, 1997.
- MUNIZ, J. P. O. et al. Floral biology, pollination requirements and behavior of floral visitors in two species of pitaya. **Revista Ciência Agronômica**, v. 50, n. 4, p. 640-649, 2019.
- NUNES, E. N. et al. Pitaia (*Hylocereus* sp.): Uma revisão para o Brasil. **Gaia Scientia**, v. 8, n. 1, p. 90-98, 2014.

OLIVEIRA, S. et al. Uso de biorregulador e seus reflexos na produção e na qualidade de sementes de trigo. **Scientia Plena**, v. 16, n. 1, 2020.

OLIVEIRA, V. K. N. **Ácido salicílico como atenuante do estresse salino no cultivo hidropônico de pepino japonês**. 2023. 103p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

ORTIZ-HERNÁNDEZ, Y. D.; CARRILLO-SALAZAR, J. A. Pitahaya (*Hylocereus spp.*): a short review. **Comunicata Scientiae**, v. 3, n. 4, p. 220-237, 2012.

PAIVA, F. J. S. et al. Influência da salinidade da água de irrigação na qualidade de sementes no semiárido paraibano. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 1, n. 3, 2020.

RUIZ, H. A. et al. Características químicas de solos salino-sódicos submetidos a parcelamento da lâmina de lixiviação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 11, p. 1119-1126, 2004.

SALES, M. A. L. et al. Germinação e crescimento inicial do coentro em substrato irrigado com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 9, n. 3, p. 221-227, 2015.

SANTOS, T. P. **Produção de mudas por semente e estaquia em pitaya**. 2022. 61p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira.

SHUKLA, O. S. et al. Ascophyllum nodosum-Based Biostimulants: Sustainable Applications in Agriculture for the Stimulation of Plant Growth, Stress Tolerance, and Disease Management. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 655, 2019.

SILVA, A. A. R. et al. Salicylic acid as an attenuator of salt stress in soursop. **Revista Caatinga**, v. 33, p. 1092-1101, 2020.

SILVA, J. E. S. B. et al. Pre-germination treatments with plant growth regulators and bioactivators attenuate salt stress in melon: effects on germination and seedling development. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 45, e60516, 2023.

SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Revista Eletrônica de Enfermagem**, v. 18, p. e1173, 2010.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. p. 133.

VERONA-RUIZ, A. et al. Pitahaya (*Hylocereus spp.*): cultivo, características físico-químicas, composición y compuestos bioactivos. **Scientia Agropecuaria**, v. 11, n. 3, p. 439-453, 2020.

WANDERLEY, J. A. C. et al. Nitrogen fertilization to attenuate the damages caused by salinity on yellow passion fruit seedlings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 8, p. 541-546, 2018.

WATANABE, H. S.; OLIVEIRA, S. L. Comercialização de frutas exóticas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 1, p. 23-38, 2014.

PRÉ-EXPOSIÇÃO AO PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO NA TOLERÂNCIA DE MUDAS DE GOIABEIRA AO ESTRESSE SALINO

Antônio Carlos de Sena Rodrigues¹, Micaela Benigna Pereira¹, Kilson Pinheiro Lopes¹, Erika Caminha Almeida¹, Vitória Cristina dos Santos Ribeiro¹, Rafael Gonçalves da Silva¹, Railene Hérica Carlos Rocha Araújo²

¹Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/Campus Pombal, Pombal-PB, e-mail: rantoniocarlosdesena@gmail.com

²Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande-PB

RESUMO

A goiabeira é uma fruteira de grande importância econômica, especialmente no Nordeste brasileiro. No entanto, o Semiárido enfrenta desafios como a salinidade do solo e da água, que prejudicam o desenvolvimento das plantas e reduzem a produtividade. O excesso de sais causa estresse osmótico, toxidez iônica e desequilíbrio nutricional, afetando o crescimento e a fotossíntese. Diante disso, estratégias como o uso de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) têm sido estudadas para mitigar esses efeitos, atuando como agente antioxidante e regulador do estresse oxidativo. Este trabalho realizou uma revisão bibliográfica integrativa, compilando estudos sobre os efeitos da salinidade na goiabeira e o potencial do H₂O₂ como mitigador. Foram analisados artigos científicos em português e inglês, abordando temas como a qualidade da água de irrigação no Semiárido, os impactos da salinidade e o uso de H₂O₂ em diferentes culturas. Concluiu-se que, embora o H₂O₂ tenha mostrado resultados promissores em outras culturas, sua aplicação em mudas de goiabeira cv. Paluma não atenuou significativamente os efeitos do estresse salino, indicando a necessidade de mais estudos para otimizar seu uso na mitigação da salinidade.

PALAVRAS-CHAVE: *Psidium guajava* L., salinidade, mitigação.

1. INTRODUÇÃO

A goiabeira (*Psidium guajava* L.), da família Myrtaceae, é uma fruteira amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais, destacando-se como fonte de vitamina C, vitaminas do complexo B e outros nutrientes (BRAGA et al., 2016; MOREIRA; LIMA, 2010).

No Brasil, a produção nacional atingiu 582.832 mil toneladas na safra 2023/24, com o Nordeste liderando a produção, responsável por 47% do volume colhido (IBGE, 2024). No entanto, o Semiárido, principal região produtora, enfrenta desafios como irregularidade de chuvas, baixa precipitação e alta evaporação, fatores que contribuem para a salinização do solo e da água de irrigação, comprometendo o desenvolvimento das plantas e reduzindo a produtividade (FREIRE et al., 2014; SILVA et al., 2015).

O excesso de sais provoca estresse osmótico, toxicidade iônica e desequilíbrio nutricional, afetando o crescimento, a fotossíntese e induzindo estresse oxidativo (BONIFÁCIO et al., 2018; PARIDA; DAS, 2005).

Diante desse cenário se faz necessário o uso de estratégias que minimizem os efeitos do estresse salino. Dessa forma, o uso do peróxido de hidrogênio H₂O₂ de forma exógena na embebição de sementes e em baixas concentrações, pode contribuir para melhoria da capacidade do sistema antioxidante das plantas, atuando sobre as espécies reativas de oxigênio neutralizando a ação ou prevenindo a sua geração, causando menores danos celulares (SILVA et al., 2019).

Pesquisas avaliando o efeito mitigador do peróxido de hidrogênio em diferentes culturas como por exemplo feijão-de-corda (HASAN al., 2016) e graviola (SILVA et al., 2019), sob estresse salino vêm sendo desenvolvidas e com resultados promissores. Contudo, essas pesquisas se limitam a pontuar a aplicação foliar das concentrações de peróxido de hidrogênio e não em uma determinada concentração de H₂O₂ na embebição de sementes goiabeira. Dessa forma, são incipientes as informações sobre os efeitos com a embebição das sementes com H₂O₂ na mitigação do estresse salino na goiabeira.

Nesse sentido, nosso objetivo é apresentar uma revisão completa sobre os progressos relacionados aos efeitos prejudiciais da salinidade nas culturas agrícolas e o uso de condicionantes usados como agentes mitigadores desses efeitos em plantas e em particular na cultura da goiabeira na região do Semiárido brasileiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho utilizou uma abordagem de pesquisa bibliográfica, concentrando-se em artigos científicos e revisões publicadas em português e inglês. A metodologia de revisão integrativa foi aplicada com o objetivo de compilar e resumir os resultados de diversos estudos relacionados ao tema, conforme sugerido por Souza, Silva e Carvalho (2010). Na Figura 1, está disponível um fluxograma que ilustra as principais etapas desenvolvidas neste estudo.

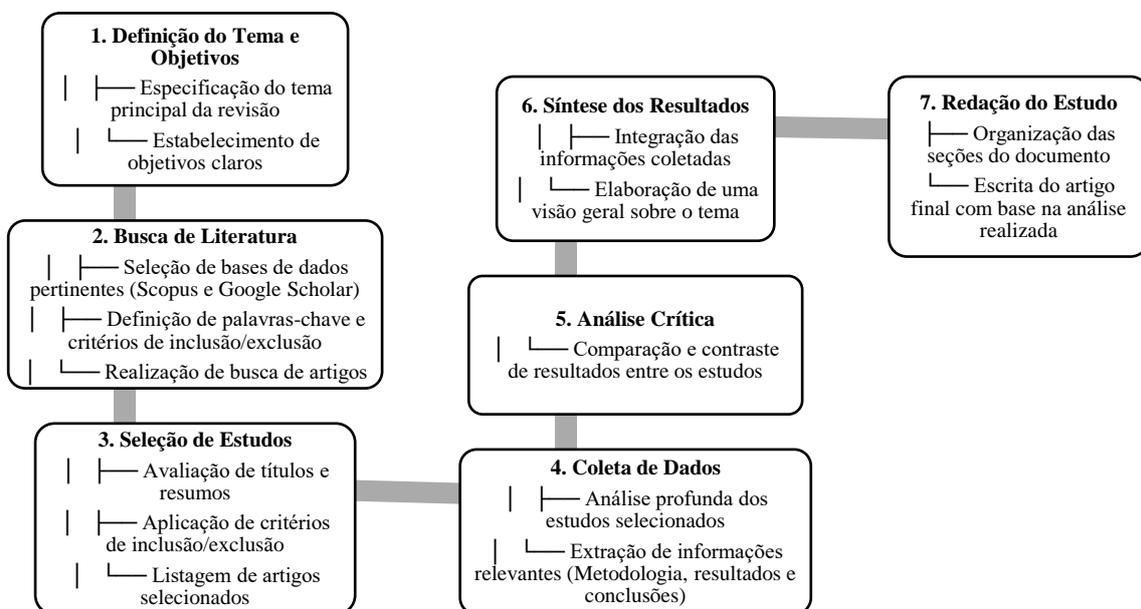


Figura 1. Fluxograma de etapas para a execução do estudo. Fonte: Autoria própria (2025).

Os dados extraídos foram organizados em tópicos relacionados ao objetivo do estudo, os quais foram desenvolvidos com os seguintes temas: aspectos gerais da

goiabeira; qualidade da água de irrigação do Semiárido brasileiro; efeitos da salinidade em goiabeira; peróxido de hidrogênio na mitigação do estresse salino e; considerações que elucidaram a elaboração das conclusões.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Aspectos gerais da goiabeira

A cultura da goiaba (*Psidium guajava* L.) tem como centro de origem o continente americano, especialmente de regiões tropicais entre o Sul do México e Norte da América do Sul, regiões estas onde ainda é possível encontrar espécies em seu estado silvestre (BELARMINO, 2014).

A goiaba pode ser classificada botanicamente, como pertencente a família Myrtaceae, gênero *Psidium* e espécie *Psidium guajava* L. A família Myrtaceae possui 102 gêneros e 3.024 espécies conhecidas de acordo com a literatura. É importante destacar ainda que das várias espécies do gênero *Psidium*, a goiabeira é a mais relevante dentro da família Myrtaceae. Além dessas, características a goiabeira possui um fruto do tipo baga, inflorescência dicásio, sementes duras, pequenas, cor esbranquiçada tendendo ao marrom, um pouco achatada, 3 a 5 mm de comprimento e largura de 2 a 3 mm (MANICA et al., 2001).

O caule da planta atinge de 3 a 5 metros de altura, as folhas mais velhas possuem pecíolo arredondado, com cor verde-amarelo, 5 a 18 cm de comprimento e de 3,5 a 6,5 cm de largura, formato oval, oblonga ou elíptica. A brotação é iniciada no período das chuvas. Seu florescimento ocorre a partir do mês de outubro, as flores são brancas, fruto do tipo baga chegando a pesar entre 42 a 280 g, já com a aplicação de tratamentos culturais de podas e raleio o fruto pode chegar a 720 g por unidade (MANICA et al., 2000)

A goiabeira ‘Paluma’ é a mais explorada pelos agricultores pelo seu grande potencial e suas propriedades organolépticas, além da grande importância econômica da cultura na geração de renda, sendo a preferida pelos consumidores, tanto no mercado interno como no externo (OLIVEIRA et al., 2015). Também é uma cultivar bastante vigorosa resistente às pragas e doenças, como a ferrugem (*Puccinia psidii* Wint.). Os frutos atingem entre 140 a 250 g mesmo sem as plantas terem passado por desbaste. E com tratamentos culturais como raleio pode atingir 510 g, também é caracterizado pelo formato piriforme, casca lisa, a polpa é vermelha bastante espessa e possui sabor agradável (MANICA et al., 2001).

3.2 Qualidade da água de irrigação do Semiárido brasileiro

A região semiárida brasileira abrange os Estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí, parte do sudeste do Maranhão e o norte de Minas Gerais (SOUZA et al., 2016). Caracterizada por estiagens frequentes, baixas precipitações, altas temperaturas, baixa umidade e chuvas irregulares, a região enfrenta desafios que limitam a produção agrícola, agravados pela redução da disponibilidade de água de baixa condutividade elétrica (CARVALHO et al., 2017).

A escassez hídrica é uma preocupação crescente, impulsionada pelo aumento da demanda devido ao crescimento populacional, industrial e agrícola, exigindo investimentos em tecnologia (SILVA et al., 2017). Entre 2013 e 2016, secas afetaram 48 milhões de pessoas, causando danos severos à agricultura e pecuária (ANA, 2017).

As águas do Semiárido possuem condutividade elétrica em torno de $1,5 \text{ dS m}^{-1}$, comprometendo a produção agrícola devido a alterações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas nas plantas (DIAS et al., 2011; FREIRE et al., 2014).

Muitas águas de poços na região são classificadas como C3S2 (35%), indicando alta salinidade e teores médios de sódio (RICHARDS, 1954). A qualidade da água subterrânea é influenciada pelo perfil do solo, rochas armazenadoras e ações antropogênicas, como agricultura e descarte de resíduos (LIMA et al., 2020). Além disso, a qualidade da água de irrigação varia conforme fatores como zona climática, fonte de água e tipo de sais dissolvidos, com destaque para o Na^+ e Cl^- como principais contribuintes para a salinidade (NETO et al., 2016; CETESB, 2019).

3.2 Efeitos da salinidade em goiabeira

A elevada condutividade elétrica do solo e da água no Nordeste brasileiro resulta de baixas precipitações, altas taxas de evaporação, irregularidade de chuvas e uso constante de águas subterrâneas, fatores que limitam a produção de goiabeira na região (SANTOS et al., 2018).

O excesso de sais no solo e na água reduz o desempenho fisiológico das plantas, causando efeitos como estresse osmótico, toxicidade iônica e desequilíbrio nutricional, o que compromete a abertura estomática, a fotossíntese, a transpiração e a nutrição das plantas (BONIFÁCIO et al., 2018; SOUZA et al., 2018).

A irrigação com água salina intensifica a salinização do solo, reduzindo o potencial osmótico e a capacidade de absorção de água, afetando o crescimento e a produção das culturas (BEZERRA et al., 2016).

A goiabeira é particularmente sensível à salinidade, com reduções na produtividade a partir de condutividade elétrica da água de $0,8 \text{ dS m}^{-1}$ (TÁVORA et al., 2001; CAVALCANTE et al., 2005). A sensibilidade à salinidade pode variar conforme o material genético e as condições de cultivo (PARIDA; DAS, 2005).

Estudos mostram que condutividades elétricas acima de $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ afetam negativamente o crescimento e a qualidade de mudas de goiabeira (SOUZA et al., 2017). Portanto, o cultivo de goiabeira no Semiárido depende de técnicas que mitiguem os efeitos da salinidade, especialmente em uma região com limitações tecnológicas (CAVALCANTE et al., 2010).

3.2 Peróxido de hidrogênio na mitigação do estresse salino

O manejo da água de irrigação é essencial, especialmente com o aumento do uso de águas salinas na agricultura, exigindo técnicas que promovam a tolerância ao estresse salino. A aplicação exógena de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em baixas concentrações tem se mostrado eficaz na mitigação dos efeitos da salinidade.

Como uma das espécies reativas de oxigênio (EROs) mais estáveis, o H_2O_2 atua como molécula sinalizadora em baixas concentrações, beneficiando as plantas sob estresse salino, embora seja tóxico em altas concentrações (UCHIDA et al., 2002; GECHEV et al., 2006). Além disso, o H_2O_2 promove a produção de O_2 na respiração mitocondrial, quebra a dormência de sementes e decompõe inibidores germinativos (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2017). Ele também aumenta o acúmulo de proteínas e

carboidratos solúveis, regulando o potencial osmótico e melhorando a absorção de água, mesmo em condições de alta condutividade elétrica (CARVALHO et al., 2011).

Em baixas concentrações, o H₂O₂ ajuda as plantas a tolerar o estresse salino, favorecendo o desenvolvimento, crescimento, germinação de sementes, desenvolvimento radicular e regulação da abertura estomática (GE et al., 2015; BARBA-ESPÍN et al., 2011).

Pesquisas realizadas na região do Semiárido brasileiro, nos últimos anos, por FERREIRA et al., 2023; SILVA et al., 2024 e RODRIGUES et al., 2024, com aplicação foliar de peróxido de hidrogênio em concentrações de 25 µM até 75 µM na cultura da goiabeira constataram que o H₂O₂ reduz o conteúdo relativo de água na lâmina foliar e aumenta o índice de velocidade de emergência das mudas, mas não atenua os efeitos do estresse salino durante a fase de formação de mudas de goiabeira cv. Paluma.

4. CONCLUSÕES

A salinidade da água de irrigação prejudica áreas de cultivo, mas biocondicionantes mostram-se promissores na mitigação dos efeitos dos sais em plantas. Contudo, o condicionamento com H₂O₂ não atenua o estresse salino em mudas de goiabeira cv. Paluma, demandando estudos adicionais.

REFERÊNCIAS

ANA. - Agência Nacional de Águas. **Atlas de irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. 1. ed. Brasília: Brasília. 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/ptbr>. Acesso em: 24 fevereiro. 2025.

BARBA E, G. et al. Understanding the role of H₂O₂ during pea seed germination: a combined proteomic and hormone profiling approach. **Plant, Cell e Environment**, v.34, p.1907- 1919, 2011.

BELARMINO, A. J. et al. Panorama econômico da goiaba: produção, comércio, custos e análise de viabilidade dos investimentos. SIMPÓSIO DA CIÊNCIA DO AGRONEGÓCIO, **Anais...** Porto Alegre: UFRGS. Cadeias globais de suprimento no agronegócio, v. 2, p. 1-5, 2014.

BEZERRA, J. D. et al. Crescimento de dois genótipos de maracujazeiro-amarelo sob condições de salinidade. **Revista Ceres**, v. 63, p. 502-508, 2016.

BONIFÁCIO, B. F. et al. Efeitos da adubação potássica e irrigação com águas salinas no crescimento de porta-enxerto de goiabeira. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, p. 101-110, 2018.

BRAGA, M. F. B et al. *Psidium guajava* L., from ethnobiology to scientific evaluation: elucidating bioactivity against pathogenic microorganisms. **J. Ethnopharmacol**, v.194, p.1140-1152, 2016.

CARVALHO, F. E. L. et al. Aclimação ao estresse salino em plantas de arroz induzida pelo pré-tratamento com H₂O₂. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.416-423, 2011.

- CARVALHO, R. A. Índices fisiológicos em genótipos de abacaxizeiro sob estresse salino. **Tecnologia e Ciências Agropecuárias**, v.11, n.6, p.89-99, 2017.
- CAVALCANTE, L. F. et al. Germination and initial growth of guava plants irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.515-519, 2005.
- CAVALCANTE, L. F. et al. Fontes e níveis da salinidade da água na formação de mudas de mamoeiro cv. Sunrise solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v.31, p.1281-1290, 2010.
- CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas subterrâneas no estado de São Paulo 2016-2018**. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2019. 291 p.
- DIAS, T. J. et al. Produção do maracujazeiro e resistência mecânica do solo com biofertilizante sob irrigação com águas salinas. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, p.644-651, 2011.
- FERREIRA, J. T. A. et al. Hydrogen peroxide in the induction of tolerance of guava seedlings to salt stress. **Semina: Ciênc. Agrár**, v. 44, n. 2, p. 739-754, 2023.
- FREIRE, J. L. O. et al. 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.
- GECHEV, T. S. et al. Reactive oxygen species as signals that modulate plant stress responses and programmed cell death. **Bioessays**, v. 28, p.1091-1101, 2006.
- HASAN, S. A. et al. Growth, photosynthesis, and antioxidant responses of *Vigna unguiculata* L. treated with hydrogen peroxide. **Cogent Food e Agriculture**, v. 2, p.1155331, 2016.
- HERNANDEZ, R.; ZAPPI, M.; COLLUCI, F.; JONES, R. Comparing the performance of various advanced oxidation process for treatment of acetone contaminated water. **Journal Hazardous Materials**, v. 92, p. 33-50, 2002.
- IBGE. **SIDRA**: Área destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida e valor da produção da lavoura permanente. 2024. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>. Acesso em: 10 mar. 2025.
- LIMA, Brisa Ribeiro de et al. Uso e qualidade de água subterrânea utilizada por agricultores familiares no Território Sertão Produtivo, Estado da Bahia, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 7, n. 16, p. 679-689, 2020.
- LIMA, G. S. et al. Irrigação com águas salinas e aplicação de prolina foliar em cultivo de pimentão 'All Big'. **Comunicata Scientiae**, v. 7, p. 513-522, 2016.
- MANICA, I. et al. **Fruticultura tropical: Goiaba**. Porto Alegre, Cinco Continentes, 2000.
- MANICA, I. et al. **Goiaba: do plantio ao consumidor**. Porto Alegre: Cinco Continentes, v. 32, 2001. 124 p.
- MOREIRA, F. R. B.; LIMA, M. F. (Ed.). **A cultura da goiaba**. 2. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. 180 p.

- NETO, J. R. de A. et al. Similaridades de solos quanto a salinidade no vale perenizado do rio Trussu, Ceará. **Revista Irriga**, v. 21, n. 2, p. 327-341, 2016.
- OLIVEIRA JUNIOR, L. D. de. **Tratamento pré-germinativo de sementes florestais com peróxido de hidrogênio**. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal da Lavras, Lavras, 173p., 2017.
- OLIVEIRA, F. T. et al. Respostas de porta-enxertos de goiabeira sob diferentes fontes e proporções de materiais orgânicos. **Comunicata Scientiae**, v. 6, p. 17-25, 2015.
- PARIDA, A. K.; DAS, A. B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v.60, p.324-349, 2005.
- RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. **Journal of Soil Science**, v. 78, p. 154, 1954.
- RODRIGUES, A. C. S. et al. Effect of priming guava seeds with H₂O₂ on seedling production under salt stress. **Semina: Ciênc. Agrár.** v. 45, n. 5, p. 1423-1442, 2024.
- SANTOS, E. S. et al. Produtividade do pimentão sob diferentes lâminas de irrigação e doses de potássio em região semiárida. **Irriga**, v.23, p.518-534, 2018.
- SILVA, S. S. et al. Formation of guava seedlings under salt stress and foliar application of hydrogen peroxide. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.28, n.2, e276236, 2024.
- SILVA, A. A. R. et al. Salt stress and exogenous application of hydrogen peroxide on photosynthetic parameters of soursop. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 23, p. 257-263, 2019.
- SILVA, A. R. A. et al. Pigmentos fotossintéticos e potencial hídrico foliar em plantas jovens de coqueiro sob estresses hídrico e salino. **Revista Agro@ambiente**, v. 10, p. 317-325, 2017.
- SILVA, M.G. et al. Produção de coentro em hidroponia NFT com o uso de águas salobras para reposição do consumo evapotranspirado. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 9, n. 4, p. 246-258, 2015.
- SOUZA, J. T. A. et al. Effects of water salinity and organomineral fertilization on leaf composition and production in *Passiflora edulis*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, p. 535-540, 2018.
- SOUZA, L. de P. et al. Produção de porta-enxerto de goiabeira cultivado com águas de diferentes salinidades e doses de nitrogênio. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, p. 596-604, 2017.
- SOUZA, L. de P. **Produção de porta-enxerto de goiabeira crioula irrigado com águas salinizadas e doses de nitrogênio**. 2016. 81p. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal de Campina Grande – CCTA, Pombal, PB, 2016.
- SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Revista Eletrônica de Enfermagem**, v. 18, p. e1173, 2010.
- TÁVORA, F. J. A. F.; PEREIRA, R. G.; HERNADEZ, F. F. F. Crescimento e relações hídricas em plantas de goiabeira submetidas a estresse salino com NaCl. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, p. 441-446, 2001.
- UCHIDA, A. et al. Effects of hydrogen peroxide and nitric oxide on both salt and heat stress tolerance in rice. **Plant Science**, v.163, p.515-523, 2002.

INSUMOS ORGÂNICOS NA HORTICULTURA: VIABILIDADE TÉCNICA E SUSTENTABILIDADE

Micaela Benigna Pereira¹, Reynaldo Teodoro de Fatima¹, Kaline Dantas Travassos², Mateus Gonçalves Silva¹, Anderson Bruno Anacleto de Andrade¹, Alesia Alves de Sousa¹, Maria Amanda Guedes³

¹Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/Campus Pombal, Pombal-PB, e-mail: micaelabp.fg@gmail.com

²Instituto Nacional do Semiárido – INSA, Campina Grande-PB

³Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/Campus Campina Grande -PB

RESUMO

A perda de áreas agricultáveis nos últimos anos tem alcançado proporções alarmantes, em razão do uso indiscriminado de técnicas de produção agrícola convencionais. Nesse contexto, a adoção de novas práticas, como a adubação orgânica, se revela essencial como prática sustentável para o cultivo de diversas espécies agrícolas, especialmente hortaliças. Assim, este estudo teve como objetivo analisar o uso de insumos orgânicos na horticultura brasileira, sua viabilidade técnica e sustentabilidades a curto e a longo prazo. Esta pesquisa adotou a revisão integrativa da literatura como método de investigação, abrangendo artigos científicos e revisões publicados recentemente em inglês e português. A coleta de dados foi realizada por meio de bases de dados acadêmicas, utilizando descritores estratégicos relacionados ao tema. Após a seleção inicial, aplicaram-se critérios de inclusão e exclusão para refinar a amostra. Os artigos elegíveis foram analisados sistematicamente, com base em parâmetros predefinidos de qualidade e relevância. Os resultados apresentados demonstram a necessidade de uma transição dos sistemas agrícolas convencionais para modelos sustentáveis. Nesse sentido, a Agroecologia se consolida como ciência viável, integrando produção alimentar com preservação ambiental através de princípios que respeitam os ciclos naturais e a biodiversidade. Nesse cenário, a adubação orgânica emerge como pilar fundamental nessa transição, oferecendo soluções tanto para a reposição nutricional do solo quanto para a melhoria de suas propriedades físicas e biológicas. A adoção dessas práticas representa, portanto, um caminho promissor para conciliar segurança alimentar com conservação dos recursos naturais, garantindo a resiliência dos sistemas produtivos de hortícolas face aos desafios ambientais do presente.

PALAVRAS-CHAVE: Adubação orgânica; esterco bovino; pó de rocha.

1. INTRODUÇÃO

A Revolução Verde surgiu com a ideia de aumentar a produção de alimentos e erradicar a fome no mundo, baseando-se em um modelo tecnológico dependente de insumos químicos (KLINKENBORG, 1993; ALBERGONI, 2007). No entanto, a partir dos anos 1970, esse sistema revelou limitações, como a redução de inovações, custos elevados e graves impactos ambientais decorrentes do uso intensivo de agroquímicos.

Embora tenha elevado a produtividade agrícola, falhou em seu objetivo social de melhorar a qualidade de vida, gerando críticas devido aos danos ao meio ambiente e à saúde de produtores e consumidores. Diante disso, buscaram-se alternativas sustentáveis

para reduzir os efeitos negativos da agricultura convencional, que levou à degradação de solos cultiváveis (AQUINO; ASSIS, 2005; ONU, 2014).

Nesse contexto, práticas agroecológicas e o uso de adubos naturais ganham destaque, visando equilibrar as necessidades nutricionais e biológicas do solo. A produção orgânica e agroecológica expande-se globalmente, refletindo a demanda por alimentos saudáveis e relações comerciais mais justas (PETERSON et al., 2013).

A adubação orgânica é especialmente crucial em solos tropicais, onde a decomposição da matéria orgânica e a perda de nutrientes são intensas (VILLAS BÔAS et al., 2004). Na horticultura, a alta produtividade em curto prazo exige reposição constante de nutrientes, tornando os adubos naturais essenciais para manter a fertilidade do solo a longo prazo (SOUZA; RESENDE, 2006).

Dentre os adubos naturais mais utilizados, destacam-se o esterco bovino, importante fonte de nitrogênio (MENEZES; SALCEDO, 2007), e os pós de rochas, que fornecem macro e micronutrientes essenciais (LEONARDOS et al., 2000; THEODORO, 2000). Esses insumos sustentam a transição para uma agricultura mais equilibrada, alinhada com as necessidades ambientais e sociais atuais. Perante o exposto, objetivou-se, através deste estudo, analisar o uso de insumos orgânicos na horticultura brasileira, sua viabilidade técnica e sustentabilidades a curto e a longo prazo nos sistemas de produção.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado através de uma análise detalhada da literatura científica e técnica existente, envolvendo artigos de periódicos, livros, relatórios de pesquisa e documentos oficiais, com base em uma revisão bibliográfica integrativa (SOUZA et al., 2010). Essa metodologia permitiu a identificação e síntese de conhecimentos relevantes sobre o tema em questão, abrangendo diferentes perspectivas e abordagens. Na Figura 1, está apresentado um fluxograma que ilustra as principais etapas desta pesquisa.

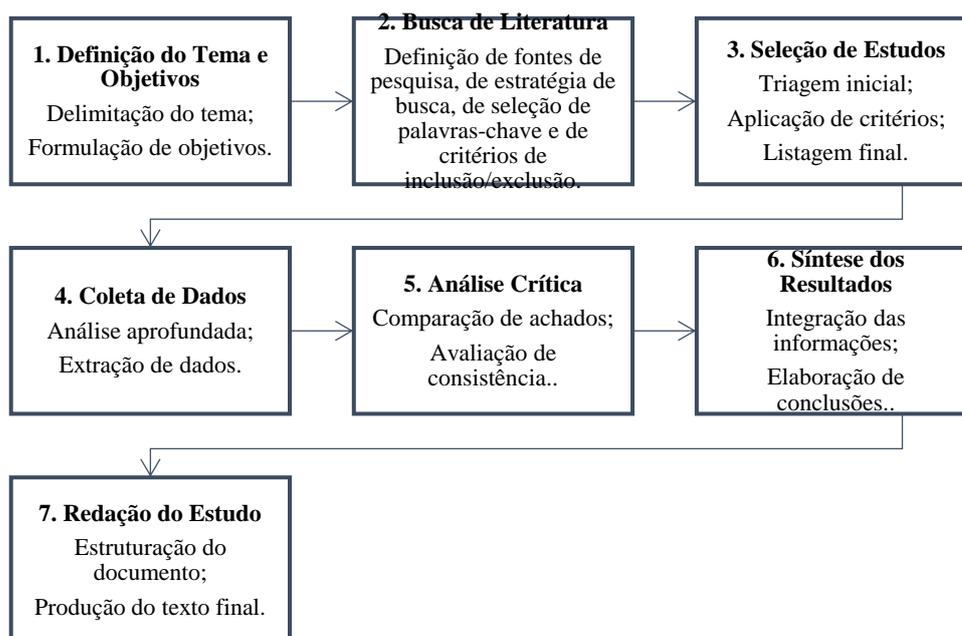


Figura 1. Fluxograma de etapas para a execução do estudo. Fonte: Autoria própria (2025).

As informações obtidas foram estruturadas em tópicos relacionados aos objetivos do estudo, explorando os seguintes eixos temáticos: degradação dos sistemas de produção agrícolas e produção de base ecológica; associação do esterco bovino e pó de rocha na adubação de hortícolas; adubação orgânica; e conclusões que foram fundamentadas na abordagem sistemática realizada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Degradação dos sistemas de produção agrícolas e produção de base ecológica

Em 2014, a ONU alertou que 849 milhões de hectares de terras naturais podem ser degradados até 2050 se não forem adotadas práticas agrícolas sustentáveis, com a América Latina sendo uma das regiões mais ameaçadas. Esse risco está associado ao modelo de agricultura intensiva adotado desde os anos 1950, baseado no preparo excessivo do solo, uso de fertilizantes sintéticos e agrotóxicos (LOPES et al., 2007).

Apesar de ter aumentado a produtividade, esse sistema trouxe graves problemas ambientais, como erosão, perda de matéria orgânica, contaminação hídrica e concentração do controle da cadeia produtiva (PRIMAVESI, 1990; PEREIRA et al., 2014). A busca por maximização de lucros ignorou os limites ecológicos, levando a uma crise de insustentabilidade que ameaça à segurança alimentar global (GLIESSMAN, 2000).

Diante disso, a pesquisa agrícola tem se voltado para tecnologias sustentáveis, alinhadas a princípios ambientais, sociais e econômicos (BORGES FILHO, 2005). Paralelamente, a sociedade demanda cada vez mais alimentos saudáveis e livres de químicos, impulsionando o crescimento da agricultura orgânica e agroecológica (SCHALLENBERGER et al., 2011).

A Agroecologia surge como alternativa, promovendo sistemas que integram biodiversidade, eficiência biológica e sustentabilidade. Diferentemente da visão tradicional, que trata a natureza como recurso infinito, a Agroecologia valoriza interações ecológicas e limites naturais, manejando solo, plantas e água de forma equilibrada (ALTIERI; NICHOLLS, 2003).

Essa abordagem redefine o solo não como mero suporte físico, mas como um organismo vivo e dinâmico, abandonando a dependência de insumos químicos em favor de um manejo que preserve sua vitalidade (PRIMAVESI, 1992). Assim, a transição para modelos sustentáveis não só mitiga os danos ambientais, mas também responde às demandas por alimentos saudáveis e sistemas produtivos justos e resilientes.

3.2. Adubação orgânica

A colheita em agroecossistemas resulta na remoção de biomassa e nutrientes, exigindo reposição para manter a fertilidade do solo. Essa necessidade é mais crítica na horticultura, onde cultivos de ciclo curto e alta produtividade promovem intensa exportação de nutrientes. Como alternativa, a adubação orgânica surge como solução sustentável, atuando nos aspectos químicos, físicos e biológicos do solo, com benefícios de curto e longo prazo (SOUZA; RESENDE, 2006).

Os adubos orgânicos compreendem materiais de origem vegetal, animal ou industrial ricos em carbono, como resíduos de plantas, esterco e compostos urbanos.

Esses materiais, ao se decomporem, liberam nutrientes de forma gradual, influenciando diretamente a disponibilidade para as plantas. Por exemplo, esterco com alta relação carbono/nitrogênio (C/N) liberam nutrientes mais lentamente, prolongando seus efeitos no solo (PRIMAVESI, 1990; PIVA, 2011).

A adubação orgânica atua de forma multifacetada, melhorando a estrutura física do solo, sua capacidade de retenção de água e a atividade microbiana. Dependendo do estágio de decomposição, pode oferecer nutrientes de forma imediata ou residual, contribuindo para a fertilidade contínua (RODRIGUES et al., 2008).

Entre as fontes mais utilizadas estão restos culturais, pós de rochas, cinza vegetal, esterco animal e húmus de minhoca. Esses insumos não apenas repõem nutrientes, mas também promovem a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, alinhando-se aos princípios da Agroecologia (ARAÚJO NETO et al., 2009; SANTOS et al., 2009).

O esterco bovino destaca-se como um dos fertilizantes orgânicos mais eficazes, atuando como potente melhorador das propriedades físicas e químicas do solo ao promover o acúmulo de nitrogênio orgânico e aumentar a disponibilidade de nutrientes para as plantas, reduzindo assim a dependência de fertilizantes químicos (NORONHA, 2000; TEJADA et al., 2008). Sua utilização tem sido particularmente relevante na agricultura familiar do semiárido nordestino, onde se consolida como importante fonte de nitrogênio e fósforo (MENEZES; SALCEDO, 2007), demonstrando seu valor tanto para a fertilidade do solo quanto para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

O pó de rocha surge como uma alternativa econômica e eficiente de adubação, sendo um subproduto de pedreiras e mineradoras que contém variados nutrientes dependendo da composição mineral da rocha e do processo de moagem (RIBEIRO et al., 2010). Sua aplicação oferece múltiplos benefícios: fornece macro e micronutrientes de liberação gradual; melhora a fertilidade do solo e a atividade microbiana; aumenta a produtividade e resistência das plantas a pragas, doenças e estresses climáticos; reduz a necessidade de irrigação e frequência de adubação; além de não acidificar o solo (MELAMED et al., 2007; FERREIRA et al., 2009), tornando-se uma opção sustentável e vantajosa para a agricultura.

3.3. Associação do esterco bovino e pó de rocha na adubação de hortícolas

A combinação de esterco bovino com pó de rocha tem se mostrado uma estratégia eficaz para reduzir a dependência de insumos externos, baratear a produção e fortalecer a agricultura familiar (THEODORO, 2006; TEJADA et al., 2008). Estudos indicam que os microrganismos presentes no esterco aceleram a decomposição do pó de rocha, liberando nutrientes minerais essenciais para o solo (HOFFMAN, 2001). Essa sinergia foi comprovada em cultivos como couve-chinesa, onde substratos com 7% a 9% de pó de rocha associado a composto orgânico superaram o desempenho de substratos comerciais (TESSARO et al., 2012).

Pesquisas com couve-manteiga demonstraram que doses de até 54 Mg ha⁻¹ de composto orgânico (esterco bovino + resíduos vegetais) aumentaram significativamente a biomassa foliar, com destaque para a absorção de potássio (K) e nitrogênio (N) (STEINER et al., 2009). No cultivo de morango, a combinação de altas doses de esterco bovino (100 t ha⁻¹) com doses intermediárias de pó de basalto (2 a 4 t ha⁻¹) resultou em maior produtividade e qualidade dos frutos, devido à capacidade do basalto em reter cátions como cálcio (Ca²⁺) e potássio (K⁺) (CAMARGO et al., 2012).

A alface roxa também apresentou melhor desenvolvimento em sistemas orgânicos com adição de rochagem (kama fugito) e doses crescentes de composto (MUNIZ et al., 2011). Resultados semelhantes também foram observados na batata, onde o pó de rocha potencializou a produtividade quando associado ao esterco bovino (SANTOS et al., 2014). Pereira et al (2019), também verificaram efeitos benéficos da aplicação do pó de rocha e esterco bovino no cultivo de Brassica oleracea L. var. acephala, onde constataram que as doses de 240 g de esterco bovino mais 24 g de pó de rocha geraram aumento das propriedades químicas do solo estudado.

A eficácia dessa associação pode ser atribuída ao processo de mineralização do esterco, que libera íons de amônio (NH_4^+), acidificando o solo e solubilizando os nutrientes do pó de rocha, como cálcio, fósforo e micronutrientes (CAMARGO et al., 2012). Com isso, esses resultados reforçam que a combinação de pó de rocha com esterco bovino melhora a disponibilidade de nutrientes, otimizando a fertilidade do solo e o desempenho das culturas o que fortalece a sustentabilidade nos sistemas de produção e a segurança alimentar a curto e a longo prazo.

4. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados demonstram a necessidade de uma transição dos sistemas agrícolas convencionais para modelos sustentáveis. Nesse sentido, a Agroecologia se consolida como ciência viável, integrando produção alimentar com preservação ambiental através de princípios que respeitam os ciclos naturais e a biodiversidade. Nesse cenário, a adubação orgânica emerge como pilar fundamental nessa transição, oferecendo soluções tanto para a reposição nutricional do solo quanto para a melhoria de suas propriedades físicas e biológicas. A adoção dessas práticas representa, portanto, um caminho promissor para conciliar segurança alimentar com conservação dos recursos naturais, garantindo a resiliência dos sistemas produtivos de hortícolas face aos desafios ambientais do presente.

REFERÊNCIAS

- ALBERGONI, L.; PELAEZ, V. Da Revolução Verde à agrobiotecnologia: ruptura ou continuidade de paradigmas? **Revista de Economia**, v. 33, n. 1 (ano 31), p. 31-53, 2007.
- ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. Agroecologia: Resgatando a Agricultura Orgânica a Partir de um Modelo Industrial de Produção e Distribuição. **Ciência & Ambiente** v.27, 2003.
- AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. **Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável**. Seropédica: Embrapa-Agrobiologia; Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2005. 517p.
- ARAÚJO NETO, S. E. et al. Produção de Muda Orgânica de Pimentão com Diferentes Substratos. **Ciência Rural**, v.39, n.5, 2009.
- BORGES FILHO, E. L. **Da redução de insumos agrícolas à agroecologia: a trajetória das pesquisas com práticas agrícolas mais ecológicas na EMBRAPA**. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Economia. Tese (Desenvolvimento Econômico, Espaço e Meio Ambiente) 2005. 279f. Disponível em: < <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/>. Acesso em: 11 de mar 2024.

- CAMARGO, C. K. et al. Produtividade do Morangueiro em Função da Adubação Orgânica e com Pó de Basalto no Plantio. **Semina: Ciências Agrárias** 2012, v. 33, suplemento 1, p. 2985-2994.
- FERREIRA, E. R. N. C.; ALMEIDA, J. A.; MAFRA, A. L. Pó de basalto, desenvolvimento e nutrição do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) e propriedades químicas de um Cambissolo Húmico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. v. 8, p. 111-121, 2009.
- GLIESSMAN, S. **Agroecologia – Processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: Editora Universidade/UFRGS, 653p., 2000.
- HOFFMANN, I.; GERLING, D.; KYIOGWOM, U. B.; MANÉ-BIELFELDT, A. Farmers Management Strategies to Maintain Soil Fertility in a Remote Area in Northwest Nigeria. **Agriculture Ecosystems Environment**, v. 86, n.3, p. 263-275, 2001.
- KLINKENBORG, V. Fertilizantes químicos afetam negativamente a estrutura dos solos. **National Geographic**, v.12, 1993.
- LEONARDOS, O. H.; THEODORO, S. C. H.; ASSAD, M. L. Remineralization for sustainable agriculture: A tropical perspective from a Brazilian viewpoint. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 56, n. 1, p. 3-9, 2000.
- LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Fertilidade do Solo e Produtividade Agrícola**. Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras – UFLA, 2007. Disponível em: <http://people.ufpr.br/~nutricao/deplantas/fertisolo.pdf>. Acesso em: 23 de mar de 2025.
- MELAMED, R.; GASPAR, J. C.; MIEKELEY, N. **Pó de rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais**. 2007. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br>. Acesso em: 15 de mar de 2025.
- MENEZES, R. S. C.; SALCEDO, I. H. Mineralização de N após Incorporação de Adubos Orgânicos em um Neossolo Regolítico Cultivado com Milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, p.361-367, 2007.
- Muniz, M. P.; LEANDRO, W. M.; SILVA, M. C.; NETO, A. S. D. S.; DE PAULA, L. D. S.; VALENTE, A. F. Crescimento de Alface Roxa (*lactuca sativa* L.) Submetida a Diferentes Tipos e Doses de Composto em Sistema de Cultivo Orgânico. **adernos de Agroecologia** v. 6, n. 2, 2011.
- NORONHA, M. A. S. **Níveis de água disponível e doses de esterco bovino sobre rendimento e qualidade do feijão-vagem**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal da Paraíba. Areia – PB: UFPB/CCA, 76p. il., 2000.
- ONU - Organização das Nações Unidas (ONU). **Relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC)**, 2014. Disponível em: <http://www.diplomatique.org.br/artigo.php?id=1652>. Acesso em: 22 de mar de 2025.
- PEREIRA, M. B. et al. Agricultura Familiar de Base Ecológica: Uma Estratégia para Fortalecer a Segurança Alimentar e a Economia Local. In: **I Seminário Nacional do Núcleo de Extensão Multidisciplinar para o Desenvolvimento Rural (NEMDR)**, Bananeiras PB, João Pessoa: Editora da UFPB. p. 568-579, 2014.
- Pereira, M. B.; MARTINS VERAS, M. L.; LIMA, N.; GONÇALVES SANTOS, L.; JARDELINO DIAS, T. Bovine manure and rock powder and their influences on the chemical characteristics of a soil type Latossolo (yellow oxisols) under butter kale

(*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) cultivation. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 13, n. 3, p. 448-457, 2019.

PETERSEN, P.; SILVEIRA, L.; DIAS, E.; CURADO, F.; SANTOS, A. Sementes ou grãos?: lutas para desconstrução de uma falsa dicotomia. **Agriculturas**, v. 10, n. 1, p. 36-45, 2013.

PIVA, R. **Adubação de videiras cultivares Isabel e Bordô (*Vitis labrusca* L.) para sistema orgânico de produção**. Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, Dissertação (Produção Vegetal), vii, 57 f.: il., 2011.

PRIMAVESI, A. M. Agroecologia e Manejo do Solo. **Agriculturas**, v. 5, n.3, 2008. Requirements for maize. **Agronomy Journal**, 84:59-65, 1992.

PRIMAVESI, A. **Manejo Ecológico do Solo: A Agricultura em Regiões Tropicais**. São Paulo: Nobel, 1990. 549p.

RIBEIRO, L. D. S.; SANTOS, A. R. D.; SOUZA, L. F. D. S.; SOUZA, J. S. Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes do nutriente para as plantas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 54, p. 891-897, 2010.

RODRIGUES, G. S.; TORRES, S. B.; LINHARES, P. C. F., FREITAS, R. D. S.; MARACAJÁ, P. B. Quantidade de Esterco Bovino no Desempenho Agrônômico da Rúcula (*Eruca sativa* L.). **Revista Caatinga**, v.21, p.162-168, 2008.

SANTOS, J. F.; SILVA, E. D.; BESERRA, A. C. Produção agroecológica de batata em relação a doses de pó de rocha. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.8, n.1, p.29-35, mar. 2014.

SANTOS, J. F., GRANGEIRO, J. I. T.; SANTOS, M. Influência do Húmus de Minhoca no Rendimento da Batata Doce. **Engenharia Ambiental**, v. 6, n.2, p. 181 190, 2009.

Schallenberger, E.; Rebelo, J. A.; Mauch, C. R.; Ternes, M.; Stuker, H.; Pegoraro, R. A. Viabilização de Sistema Orgânico de Produção de Tomate por Meio de Abrigos de Cultivo. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 17, n. 1, 2011.

SOUZA, J. L.; RESENDE, P. **Manual de Horticultura Orgânica**. 2.ed, atual. e ampl., Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2006, 843p.: il.

SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Revista Eletrônica de Enfermagem**, v. 18, p. e1173, 2010.

STEINER, F.; SABEDOT, M. A.; LEMOS, J. M. Efeito do Composto Orgânico sobre a Produção e Acúmulo de Nutrientes nas Folhas de Couve Manteiga. **Cadernos de Agroecologia**. vol. 4, n°. 2, 2009.

TEJADA, M.; GONZALEZ, J. L.; GARCÍA-MARTÍNEZ, A. M.; PARRADO, J. Effects of Different Green Manures on Soil Biological Properties and Maize Yield. **Bioresource Technology**, v.99, p.1758-1767, 2008.

Tessaro, D.; Matter, J. M.; Kuczman, O.; Furtado, L. D. F.; Costa, L. A. D. M.; Costa, M. S. S. D. M. Produção Agroecológica de Mudas e Desenvolvimento a Campo de Couve-chinesa. **Ciência Rural**, v. 43, p. 831-837, 2013.

THEODORO, S. C. H. **A fertilização da terra pela terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural**. Brasília: UNB (Tese Doutorado), 2000. 225p.

VILLAS BÔAS, R. L.; PASSOS, J. C.; FERNANDES, D. M.; BÜLL, L. T.; CEZAR, V. R. S.; GOTO, R. Efeito de doses e tipos de compostos orgânicos na produção de alface em dois solos sob ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v.22, n.1, p.28-34, 2004.

USO DE INSUMOS ORGÂNICOS NA AGRICULTURA FAMILIAR DE BASE AGROECOLÓGICA

Micaela Benigna Pereira¹, Reynaldo Teodoro de Fatima¹, Kaline Dantas Travassos², Mateus Gonçalves Silva¹, Anderson Bruno Anacleto de Andrade¹, Maria Amanda Guedes³, Alesia Alves de Sousa¹

¹Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/Campus Pombal, Pombal-PB, e-mail: micaelabp@gmail.com

²Instituto Nacional do Semiárido – INSA, Campina Grande-PB

³Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/Campus Campina Grande -PB

RESUMO

A adoção de novas práticas e tecnologias no manejo da produção agrícola, tem subsidiado, a reconfiguração do modelo de agricultura moderno e o resgate da agricultura tradicional. Diante disso, sendo a Agroecologia uma ciência, que identifica e sistematiza as estratégias de produção nos agroecossistemas familiares adaptando-os aos princípios de desenvolvimento, que priorize os pilares da sustentabilidade no meio rural, buscou-se através deste estudo realizar uma revisão sobre o uso de insumos orgânicos na agricultura familiar de base agroecológica, explorando os diferentes tipos de insumos, seus benefícios e desafios, bem como o impacto na produtividade, e na sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Neste trabalho, adotou-se a metodologia de revisão integrativa, que compreendeu a seleção de artigos científicos e de revisão publicados recentemente, tanto em inglês quanto em português. A pesquisa bibliográfica foi realizada por meio da utilização de palavras-chave relevantes ao tema, seguida da aplicação de critérios de inclusão e exclusão. Os artigos selecionados foram analisados minuciosamente, aplicando-se os critérios pré-estabelecidos. Conclui-se que: a agricultura familiar de base agroecológica oferece uma alternativa sustentável ao modelo convencional, promovendo sistemas diversificados e equilibrados. O uso de insumos orgânicos, como esterco e biofertilizantes, mostrou-se eficaz na melhoria do solo e na produtividade, mas sua expansão enfrenta desafios, exigindo políticas públicas robustas, pesquisa aplicada e maior difusão tecnológica. Logo, a transição para sistemas de produção de base agroecológica depende de investimentos em capacitação, assistência técnica e articulação entre ciência, políticas e movimentos sociais para consolidar sistemas alimentares mais justos e resilientes.

PALAVRAS-CHAVE: Agroecossistemas, agroecologia, sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o setor agrícola passou por uma intensa transformação em busca da modernização. Esse processo resultou em um modelo de desenvolvimento socialmente excludente e ecologicamente predatório, levando à marginalização social, econômica e política de muitos agricultores familiares (CAUME, 2003).

Esse caráter excludente provocou reações de grupos de agricultores que não são contemplados pelos subsídios governamentais, bem como daqueles que resistem ao processo, negando-o veementemente como forma de resistência e reprodução social. Com

isso, buscam sistemas produtivos e organizacionais que primem por uma agricultura socialmente justa, economicamente viável e ecologicamente equilibrada (ARAÚJO, 2018).

A adoção de novas práticas e tecnologias no manejo da produção agrícola tem subsidiado a reconfiguração do modelo de agricultura moderna e o resgate da agricultura tradicional (ALTIERI, 2009; KHATOUNIAN, 2001). Entre as principais dificuldades enfrentadas pelos agricultores familiares está a disponibilidade de insumos que atendam às especificidades dos sistemas de produção de base ecológica, uma vez que se buscam fertilizantes capazes de proporcionar bons rendimentos às culturas e melhorias nas características químicas, físicas e biológicas do solo (KARLEN et al., 1997).

Nesse contexto, o uso de insumos orgânicos apresenta-se como uma ferramenta importante para o manejo do solo, minimizando o déficit de fertilizantes em sistemas produtivos ecológicos. Estudos sobre as práticas de manejo do solo adotadas nesses sistemas são fundamentais para analisar seus efeitos positivos ou negativos na qualidade do solo e na produtividade das culturas (CARNEIRO et al., 2009; NIERO et al., 2010).

Diante disso, objetivou-se através deste estudo realizar uma revisão sobre o uso de insumos orgânicos na agricultura familiar de base agroecológica, explorando os diferentes tipos de insumos, seus benefícios e desafios, bem como o impacto na produtividade, e na sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi conduzido por meio de uma análise abrangente da literatura científica e técnica disponível, incluindo artigos de periódicos, livros, relatórios de pesquisa e documentos governamentais, fundamentado em uma revisão bibliográfica integrativa (SOUZA et al., 2010). Na Figura 1, pode-se observar um fluxograma que representa as etapas fundamentais deste estudo.

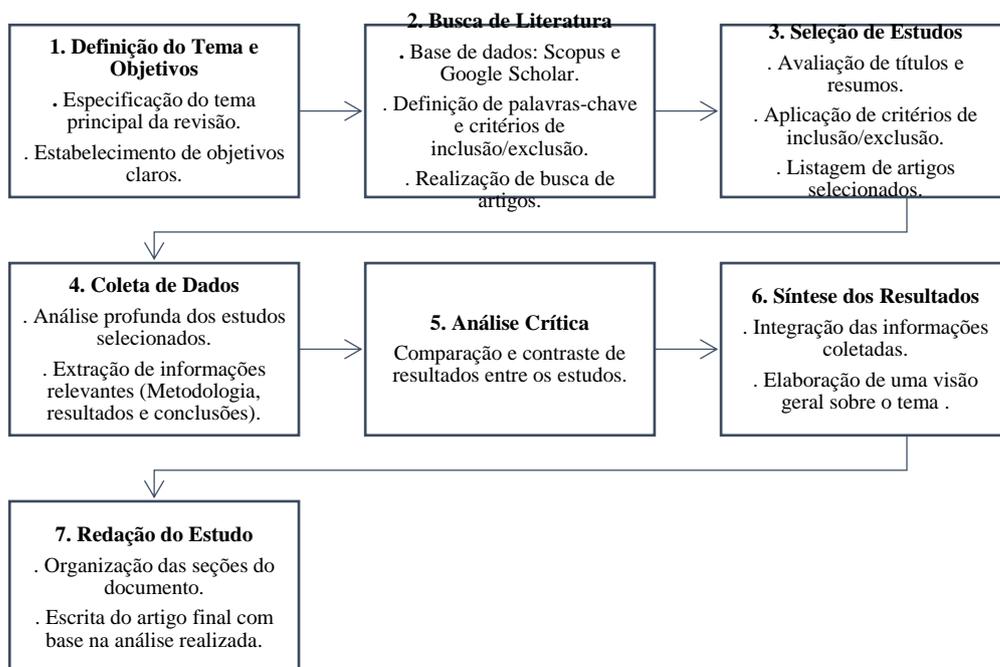


Figura 1. Fluxograma de etapas para a execução do estudo. Fonte: Autoria própria (2025).

Os dados coletados foram organizados em tópicos alinhados aos objetivos do estudo, abordando os seguintes eixos temáticos: A agricultura familiar na perspectiva agroecológica e a sustentabilidade dos agroecossistemas; Uso de insumos orgânicos na agricultura de base ecológica e seus benefícios; e considerações que fundamentaram as conclusões do trabalho.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1.A agricultura familiar na perspectiva agroecológica e a sustentabilidade dos agroecossistemas

Entre as décadas de 1960 e 1970, a agricultura brasileira passou por um processo de modernização impulsionado pelo Estado, que incentivou o uso de agroquímicos e a integração entre os setores agrícola e industrial (GAVIOLI e COSTA, 2011). Contudo, esse modelo reforçou a concentração de terras e priorizou a exportação, resultando em exclusão social e degradação ambiental, conforme aponta Caume (2003). A marginalização de pequenos agricultores familiares evidenciou os limites de um desenvolvimento desigual.

A modernização não ocorreu de forma homogênea, sendo classificada por Borba (2002) como um processo incompleto. A exclusão de políticas públicas gerou resistência entre agricultores não beneficiados, que passaram a buscar alternativas produtivas alinhadas à justiça social, viabilidade econômica e equilíbrio ecológico. Essa reação destacou a insustentabilidade do modelo convencional.

Nesse cenário, a Agroecologia emergiu como ciência, movimento social e prática (WEZEL et al., 2010), sistematizando estratégias para adaptar agroecossistemas familiares aos princípios de sustentabilidade. Sua proposta visa integrar conhecimento tradicional e inovação, promovendo sistemas agrícolas diversificados e menos dependentes de insumos externos, conforme os pilares ambiental, social e econômico.

Marques (2009) destaca que a transição agroecológica envolve a criação de estratégias para autonomia dos agricultores, mantendo-os no campo. Saúde, consciência ecológica e respeito à natureza são motivadores centrais para a adoção dessas práticas. A autora enfatiza que a satisfação e o orgulho em produzir de forma sustentável são tão relevantes quanto os benefícios econômicos.

Dados do Plano Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (2016) revelam que apenas 1,7% dos estabelecimentos rurais brasileiros adotam métodos orgânicos – termo usado pelo relatório para abranger agroecologia. A Região Nordeste concentra 46,6% desses casos, mas representa apenas 1,72% de suas propriedades. A baixa adoção expõe desafios na disseminação dessas práticas, mesmo com a demanda crescente por produtos saudáveis.

Apesar do mercado de orgânicos crescer 30% ao ano (IPEA, 2012) e movimentar US\$ 250 milhões (ABREU et al., 2009), ele corresponde a menos de 1% do mercado alimentar nacional. Essa contradição reforça a necessidade de políticas públicas e pesquisas aplicadas, como propõe Araújo (2018), para ampliar a agroecologia e analisar seus impactos socioeconômicos, incluindo estudos regionais sobre manejo de resíduos e eficácia de métodos sustentáveis.

3.2. Uso de insumos orgânicos na agricultura de base ecológica e seus benefícios

A integração de resíduos como insumos em sistemas produtivos requer a associação de componentes da cadeia produtiva (KONZEN, 2003). O aumento do custo de fertilizantes minerais impulsiona pesquisas sobre a viabilidade técnica de insumos orgânicos (MELO et al., 2008), especialmente em regiões onde seu uso, com manejo adequado, pode fortalecer sistemas de produção ecológicos (HOLT-GIMÉNEZ e ALTIERI, 2013).

Segundo LUND e DOSS (1980), esterco de qualidade aplicados em doses adequadas atendem às necessidades de macronutrientes das plantas, destacando-se o potássio por sua elevada concentração no solo. A eficácia desses resíduos varia conforme o tipo de solo. Em sistemas ecológicos, o esterco bovino é amplamente utilizado, principalmente em solos pobres em matéria orgânica, por melhorar características físicas e químicas, como densidade, permeabilidade e retenção de água, além de reduzir a dependência de fertilizantes químicos (FILGUEIRA, 2008; TEJADA et al., 2008).

A adição de esterco bovino ao solo promove efeitos imediatos ou residuais, dependendo do grau de decomposição pela biomassa microbiana (RODRIGUES et al., 2008). Estudos como o de Galvão et al. (2008) em Neossolo mostraram acumulações significativas de carbono (20 Mg ha^{-1}), nitrogênio (2 Mg ha^{-1}) e outros nutrientes, evidenciando seu potencial para melhorar a química, física e biologia do solo, favorecendo o desenvolvimento radicular (MALAVOLTA, 1989).

Magalhães (2017) observou em Latossolo Vermelho eutrófico que o esterco bovino aumentou a porosidade total, a macroporosidade e a estabilidade de agregados, reduzindo a densidade e a resistência à penetração. Bandyopadhyay et al. (2010), em Vertissolo na Índia, confirmaram melhorias na condutividade hidráulica e na estrutura dos agregados, reforçando os benefícios físicos desse insumo.

Esterco caprino e ovinos também são valorizados em sistemas ecológicos. Alves e Pinheiro (2008) destacam seu potencial para recuperação de solos, embora haja poucos dados sobre seu uso comparado ao bovino. Tibau (1993) aponta que o esterco caprino fermenta mais rápido, permitindo aplicação após menor decomposição. Melo et al. (2009) verificaram aumentos de 85% e 101% na produtividade de milho e feijão-caupi, respectivamente, no semiárido pernambucano, com melhorias na disponibilidade de fósforo e potássio.

Arruda de Brito et al. (2013), estudando pinhão-manso na Paraíba, obtiveram os melhores resultados com 5 litros de esterco caprino por cova. Quanto ao esterco ovino, pesquisas indicam incrementos em parâmetros vegetativos (número de folhas, altura de plantas) e na qualidade de mudas (SILVA et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2015). Brito et al. (2005) observaram que seu uso elevou cálcio, matéria orgânica e CTC do solo, com efeitos intensificados após três meses.

O adubo Bio Bokashi, certificado para agricultura orgânica, surge como alternativa, elevando teores de nitrogênio, fósforo e potássio no solo sem perdas por lixiviação (OURIVES et al., 2010). Composto por farelos, farinhas e pós de rochas, ele estimula a microbiota do solo, facilitando a ciclagem de nutrientes (SIQUEIRA; SIQUEIRA, 2013).

Estudos práticos comprovam sua eficácia: Silva et al. (2018) relataram aumento na produtividade de beterraba com 600 g m^{-2} de bokashi em São Manuel-SP. Já Silva et al. (2017), testando doses em cenouras mineiras, identificaram a dose de 930 kg ha^{-1} como ideal para maximizar resultados em recipientes alternativos. Esses dados reforçam o potencial de insumos orgânicos diversificados para sistemas agrícolas sustentáveis.

4. CONCLUSÕES

Constatou-se que a agricultura familiar de base agroecológica oferece uma alternativa sustentável ao modelo convencional, promovendo sistemas diversificados e equilibrados. O uso de insumos orgânicos, como esterco e biofertilizantes, mostrou-se eficaz na melhoria do solo e na produtividade, mas sua expansão enfrenta desafios, exigindo políticas públicas robustas, pesquisa aplicada e maior difusão tecnológica. Portanto, a transição para sistemas de produção de base agroecológica depende de investimentos em capacitação, assistência técnica e articulação entre ciência, políticas e movimentos sociais para consolidar sistemas alimentares mais justos e resilientes.

REFERÊNCIAS

- ABREU, L. S. D.; KLEDAL, P. R.; PETTAN, K.; RABELLO, F.; MENDES, S. C. Trajetória e situação atual da agricultura de base ecológica no Brasil e no estado de São Paulo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 26, n. 1, p. 149-178, 2009.
- ALTIERI, M. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. 5 ed. Porto Alegre: UFRGS, 2009. 120p.
- ARAÚJO, R. M. **Uso de resíduos na agricultura familiar de base ecológica: efeitos na qualidade do solo e no desempenho agrônômico do feijoeiro**. 128 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), 2018.
- BRITO, K. S. A.; LAIME, E. M. O.; FERNANDES, J. Crescimento e produção de Pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função de fontes e doses de matéria orgânica. **Engenharia ambiental**. v. 10, n.1, p. 134-142. 2013.
- BANDYOPADHYAY, K. K.; MISRA, A. K.; GHOSH, P. K.; HATI, K. M. Effect of integrated use of farmyard manure and chemical fertilizers on soil physical properties and productivity of soybean. **Soil and Tillage Research**, v. 110, n. 1, p. 115-125, 2010.
- BORBA, M. F. S. **La marginalidad como potencial para la construcción de "otro" desarrollo**. El caso de santana da boa vista, Rio Grande do Sul, Brasil. Tese de Doutorado. Universidad de Córdoba., 2002.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. D.; REIS, E. F. D.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. D. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, 2009.
- CAUME, D J. Segurança alimentar, reforma agrária e agricultura familiar. **Revista UFG**, v. 5, n. 1, 2003.
- FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3 ed., Viçosa:UFV, 2008. 421p.
- GALVÃO, S. R.S; SALCEDO, I. H.; DE OLIVEIRA, F. F. Acumulação de nutrientes em solos arenosos adubados com esterco bovino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 99-105, 2008.

GAVIOLI, F. R.; COSTA, M. B. B. As múltiplas funções da agricultura familiar: um estudo no assentamento Monte Alegre, região de Araraquara (SP). **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 49, n. 2, p. 449-472, 2011.

IPEA. Fiscais da saúde dos alimentos – Empresa de Botucatu é exemplo de certificadora de produtos orgânicos, 2012.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, n. 1, p. 4-10, 1997.

KHATOUNIAN, C. A. **A reconstrução ecológica da agricultura**. Botucatu: Agroecológica, 2001. 345p.

KONZEN, E. A. Fertilização de lavoura e pastagem com dejetos de suínos e cama de aves. **Embrapa Milho e Sorgo**, v.31, 2003.

MAGALHÃES, I. D. P. B.; SEDIYAMA, M. A. N.; SILVA, F. D. B. D.; VIDIGAL, S. M.; PINTO, C. L. O.; LOPES, I. P. C. Produtividade e exportação de nutrientes em feijão vagem adubado com esterco de galinha. **Revista Ceres**, v. 64, n. 2, p. 98-107, 2017.

MALAVOLTA, E.; NETTO, A. V. **Nutrição mineral, calagem, gessagem e adubação dos citros**. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989.754p.

MARQUES, F. C. **Velhos conhecimentos, novos desenvolvimentos: transições no regime sócio-técnico da agricultura: a produção de novidades entre agricultores produtores de plantas medicinais no sul do Brasil**. 220 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Rural) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

MELO, L.C.A; SILVA, C. A.; DIAS, B.O. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 101-110, 2008.

MELO, R. F. D. M. R.; LUIZA, L. T. D. L. B.; PEREIRA, L. A. P. L.; ANJOS, J. B. D. A. J. Avaliação do uso de adubo orgânico nas culturas de milho e feijão caupi em barragem subterrânea. **Revista Brasileira de Agroecologia**. v. 4, n.2, p. 1264-1267, 2009.

NIERO, L. A. C.; DECHEN, S. C. F.; COELHO, R. M.; MARIA, I. C. D. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distroférrico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1271-1282, 2010.

OLIVEIRA, F. S.; FARIAS, O. R.; NOBRE, R. G.; FERREIRA, I. B.; FIGUEREDO, L. C.; OLIVEIRA, F. S. Produção de mudas de mamoeiro ‘Formosa’ com diferentes doses de esterco ovino. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 58, n. 1, p. 52-57, 2015.

OURIVES, O. E. A.; SOUZA, G. M.; TIRITAN, C. S.; SANTOS, D. H. Fertilizante orgânico como fonte de fósforo no cultivo inicial de *Brachiaria brizantha* cv. Marandú. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 2, p.126-132, 2010.

SILVA, E. F.; SOUZA, E. G. F.; SANTOS, M. G.; ALVES, M. J. G.; JÚNIOR, A. P. B.; SILVEIRA, L. M., SOUSA, T. P. Qualidade de mudas de pepino produzidas em substratos à base de esterco ovino. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v.10, n.3, p. 93-99, 2014.

- SILVA, L. S.; BARBOSA, V.M.; JESUS, M. O.; BARBOSA, J.A.E.; CUNHA, L. M. V.; MIZOBUTS, G. P. Avaliação física e química de cenouras produzidas em diferentes doses de Bokashi em recipiente alternativo. **Revista Intercâmbio** - v. 9, p. 179, 2017.
- SILVA, P. N. L.; LANNA, N. de B. L.; CARDOSO, A. I. I. Doses de bokashi em cobertura na produção de beterraba. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 5, n. 1, p. 28-34, 2018.
- SIQUEIRA, A. P. P.; SIQUEIRA, M. F. B. Bokashi: adubo orgânico fermentado. Niterói-RJ: Programa Rio Rural, 2013. 16p.
- SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Revista Eletrônica de Enfermagem**, v. 18, p. e1173, 2010.
- TEJADA, M.; GONZALEZ, J. L.; GARCÍA-MARTÍNEZ, A. M.; PARRADO, J. Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. **Bioresource Technology**, v.99, p.1758-1767, 2008.
- TIBAU, A.O. **Matéria orgânica e fertilidade do solo**. São Paulo: Editora Nobel, 1983. 220p.
- WEZEL, A.; BELLON, S.; DORÉ, T., FRANCIS, C.; VALLOD, D.; DAVID, C. Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, vol. 29, p. 503–515, 2009.

USO E MANEJO DE BIOINSUMOS PARA AGRICULTURA

João Manoel da Silva¹, Yamina Coentro Montaldo², Tania Marta Carvalho dos Santos², Regla Toujaguez², Paula Cibelly Vilela da Silva³, Rafael dos Santos Balbino¹, Augusto Araújo Santos¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas – IFAL/Campus Santana do Ipanema, Santana do Ipanema-AL, e-mail: agrobio.jm@gmail.com

²Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas – CECA-UFAL, Rio Largo – AL,

³Rede Nordeste de Biotecnologia, Instituto de Química e Biotecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió-AL - RENORBIO-IQB-UFAL

RESUMO

O uso de bioinsumos na agricultura surge como uma estratégia promissora para promover sistemas agrícolas mais sustentáveis, alinhados aos princípios da agroecologia e à agricultura de baixo impacto ambiental. Eles reduzem a dependência de insumos químicos, como fertilizantes sintéticos e agrotóxicos, minimizando os impactos ambientais e os riscos à saúde humana. Biofertilizantes e inoculantes microbianos melhoram a saúde do solo, promovendo a retenção de água e nutrientes e a decomposição da matéria orgânica, o que favorece a fertilidade a longo prazo. Biopesticidas, como *Bacillus thuringiensis* e *Beauveria bassiana*, oferecem uma alternativa mais segura e eficaz aos pesticidas convencionais. Além disso, os bioinsumos contribuem para o crescimento vegetal, aumentando a absorção de água e nutrientes e a resistência das plantas a estresses ambientais, como seca e salinidade. Sua adoção também pode reduzir os custos de produção, especialmente para pequenos agricultores, e melhorar a qualidade e produtividade das culturas, gerando acesso a mercados diferenciados, como os de produtos orgânicos. Além disso, os bioinsumos têm impacto positivo na inclusão social e no desenvolvimento rural, oferecendo oportunidades de renda para pequenas comunidades e fortalecendo a autonomia dos produtores. Contudo, desafios como a falta de conhecimento técnico, infraestrutura inadequada e a escassez de regulamentação limitam sua adoção em larga escala. A pesquisa e o desenvolvimento de novos bioinsumos, assim como a integração com outras práticas agroecológicas, têm o potencial de impulsionar a agricultura rumo a um futuro mais sustentável e resiliente, alinhado aos desafios globais atuais.

PALAVRAS-CHAVE: bioestimulantes, agricultura sustentável, micro-organismos eficientes.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura contemporânea enfrenta desafios sem precedentes, como a necessidade de aumentar a produção de alimentos para atender uma população global em crescimento, ao mesmo tempo em que se busca reduzir os impactos ambientais decorrentes das práticas agrícolas convencionais (FAO, 2021). Nesse contexto, a agricultura sustentável emerge como um paradigma essencial, visando equilibrar produtividade, conservação dos recursos naturais e equidade social. Dentro desse escopo, os bioinsumos têm ganhado destaque como ferramentas promissoras para promover sistemas agrícolas mais resilientes e menos dependentes de insumos químicos (Altieri; Nicholls, 2017).

Os bioinsumos, definidos como produtos de origem biológica utilizados no manejo agrícola, incluem biofertilizantes, biopesticidas, inoculantes microbianos e outros agentes biológicos que atuam na promoção do crescimento vegetal, no controle de pragas e doenças e na melhoria da saúde do solo (Brasil, 2020). Esses insumos representam uma alternativa viável para reduzir o uso de fertilizantes sintéticos e agrotóxicos, cujos impactos negativos sobre o meio ambiente e a saúde humana têm sido amplamente documentados (Pimentel; Burgess, 2014). Além disso, os bioinsumos alinham-se aos princípios da agroecologia, que preconiza a integração de processos ecológicos nos sistemas agrícolas (Gliessman, 2018).

A adoção de bioinsumos tem sido incentivada por políticas públicas em diversos países, incluindo o Brasil, onde o Programa Nacional de Bioinsumos foi lançado em 2020 com o objetivo de fomentar a produção e o uso desses insumos (Brasil, 2020). No entanto, apesar dos avanços, ainda existem desafios significativos relacionados à eficácia, regulamentação e adoção em larga escala desses produtos. Estudos recentes destacam a necessidade de maior investimento em pesquisa e desenvolvimento, bem como em capacitação técnica para agricultores (Santos et al., 2021).

Do ponto de vista ambiental, os bioinsumos contribuem para a redução da contaminação de solos e corpos hídricos, a mitigação das emissões de gases de efeito estufa e a preservação da biodiversidade (Kumar et al., 2022). Por exemplo, o uso de microrganismos fixadores de nitrogênio pode diminuir a dependência de fertilizantes nitrogenados, cuja produção e aplicação estão associadas a elevados custos energéticos e ambientais (Malusá; Vassilev, 2014). Além disso, os bioinsumos podem promover a recuperação de solos degradados, aumentando sua fertilidade e capacidade de retenção de água (Lehmann et al., 2011).

No âmbito socioeconômico, a utilização de bioinsumos pode gerar benefícios significativos, especialmente para pequenos e médios agricultores, ao reduzir custos de produção e aumentar a rentabilidade das lavouras (Díaz-Rodríguez et al., 2025). No entanto, a adoção dessas tecnologias ainda é limitada por fatores como a falta de acesso a informações técnicas, a escassez de produtos registrados e a desconfiança em relação à sua eficácia (Bortoloti; Sampaio, 2024). Portanto, é fundamental promover estratégias de difusão de conhecimento e fortalecer a cadeia produtiva de bioinsumos.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Agricultura Sustentável: Princípios e Desafios

A agricultura sustentável é um conceito amplo que busca integrar práticas agrícolas que sejam economicamente viáveis, socialmente justas e ambientalmente corretas (FAO, 2021). Segundo Altieri e Nicholls (2017), a sustentabilidade na agricultura envolve a adoção de sistemas produtivos que minimizem o uso de recursos não renováveis e promovam a resiliência dos ecossistemas. Esse paradigma surge como resposta aos impactos negativos da agricultura convencional, que incluem degradação do solo, contaminação de recursos hídricos e perda de biodiversidade (Gliessman, 2018).

Um dos princípios fundamentais da agricultura sustentável é a conservação dos recursos naturais, como solo, água e biodiversidade (Pretty, 2018). A manutenção da saúde do solo, por exemplo, é essencial para garantir a produtividade agrícola a longo prazo. Práticas como rotação de culturas, plantio direto e uso de coberturas vegetais são

amplamente recomendadas para melhorar a estrutura e a fertilidade do solo (Lehmann et al., 2011).

Outro princípio importante é a redução da dependência de insumos externos, como fertilizantes sintéticos e agrotóxicos. A agricultura sustentável preconiza o uso de insumos orgânicos e biológicos, que promovem a ciclagem de nutrientes e o controle natural de pragas e doenças (Altieri; Nicholls, 2017). Essa abordagem não apenas reduz os custos de produção, mas também minimiza os impactos ambientais associados ao uso de produtos químicos (Pimentel; Burgess, 2014).

A diversificação dos sistemas agrícolas é outro pilar da agricultura sustentável. A monocultura, característica da agricultura convencional, está associada a diversos problemas, como o aumento da incidência de pragas e doenças e a redução da resiliência dos ecossistemas (Gliessman, 2018). A diversificação, por sua vez, promove a estabilidade ecológica e econômica, além de contribuir para a segurança alimentar (Pretty, 2018).

A agricultura sustentável também enfatiza a importância da equidade social e da inclusão de pequenos agricultores. Segundo a FAO (2021), a adoção de práticas sustentáveis pode melhorar a qualidade de vida das comunidades rurais, garantindo acesso a alimentos nutritivos e gerando oportunidades de renda. No entanto, a transição para sistemas agrícolas mais sustentáveis requer políticas públicas adequadas e investimentos em pesquisa e extensão rural (Bortoloti; Sampaio, 2024).

Apesar dos benefícios, a adoção da agricultura sustentável enfrenta diversos desafios. Um dos principais é a falta de conhecimento e capacitação técnica entre os agricultores, especialmente em regiões de baixa renda (Santos et al., 2021). Além disso, a transição para práticas sustentáveis muitas vezes envolve custos iniciais elevados e riscos econômicos, o que pode desencorajar os produtores (Kumar et al., 2019).

Outro desafio é a necessidade de adaptação às mudanças climáticas, que representam uma ameaça significativa para a agricultura global. A agricultura sustentável deve incorporar estratégias de mitigação e adaptação, como o uso de culturas resistentes à seca e a implementação de sistemas agroflorestais (Malusá; Vassilev, 2014). Essas práticas não apenas reduzem a vulnerabilidade dos sistemas agrícolas, mas também contribuem para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (Lehmann et al., 2011).

A regulamentação e o apoio governamental também são fatores críticos para a promoção da agricultura sustentável. Em muitos países, a falta de políticas públicas adequadas e de incentivos financeiros dificulta a adoção de práticas sustentáveis (Brasil, 2020). Além disso, a ausência de padrões claros para a certificação de produtos sustentáveis pode limitar o acesso a mercados diferenciados (Bortoloti; Sampaio, 2024).

A agricultura sustentável também enfrenta desafios relacionados à escala de produção. Enquanto práticas sustentáveis são mais facilmente implementadas em pequenas propriedades, sua adoção em larga escala requer mudanças estruturais nos sistemas de produção e distribuição (Pretty, 2018). A integração de tecnologias inovadoras, como agricultura de precisão e bioinsumos, pode facilitar essa transição (Díaz-Rodríguez et al., 2025).

Pode-se então perceber que a agricultura sustentável representa uma abordagem holística para enfrentar os desafios contemporâneos da produção de alimentos. Seus princípios fundamentais incluem a conservação dos recursos naturais, a redução da dependência de insumos externos, a diversificação dos sistemas agrícolas e a promoção da equidade social. No entanto, a adoção dessas práticas enfrenta desafios significativos,

que vão desde a falta de capacitação técnica até a necessidade de políticas públicas adequadas (FAO, 2021).

2.2. Bioinsumos: Definição e Tipos

Os bioinsumos são produtos de origem biológica utilizados no manejo agrícola para promover o crescimento das plantas, controlar pragas e doenças e melhorar a saúde do solo (BRASIL, 2020). Esses insumos incluem microrganismos, extratos vegetais, enzimas e outros agentes biológicos que atuam de forma sinérgica com os processos naturais dos ecossistemas (Kumar et al., 2019).

A definição de bioinsumos abrange uma ampla variedade de produtos, que podem ser classificados em diferentes categorias de acordo com sua função e composição. Entre os principais tipos de bioinsumos estão os biofertilizantes, os biopesticidas, os inoculantes microbianos e os promotores de crescimento vegetal (Díaz-Rodríguez et al., 2025).

Os biofertilizantes são produtos que contêm microrganismos capazes de fixar nitrogênio, solubilizar fosfatos ou promover o crescimento das plantas por meio da produção de hormônios vegetais (Malusá; Vassilev, 2014). Esses insumos são particularmente importantes para reduzir a dependência de fertilizantes sintéticos, que têm impactos negativos sobre o meio ambiente e a saúde humana (Pimentel; Burgess, 2014).

Os biopesticidas, por sua vez, são formulados à base de microrganismos, extratos vegetais ou substâncias naturais que atuam no controle de pragas e doenças (Altieri; Nicholls, 2017). Esses produtos são uma alternativa aos agrotóxicos químicos, que estão associados a problemas como a resistência de pragas, a contaminação do solo e da água e os riscos à saúde dos agricultores (Gliessman, 2018).

Os inoculantes microbianos são produtos que contêm microrganismos benéficos, como bactérias fixadoras de nitrogênio e fungos micorrízicos, que estabelecem relações simbióticas com as plantas (Lehmann et al., 2011). Esses microrganismos melhoram a absorção de nutrientes e a resistência das plantas a estresses ambientais, contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Díaz-Rodríguez et al., 2025).

Os promotores de crescimento vegetal são bioinsumos que contêm substâncias como hormônios vegetais, aminoácidos e vitaminas, que estimulam o desenvolvimento das plantas (Kumar et al., 2019). Esses produtos são utilizados para aumentar a produtividade e a qualidade das culturas, reduzindo a necessidade de insumos químicos (Thapa; Prasad, 2011).

Além desses tipos, existem outros bioinsumos que atuam na melhoria da saúde do solo, como os biochar e os compostos orgânicos enriquecidos com microrganismos (Lehmann et al., 2011). Esses produtos contribuem para a recuperação de solos degradados, aumentando sua fertilidade e capacidade de retenção de água (Gliessman, 2018).

A utilização de bioinsumos na agricultura oferece diversos benefícios, tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico. Do ponto de vista ambiental, os bioinsumos contribuem para a redução da contaminação do solo e da água, a mitigação das emissões de gases de efeito estufa e a preservação da biodiversidade (Kumar et al., 2019). Além disso, eles promovem a saúde do solo, aumentando sua capacidade de suportar a produção agrícola a longo prazo (Lehmann et al., 2011).

Do ponto de vista econômico, os bioinsumos podem reduzir os custos de produção, especialmente para pequenos e médios agricultores, ao diminuir a dependência de insumos químicos caros (Díaz-Rodríguez et al., 2025). Além disso, a adoção de bioinsumos pode aumentar a rentabilidade das lavouras, ao melhorar a produtividade e a qualidade das culturas (Malusá; Vassilev, 2014).

No entanto, a adoção de bioinsumos enfrenta desafios significativos, que incluem a falta de conhecimento técnico, a escassez de produtos registrados e a desconfiança em relação à sua eficácia (Bortoloti; Sampaio, 2024). Além disso, a produção e a comercialização de bioinsumos requerem investimentos em pesquisa e desenvolvimento, bem como a criação de políticas públicas que incentivem seu uso (Brasil, 2020).

A regulamentação dos bioinsumos é outro desafio importante. Em muitos países, a falta de padrões claros para a produção e o controle de qualidade desses produtos dificulta sua adoção em larga escala (Santos et al., 2021). Além disso, a ausência de mecanismos de certificação pode limitar o acesso a mercados diferenciados, que valorizam práticas agrícolas sustentáveis (Bortoloti; Sampaio, 2024).

Apesar desses desafios, os bioinsumos representam uma ferramenta promissora para a transição para sistemas agrícolas mais sustentáveis. A integração desses insumos com outras práticas agroecológicas, como a rotação de culturas e o manejo integrado de pragas, pode potencializar seus benefícios e contribuir para a resiliência dos sistemas agrícolas (Altieri; Nicholls, 2017).

A pesquisa e o desenvolvimento de novos bioinsumos são áreas de grande potencial, especialmente no contexto das mudanças climáticas e da crescente demanda por alimentos sustentáveis (Kumar et al., 2019). A biotecnologia, por exemplo, tem sido utilizada para desenvolver microrganismos mais eficientes e adaptados a diferentes condições ambientais (Díaz-Rodríguez et al., 2025).

Além disso, a educação e a capacitação dos agricultores são essenciais para promover a adoção de bioinsumos. Programas de extensão rural que forneçam informações técnicas e práticas sobre o uso e o manejo desses insumos podem contribuir para superar as barreiras à sua adoção (Bortoloti; Sampaio, 2024).

Podemos compreender que os bioinsumos são produtos de origem biológica que oferecem uma alternativa sustentável aos insumos químicos na agricultura. Eles incluem biofertilizantes, biopesticidas, inoculantes microbianos e promotores de crescimento vegetal, entre outros. A utilização desses insumos traz benefícios ambientais e econômicos, mas enfrenta desafios relacionados à falta de conhecimento técnico, à regulamentação e à produção em larga escala (Brasil, 2020).

A integração de bioinsumos com outras práticas agroecológicas e o investimento em pesquisa e desenvolvimento são estratégias fundamentais para superar esses desafios e promover a adoção desses insumos na agricultura sustentável (Altieri; Nicholls, 2017). A agricultura sustentável e os bioinsumos são, portanto, conceitos interligados que oferecem uma abordagem promissora para enfrentar os desafios contemporâneos da produção de alimentos. A adoção dessas práticas pode contribuir para a conservação dos recursos naturais, a redução dos impactos ambientais e a promoção da equidade social no meio rural (FAO, 2021).

No entanto, a transição para sistemas agrícolas mais sustentáveis requer a superação de desafios significativos, que incluem a falta de capacitação técnica, a necessidade de políticas públicas adequadas e a adaptação às mudanças climáticas (Pretty, 2018). A pesquisa e a inovação têm um papel crucial nesse processo, especialmente no desenvolvimento de novos bioinsumos e tecnologias que facilitem a adoção de práticas sustentáveis (Díaz-Rodríguez et al., 2025).

A agricultura sustentável e os bioinsumos representam uma abordagem holística e integrada para promover sistemas agrícolas mais resilientes e menos dependentes de insumos químicos. A adoção dessas práticas pode contribuir para a segurança alimentar, a conservação dos recursos naturais e a promoção da equidade social, mas requer esforços conjuntos de governos, pesquisadores, agricultores e sociedade civil (FAO, 2021).

2.3. Histórico do uso de bioinsumos na agricultura

O uso de bioinsumos na agricultura remonta a práticas ancestrais, em que agricultores utilizavam compostos orgânicos e microrganismos para melhorar a fertilidade do solo e o crescimento das plantas. No entanto, foi apenas no século XX, com o avanço da microbiologia e da biotecnologia, que os bioinsumos começaram a ser estudados e aplicados de forma sistemática (Díaz-Rodríguez et al., 2025). A descoberta de microrganismos fixadores de nitrogênio, como as bactérias do gênero *Rhizobium*, marcou um marco importante no desenvolvimento de biofertilizantes, que passaram a ser utilizados em larga escala em culturas como soja e feijão (Malusá; Vassilev, 2014).

Na década de 1970, com a crescente preocupação com os impactos ambientais da Revolução Verde, que promoveu o uso intensivo de fertilizantes químicos e agrotóxicos, os bioinsumos ganharam destaque como uma alternativa sustentável (Altieri; Nicholls, 2017). Nesse período, pesquisas sobre microrganismos promotores de crescimento vegetal, como bactérias do gênero *Azospirillum* e fungos micorrízicos, ampliaram o conhecimento sobre o potencial desses insumos para aumentar a produtividade agrícola de forma ecologicamente correta (KUMAR et al., 2019).

No Brasil, o uso de bioinsumos começou a ganhar força na década de 1980, impulsionado pela necessidade de reduzir custos de produção e aumentar a competitividade da agricultura nacional. A Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento e na difusão de tecnologias baseadas em bioinsumos, especialmente no cultivo da soja, onde o uso de inoculantes à base de *Bradyrhizobium* se tornou uma prática comum (BRASIL, 2020). Essa adoção contribuiu para o posicionamento do Brasil como um dos maiores produtores mundiais de soja, com redução significativa no uso de fertilizantes nitrogenados (Santos et al., 2021).

A partir dos anos 2000, o conceito de bioinsumos expandiu-se para incluir não apenas biofertilizantes, mas também biopesticidas, promotores de crescimento vegetal e outros produtos de origem biológica. Avanços na biotecnologia permitiram o desenvolvimento de formulações mais eficientes e estáveis, ampliando o leque de aplicações desses insumos (Díaz-Rodríguez et al., 2025). Além disso, a crescente demanda por alimentos orgânicos e sustentáveis impulsionou o mercado de bioinsumos, que passou a ser visto como uma ferramenta essencial para a agricultura orgânica e agroecológica (Bortoloti; Sampaio, 2024).

Na última década, o uso de bioinsumos tem sido incentivado por políticas públicas em diversos países, incluindo o Brasil. Em 2020, o governo brasileiro lançou o Programa Nacional de Bioinsumos, com o objetivo de fomentar a produção e o uso desses insumos, promovendo a sustentabilidade e a competitividade da agricultura nacional (Brasil, 2020). O programa visa integrar ações de pesquisa, desenvolvimento e inovação, além de fortalecer a cadeia produtiva de bioinsumos, desde a produção até a comercialização (Santos et al., 2021).

Paralelamente, a comunidade científica tem investido em pesquisas para entender melhor os mecanismos de ação dos bioinsumos e desenvolver novas tecnologias. Estudos recentes têm explorado o potencial de microrganismos endofíticos, que colonizam o interior das plantas, para promover o crescimento vegetal e aumentar a resistência a estresses ambientais (Malusá; Vassilev, 2014). Além disso, a utilização de técnicas de biologia molecular e genômica tem permitido a identificação de genes e vias metabólicas envolvidas na interação entre plantas e microrganismos, abrindo novas perspectivas para o desenvolvimento de bioinsumos mais eficientes (Kumar et al., 2019).

Apesar dos avanços, o uso de bioinsumos ainda enfrenta desafios, como a falta de padronização e regulamentação, a escassez de produtos registrados e a desconfiança dos agricultores em relação à sua eficácia (Bortoloti; Sampaio, 2024). Além disso, a produção e a comercialização de bioinsumos requerem investimentos em infraestrutura e capacitação técnica, o que pode limitar sua adoção em larga escala, especialmente por pequenos agricultores (Santos et al., 2021).

O histórico do uso de bioinsumos na agricultura reflete uma trajetória de inovação e adaptação, impulsionada pela necessidade de conciliar produtividade e sustentabilidade. Desde as práticas ancestrais até os avanços recentes em biotecnologia, os bioinsumos têm evoluído como uma ferramenta essencial para a agricultura moderna, contribuindo para a redução dos impactos ambientais e a promoção de sistemas agrícolas mais resilientes (Díaz-Rodríguez et al., 2025). No entanto, a superação dos desafios atuais requer esforços conjuntos de governos, pesquisadores, agricultores e indústrias, visando ampliar o acesso e a adoção desses insumos em diferentes contextos agrícolas (Brasil, 2020).

3. CONCLUSÕES

O uso e manejo de bioinsumos na agricultura representam uma estratégia fundamental para a transição para sistemas agrícolas mais sustentáveis, alinhados aos desafios globais do século XXI. Como demonstrado ao longo deste artigo, os bioinsumos oferecem uma série de benefícios ambientais, econômicos e sociais, que vão desde a redução do uso de insumos químicos até a promoção da saúde do solo e da biodiversidade. Esses insumos têm o potencial de transformar a agricultura, tornando-a mais resiliente e menos dependente de recursos não renováveis.

REFERÊNCIAS

ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. Agroecology: A brief account of its origins and currents of thought in Latin America. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, v. 41, n. 3-4, p. 231-237, 2017.

BORTOLOTTI, G.; SAMPAIO, R. M. Desafios e estratégias no desenvolvimento dos bioinsumos para controle biológico no Brasil. **Tecnologia e Sociedade**, Curitiba, v. 20, n. 60, p.291-307, abr./jun., 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Programa Nacional de Bioinsumos**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/bioinsumos>. Acesso em: 10 mar. 2025.

DÍAZ-RODRÍGUEZ, A. M.; PARRA COTA, F. I.; CIRA CHÁVEZ, L. A.; GARCÍA ORTEGA, L. F.; ESTRADA ALVARADO, M. I.; SANTOYO, G.; DE LOS SANTOS-

VILLALOBOS, S. Microbial Inoculants in Sustainable Agriculture: Advancements, Challenges, and Future Directions. **Plants**, v. 14, n. 2, p. 191, 2025.

FAO. **The State of Food and Agriculture 2021: Making agrifood systems more resilient to shocks and stresses**. Rome: FAO, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/cb4476en>. Acesso em: 10 mar. 2025.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems**. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2018. Disponível em: <https://www.routledge.com/Agroecology-The-Ecology-of-Sustainable-Food-Systems/Gliessman/p/book/9781439895610>. Acesso em: 10 mar. 2025.

KUMAR, S.; DIKSHA, S. S. S.; KUMAR, R. Biofertilizers: An eco-friendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. **Current Research in Microbial Sciences**, v. 3, p. 100094, 2019.

LEHMANN, J. et al. Biochar effects on soil biota – A review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, n. 9, p. 1812-1836, 2011.

MALUSÁ, E.; VASSILEV, N. A contribution to set a legal framework for biofertilisers. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 98, n. 15, p. 6599-6607, 2014.

PIMENTEL, D.; BURGESS, M. Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. *In*: PIMENTEL, D.; PESHIN, R. (Eds.). **Integrated Pest Management**. Dordrecht: Springer, 2009. p. 47-71.

PRETTY, J. Agricultural sustainability: Concepts, principles and evidence. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 373, n. 1754, p. 1-12, 2018.

SAMMAURIA, R.; KUMAWAT, S.; KUMAWAT, P.; SINGH, J.; JATWA, T. K. Microbial inoculants: potential tool for sustainability of agricultural production systems. **Archives of Microbiology**, v. 202, n. 4, p. 677-693, 2020.

SANTOS, M. S.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Outstanding impact of *Azospirillum brasilense* strains Ab-V5 and Ab-V6 on the Brazilian agriculture: Lessons that farmers are receptive to adopt new microbial inoculants. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, p. e0200128, 2021.

SATISH KUMAR, S.; DIKSHA, S. S. S.; KUMAR, R. Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental Sustainability. **Current Research in Microbial Sciences**, v. 3, p. 1000942022.

THAPA, S.; PRASAD, R. Role of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in sustainable agriculture: Prospects and challenges. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 3, n. 1, p. 1-15, 2011.

AGRICULTURA REGENERATIVA: BENEFÍCIOS E DESAFIOS

Fernando Martins Brito¹; Maria Aparecida da Silva Damasio¹, Kilson Pinheiro Lopes¹,
Micaela Benigna Pereira¹, Maria Lacerda Vitorino de Sousa¹, Maria Laisa Vitorino de
Sousa¹ e Renata Nunes da Costa¹

¹Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/Campus Pombal, Pombal-PB, e-mail:
fernando.brito@estudante.ufcg.edu.br

RESUMO

A agricultura regenerativa é uma abordagem agrícola que se baseia na conservação do solo para promover serviços ecossistêmicos múltiplos. Definida tanto pelas práticas que envolve quanto pelos resultados que busca alcançar, esta abordagem visa melhorar a saúde do solo, aumentar a biodiversidade e sequestrar carbono. Nesse sentido, sendo a agricultura a maior causa de perda de biodiversidade, há um forte incentivo para reformular os sistemas alimentares de forma a contribuir para a restauração da terra e a mitigação dos gases de efeito estufa. Diante disso, este estudo explora os fundamentos científicos da agricultura regenerativa, analisa seus benefícios documentados e debate os obstáculos à sua adoção global, oferecendo uma visão crítica baseada em evidências recentes. Realizou-se uma revisão integrativa da literatura, analisando sistematicamente artigos científicos, obras especializadas, estudos técnicos e documentos oficiais para abranger diversas perspectivas sobre o tema. Os temas abordados foram: uma definição provisória de agricultura regenerativa; benefícios e desafios da agricultura regenerativa; e agricultura regenerativa no Brasil. Conclui-se que: a agricultura regenerativa é um projeto civilizatório que religa a humanidade à natureza. Seus benefícios abrangem segurança alimentar, justiça social e integridade ecológica, mas sua implementação exige mudanças estruturais, como a revisão de subsídios e a valorização de saberes tradicionais. A regeneração dos ecossistemas depende, fundamentalmente, da transformação de nossas prioridades coletivas.

PALAVRAS-CHAVE: Regeneração do solo, sequestro de carbono, obstáculos socioeconômicos.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura convencional, embora tenha sido fundamental para garantir o aumento da produção de alimentos global, frequentemente prioriza a produtividade em detrimento da saúde dos ecossistemas, resultando em degradação do solo, perda de biodiversidade e emissões significativas de gases de efeito estufa (RHODES, 2017). Diante dessa crise socioambiental, a agricultura regenerativa emerge como um paradigma transformador, propondo não apenas mitigar danos, mas restaurar ativamente os sistemas naturais. Definida como um conjunto de práticas que regeneram solos, aumentam a resiliência climática e fortalecem ciclos biogeoquímicos, essa abordagem reconecta a produção agrícola aos princípios ecológicos (SCHREEFEL et al., 2020).

Ao contrário da noção estática de "sustentabilidade", a agricultura regenerativa enfatiza a melhoria contínua dos agroecossistemas, integrando técnicas como plantio direto, rotação diversificada de culturas, integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e

manejo holístico de pastagens (LACANNE; LUNDGREN, 2018). Estudos demonstram que tais práticas não apenas sequestram carbono no solo – contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas –, mas também elevam a rentabilidade a longo prazo, desafiando a dicotomia entre produtividade e conservação (SCHREEFEL et al., 2020).

Apesar do crescente interesse acadêmico e político, críticos apontam lacunas na padronização de critérios e na escalabilidade dessas práticas, especialmente em regiões com limitações socioeconômicas (GILLER et al., 2021). Este capítulo explora os fundamentos científicos da agricultura regenerativa, analisa seus benefícios documentados e debate os obstáculos à sua adoção global, oferecendo uma visão crítica baseada em evidências recentes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para conduzir o estudo, optou-se por uma abordagem de revisão sistemática da literatura (SOUZA et al., 2010), integrando fontes diversificadas, como artigos indexados, livros especializados, documentos oficiais e estudos de campo. O propósito central foi mapear e sintetizar evidências atualizadas sobre o tema, adotando uma postura crítica na avaliação das produções acadêmicas e técnicas.

O processo fundamentou-se na delimitação do tema e dos objetivos específicos, que orientaram todas as etapas subsequentes. Foram consultadas as bases Scopus e Google Scholar, com aplicação de critérios rigorosos de inclusão (período temporal, abordagem metodológica e pertinência temática) para selecionar estudos relevantes. Os artigos identificados passaram por uma triagem detalhada, envolvendo análise de títulos, resumos e textos completos, culminando em um corpus final submetido a análise comparativa de métodos, extração de dados-chave e síntese crítica.

Na fase final, os resultados foram organizados em uma estrutura lógica, garantindo coerência entre as discussões, os objetivos propostos e o rigor analítico. Os dados coletados foram categorizados em eixos temáticos estratégicos, diretamente associados às questões de pesquisa, seguindo os seguintes parâmetros conceituais: benefícios da agricultura regenerativa; desafios da agricultura regenerativa; agricultura regenerativa no Brasil; e análises que deram suporte às conclusões da pesquisa

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Uma definição provisória de agricultura regenerativa

A agricultura regenerativa é definida como uma abordagem que prioriza a conservação do solo como base para regenerar serviços ecossistêmicos, como sequestro de carbono, aumento da biodiversidade e melhoria da saúde do solo (SCHREEFEL et al., 2020; NEWTON et al., 2020). Diante da transformação de mais de 70% das terras naturais pela atividade humana, com a agricultura ocupando 40% da área terrestre e sendo a principal causa da perda de biodiversidade, a agricultura regenerativa propõe práticas como cultivo mínimo, rotação de culturas, integração lavoura-pecuária e uso de compostos, visando reverter danos ambientais (SCHREEFEL et al., 2020; RHODES, 2017; LAL, 2020). Essas técnicas buscam não apenas a sustentabilidade, mas uma melhoria contínua da saúde ecológica e econômica das terras (IKERD, 2021; ELEVITCH et al., 2018).

Essa compartilha princípios com a agroecologia, como restauração de ecossistemas e eficiência fotossintética, mas diferencia-se pelo perfil de seus adeptos: enquanto a agroecologia está ligada a movimentos camponeses e questões de soberania alimentar, a agricultura regenerativa é adotada também por grandes agricultores e investidores, muitas vezes com menor ênfase em justiça social (TITTONELL et al., 2022). Apesar de seu potencial, a falta de definições precisas e regulamentação permite interpretações variadas, influenciadas por interesses setoriais. Essa ambiguidade contrasta com a agroecologia, que propõe princípios claros para transformar sistemas alimentares com base em equidade e participação local (GLIESSMAN; TITTONELL, 2015).

Críticos destacam que a mesma, embora atraente frente ao fracasso de modelos como a Intensificação Sustentável (STRUIK; KUYPER, 2017), carece de uma visão sistêmica. A resiliência ecológica exige mudanças não apenas técnicas, mas em valores e interações humanas (FOLKE et al., 2010; BROWN, 2014). Assim, a agricultura regenerativa deve transcender indicadores biofísicos e integrar transformações socioeconômicas, garantindo que a regeneração ambiental caminhe junto com justiça e inclusão, superando limitações conceituais e políticas que ainda privilegiam modelos convencionais (TITTONELL et al., 2022; SIEGFRIED, 2020).

3.2. Benefícios da Agricultura Regenerativa

A agricultura regenerativa surge como uma abordagem inovadora para reverter danos ambientais e promover benefícios integrados em escalas local e global. Baseada em princípios ecológicos, ela não só minimiza impactos negativos, mas regenera ativamente ecossistemas, oferecendo soluções para desafios como mudanças climáticas, perda de biodiversidade e insegurança alimentar (SCHREEFEL et al., 2020). Suas práticas, como plantio direto, rotação de culturas e cobertura vegetal, elevam a matéria orgânica do solo em até 3% ao ano em regiões tropicais, melhorando sua estrutura, atividade microbiana e capacidade de retenção hídrica (LAL, 2020; RHODES, 2017). Isso fortalece a resiliência agrícola frente a eventos climáticos extremos.

Um dos pilares dessa abordagem é o sequestro de carbono, com técnicas como agroflorestas e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), capazes de armazenar entre 2,5 e 7 toneladas de CO₂ equivalente por hectare/ano (BOSSIO et al., 2020). O manejo holístico de pastagens, que imita padrões naturais de pastoreio, também se destaca por reverter desertificação e fixar carbono em solos áridos (SAVORY; BUTTERFIELD, 2016), alinhando-se a metas climáticas globais como o Acordo de Paris.

A biodiversidade é outro benefício crítico: sistemas regenerativos abrigam até 30% mais espécies de insetos e aves que monocultivos, promovendo polinizadores e controlando pragas naturalmente (KREMEN; MILES, 2012). Além disso, solos regenerados melhoram a infiltração de água, reduzindo em 40% a perda de nutrientes por lixiviação, como observado no Cerrado brasileiro (BALBINO et al., 2011), e diminuindo a demanda por irrigação em regiões secas.

Economicamente, a transição para modelos regenerativos aumenta a rentabilidade de pequenos agricultores. Na Índia, projetos agroecológicos elevaram a renda familiar em 50% pela redução de custos com insumos e valorização de produtos orgânicos (PRETTY et al., 2018). A valorização de saberes tradicionais e a menor dependência de corporações agroquímicas fortalecem comunidades rurais, evidenciando o potencial socioeconômico dessa abordagem (IPES-FOOD, 2016). Assim, a agricultura regenerativa conecta sustentabilidade ambiental, equidade social e viabilidade econômica.

3.3. Desafios da Agricultura Regenerativa

A agricultura regenerativa, embora prometa transformar sistemas agrícolas, enfrenta desafios complexos que envolvem aspectos técnicos, econômicos, políticos e culturais. Pequenos produtores, especialmente em países em desenvolvimento, enfrentam barreiras como falta de acesso a crédito, assistência técnica e mercados para produtos regenerativos, além da dependência histórica de insumos químicos, que cria uma "armadilha tecnológica" e dificulta a transição para métodos biodiversos (GILLER et al., 2021; IPES-FOOD, 2016). Esses fatores limitam a adoção em escala.

Há também lacunas científicas. A ausência de métricas padronizadas para avaliar a regeneração dificulta a certificação e a validação de resultados, reduzindo a confiança de investidores e governos (TITTONELL, 2020). Tais incertezas exigem mais pesquisas adaptativas a diferentes contextos.

No âmbito político e econômico, subsídios públicos ainda priorizam modelos convencionais. Na União Europeia, menos de 2% dos fundos da Política Agrícola Comum (PAC) apoiam práticas agroecológicas (BENTON et al., 2021). Além disso, cadeias globais de commodities pressionam por produtividade imediata, desincentivando sistemas de longo prazo (MASSY, 2017). Essa estrutura desalinhada com a sustentabilidade inviabiliza mudanças estruturais.

Por fim, a escalabilidade esbarra em desafios contextuais e culturais. No Cerrado brasileiro, a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) enfrenta conflitos entre preservação e expansão agropecuária (GARNETT et al., 2013). A resistência cultural, arraigada em décadas de educação agrônômica focada em insumos externos, também dificulta a adoção de práticas ecológicas (MERTENS et al., 2022). Superar esses obstáculos requer cooperação multissetorial e políticas inovadoras.

3.4. Agricultura Regenerativa no Brasil

A agricultura regenerativa tem ganhado relevância no Brasil como estratégia para conciliar produção agropecuária e sustentabilidade. Em um país com biomas críticos, como Amazônia e Cerrado, práticas como integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e sistemas agroflorestais são incentivadas pelo Plano ABC+ (Agricultura de Baixo Carbono), que visa recuperar 30 milhões de hectares de pastagens degradadas até 2030. Essas técnicas aumentam a matéria orgânica do solo, elevam a resiliência climática e reduzem pressões sobre ecossistemas, alinhando-se a metas globais de descarbonização (EMBRAPA, 2021).

A ILPF já ocupa mais de 17 milhões de hectares no país, com destaque para regiões como o Cerrado, onde combina cultivos de grãos, pecuária e florestas (EMBRAPA, 2023). Na Amazônia, sistemas agroflorestais com espécies nativas, como açaí e castanha-do-pará, regeneram áreas degradadas e fortalecem economias locais, gerando renda para comunidades tradicionais (ISA, 2022). No Semiárido nordestino, o manejo adaptativo de pastagens e o estoque de forragem têm revitalizado solos, reduzindo a desertificação (MAMEDE et al., 2024).

Contudo, desafios persistem: a concentração fundiária e a pressão por commodities como soja e carne limitam a adoção em larga escala. Apenas 8% das propriedades no Cerrado implementam ILPF de forma significativa, enquanto o restante mantém monocultivos intensivos (PARREIRAS; BOLFE, 2023). Pequenos agricultores

enfrentam falta de assistência técnica e acesso a crédito, além de resistência cultural a métodos ecológicos, arraigada em décadas de dependência de insumos químicos (MERTENS et al., 2022).

O futuro da agricultura regenerativa no Brasil depende de políticas integradas. Programas como o Forest+ Agricultura, que remunera produtores por serviços ambientais, e a valorização de mercados internacionais por produtos sustentáveis (como carne carbono neutro) apontam caminhos. Ampliar o crédito verde, fortalecer cooperativas e alinhar práticas regenerativas ao Código Florestal são passos essenciais para transformar o potencial em realidade, posicionando o país como líder global em agropecuária sustentável (WRI Brasil, 2023).

4. CONCLUSÕES

A agricultura regenerativa é um projeto civilizatório que religa a humanidade à natureza. Seus benefícios abrangem segurança alimentar, justiça social e integridade ecológica, mas sua implementação exige mudanças estruturais, como a revisão de subsídios e a valorização de saberes tradicionais. A regeneração dos ecossistemas depende, fundamentalmente, da transformação de nossas prioridades coletivas.

REFERÊNCIAS

- BALBINO, L. C. et al. **Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta**. Embrapa, 2011.
- BENTON, T. G. et al. **Food system impacts on biodiversity loss**. Chatham House, 2021.
- BOSSIO, D. A. et al. The role of soil carbon in natural climate solutions. **Nature Sustainability**, v. 3, p. 391-398, 2020.
- BROWN, K. Global environmental change I: A social turn for resilience? **Progress in Human Geography**, v. 38, n. 1, p. 107-117, 2014.
- CORBEELS, M. et al. Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. **Nature Climate Change**, v. 10, p. 97-105, 2020.
- ELEVITCH, C. R.; MAZAROLI, D. N.; RAGONE, D. Agroforestry standards for regenerative agriculture. **Sustainability**, v. 10, n. 9, p. e3337, 2018.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Plano ABC+: Balanço de uma Década**. Brasília, DF: Embrapa, 2021.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Relatório de Adoção de ILPF no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2023.
- FOLKE, C., S. K. et al. Resilience thinking: Integrating Resilience, adaptability and transformability. **Ecology and Society**, v. 15, n. 4, p. e20, 2010.
- GARNETT, T. et al. Sustainable intensification in agriculture: Premises and policies. **Science**, v. 341, p. 33-34, 2013.
- GILLER, K. E. et al. Regenerative Agriculture: An agronomic perspective. **Outlook on Agriculture**, v. 50, n. 1, p. 13-25, 2021.

- GLIESSMAN, S.; TITTONELI, P. Agroecology for food security and nutrition. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, v. 39, n. 2, p. 131-133, 2015.
- IKERD, J. The economic pamphleteer: Realities of regenerative agriculture. **Journal of Agriculture, Food Systems, and Community Development**, v. 10, n. 2, p. 7-10, 2021.
- IPES-FOOD. **From uniformity to diversity: A paradigm shift from industrial agriculture to diversified agroecological systems**. International Panel of Experts on Sustainable Food Systems, 2016.
- ISA - Instituto Socioambiental. **Agroflorestas na Amazônia: Casos de Sucesso**. 2022. Disponível em: <https://www.socioambiental.org/>. Acesso em: 12 de mar de 2025.
- KREMEN, C.; MILES, A. Ecosystem services in biologically diversified versus conventional farming systems. **Ecology and Society**, v. 17, n. 4, 2012.
- LACANNE, C. E.; LUNDGREN, J. G. Regenerative agriculture: merging farming and natural resource conservation profitably. **PeerJ**, v. 6, e4428, 2018.
- LAL, R. Regenerative agriculture for food and climate. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 75, n. 5, p. 123A-124A, 2020.
- MAMEDE, T. et al. Fertilidade construída em solos arenosos sob manejo regenerativo. **Cadernos de Agroecologia**, v. 19, n. 1, 2024.
- MASSY, C. **Call of the Reed Warbler: A New Agriculture, a New Earth**. University of Queensland Press, 2017.
- MERTENS, B. et al. **The political economy of regenerative agriculture**. Global Environmental Change, 2022.
- NEWTON, P. et al. What is regenerative agriculture? A review of scholar and practitioner definitions based on processes and outcomes. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, p. e577723, 2020.
- PARREIRAS, T. C.; BOLFE, E. L. Expansão e Intensificação da Agropecuária no Cerrado. Comemoração aos 20 anos do programa de pós-graduação em geografia (IG-UNICAMP), **Anais...**, v. 1, n. 1, p. 476-492, 2023.
- PRETTY, J. et al. Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. **Nature Sustainability**, v. 1, p. 441-446, 2018.
- RHODES, C. J. The imperative for regenerative agriculture. **Science Progress**, v. 100, n. 1, p. 80-129, 2017.
- SAVORY, A.; BUTTERFIELD, J. **Holistic Management: A Commonsense Revolution to Restore Our Environment**. Island Press, 2016.
- SCHREEFEL, L. et al. Regenerative agriculture—the soil is the base. **Global Food Security**, v. 26, p. e100404, 2020.
- SIEGFRIED, A. **Insight into regenerative agriculture in New Zealand: The good, the bad, and the opportunity**. Pure Advantage. 2020. Disponível em: <https://pureadvantage.org/insight-into-regenerative-agriculture-in-new-zealand-the-good-the-bad-and-the-opportunity/>. Acesso em: 23 de fev de 2025.
- STRUICK, P. C.; KUYPER, T. W. Sustainable intensification in agriculture: the richer shade of green. A review. **Agronomy for sustainable development**, v. 37, p. 1-15, 2017.

TITTONELL, P. Assessing resilience and adaptability in agroecological transitions. **Agricultural Systems**, v. 184, p. e102862, 2020.

TITTONELL, P. et al. Regenerative agriculture agroecology without politics?. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 6, p. e844261, 2022.

WRI Brasil. **Forest+ Agricultura: Incentivos para a Sustentabilidade**. 2023. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/florestas>. Acesso em: 12 de mar de 2025.

AGRICULTURA DE BAIXO CARBONO NO BRASIL: DESAFIOS E PERSPECTIVAS

Maria Lace Vitorino de Sousa¹, Maria Laisa Vitorino de Sousa¹, Kilson Pinheiro Lopes¹, Micaela Benigna Pereira¹, Maria Aparecida da Silva Damásio¹, Fernando Martins Brito¹ e Caio Cardoso de Araújo¹

¹Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/Campus Pombal, Pombal-PB, e-mail: lace.vitorino@gmail.com

RESUMO

O uso excessivo dos recursos naturais, sem a devida consideração de seus impactos, tanto a curto quanto a longo prazo, pode resultar na perda de recursos essenciais para as gerações futuras. Esse cenário contribui para o desequilíbrio dos ecossistemas, a redução da biodiversidade e o agravamento de problemas ambientais, como mudanças climáticas e poluição. A agricultura de baixo carbono (ABC) é uma abordagem essencial para mitigar as mudanças climáticas e promover a sustentabilidade no setor agropecuário brasileiro. Diante disso objetivou-se realizar uma revisão abrangente sobre a agricultura de baixo carbono no Brasil, abordando seus desafios e perspectivas, com o intuito de fomentar a adoção de práticas que contribuam para a redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂). Este estudo realizou uma revisão bibliográfica integrativa, por meio de uma análise da literatura científica e técnica disponível, incluindo artigos de periódicos, livros, relatórios de pesquisa e documentos governamentais. Conclui-se que: A agricultura de baixo carbono é fundamental para reduzir emissões de GEE e promover práticas sustentáveis, como rotação de culturas e agroflorestas. No Brasil, o Plano ABC incentiva essas práticas, alinhando-se aos ODS da ONU, mas desafios como burocracia e integração ao mercado de carbono persistem. Sua implementação é crucial para equilibrar produção agrícola e preservação ambiental, garantindo um futuro sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: Aquecimento global, plano ABC, resiliência climática.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o setor agropecuário destacou-se como a atividade econômica de maior crescimento, impulsionado por ganhos sucessivos de produtividade (VIEIRA FILHO et al., 2019). No entanto, a expansão da agricultura tem gerado impactos significativos no espaço rural, afetando o uso da terra e o meio ambiente, com consequências como a degradação do solo e a emissão de gases de efeito estufa (GEE) (HECK, 2021; ABREU et al., 2024). Diante desse cenário, a adoção de tecnologias e inovações que reduzam as emissões de GEE na agricultura tornou-se uma prioridade global (FREITAS et al., 2022).

O dióxido de carbono (CO₂) é um dos principais responsáveis pelo aquecimento global, e sua produção descontrolada representa uma ameaça à saúde humana, animal e ao equilíbrio do planeta (MACHADO, 2019).

No Brasil, o Plano Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC) é uma política pública que busca reduzir as emissões na agricultura e promover a recuperação e restauração da vegetação em larga escala (RATKE et al., 2024). Um estudo do WRI Brasil

(2021) destaca que a agricultura sustentável é um caminho viável para o crescimento da economia verde no país. A agricultura de baixa emissão de carbono, que utiliza práticas e tecnologias para diminuir a intensidade das emissões de GEE, é essencial para uma produção mais limpa e sustentável, visando a redução do carbono atmosférico e a fixação de carbono por meio da recuperação da vegetação (BRASIL, 2021; RATKE et al., 2024).

Assim, a agricultura de baixo carbono emerge como uma solução indispensável para aliar produção sustentável, resiliência climática e preservação ambiental. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo realizar uma revisão abrangente sobre a agricultura de baixo carbono no Brasil, abordando seus desafios e perspectivas, com o intuito de fomentar a adoção de práticas que contribuam para a redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂) no meio ambiente.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi conduzido por meio de uma análise abrangente da literatura científica e técnica disponível, incluindo artigos de periódicos, livros, relatórios de pesquisa e documentos governamentais, buscando identificar as melhores práticas e os casos de sucesso na implementação do plano ABC no contexto brasileiro, seguindo as diretrizes propostas por Souza et al., (2010). O processo metodológico detalhado em fluxograma (Figura 1), descreve as principais etapas desenvolvidas na pesquisa.

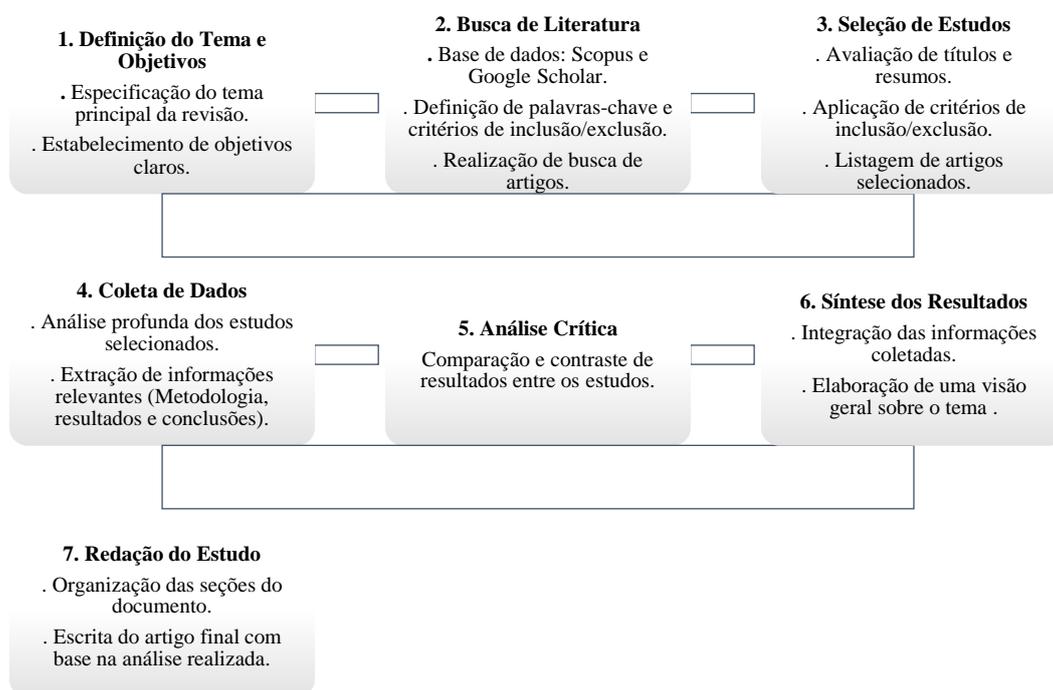


Figura 1. Fluxograma das fases para a realização do estudo. Fonte: Elaboração própria (2025).

Os dados coletados foram organizados em tópicos alinhados aos objetivos do estudo, abordando os seguintes eixos temáticos: Mudanças climáticas: alterações e efeitos causados pela agricultura convencional; Agricultura de baixo carbono no Brasil: Criação do plano ABC; Agricultura de baixo carbono como alternativa para a diminuição dos

gases poluentes; Desafios na implementação da ABC nos setores agropecuários; e considerações que fundamentaram as conclusões do trabalho.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Mudanças climáticas: impactos causados pela agricultura convencional

A agricultura convencional, impulsionada pela Revolução Verde, trouxe avanços significativos na produção de alimentos, com a introdução de máquinas, fertilizantes de alta solubilidade e agrotóxicos, atendendo à demanda global crescente (ROSSET et al., 2014). No entanto, essa prática intensiva, baseada no uso excessivo de insumos químicos e mecanização, tem gerado impactos ambientais preocupantes, como a poluição do solo, da água e da atmosfera, além de contribuir para a degradação dos recursos naturais (LEONEL JÚNIOR, 2020). A longo prazo, essas práticas reduzem a produtividade do solo, podendo até torná-lo infértil, enquanto a emissão de gases de efeito estufa (GEE), como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), provenientes do uso de fertilizantes nitrogenados e da mecanização, agrava as mudanças climáticas. A agricultura é responsável por 30 a 35% das emissões de GEE, com cerca de 70% das emissões antropogênicas de N₂O atribuídas a essa atividade (DEFRIES; ROSENZWEIG, 2010; LANA, 2009).

O desmatamento, associado à expansão agrícola, especialmente em regiões de florestas tropicais, é outro fator crítico que intensifica as mudanças climáticas. A remoção de vegetação reduz a capacidade de sequestro de carbono, liberando grandes quantidades de CO₂ armazenado na biomassa e no solo. Além disso, práticas como queimadas e a venda ilegal de terras contribuem para a perda de biodiversidade e a degradação ambiental (LEITE et al., 2023). A degradação do solo também é agravada por técnicas como a monocultura e o uso excessivo de pesticidas e fertilizantes químicos, que reduzem a capacidade do solo de armazenar carbono, filtrar água e aumentar a erosão, comprometendo sua fertilidade e resiliência (ZABOTO, 2019).

Diante desses desafios, é essencial adotar práticas agrícolas sustentáveis, como a agricultura de baixo carbono, que visa reduzir as emissões de GEE e promover a captura de CO₂ atmosférico. A agrofloresta, por exemplo, oferece benefícios mútuos, como a proteção do solo contra ventos fortes, a redução da evaporação e a conservação da umidade, além de aumentar a fixação de carbono no solo (STEENBOCK et al., 2013).

3.2. Agricultura de baixo carbono no Brasil: Criação do Plano ABC

A sustentabilidade na agropecuária tem ganhado destaque no agronegócio brasileiro, especialmente diante da necessidade de equilibrar produção e preservação ambiental. Para promover um crescimento agropecuário sustentável, análises periódicas são essenciais, apontando para a adoção de modelos como a Agricultura de Baixo Carbono (ABC), que alinha eficiência produtiva com redução de impactos ambientais (VIEIRA FILHO, 2019; TELLES et al., 2021). Além disso, o Brasil está comprometido com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, reforçando sua agenda internacional de uso sustentável dos recursos naturais (ONU, 2015).

Em 2009, durante a COP 15, o Brasil assumiu o compromisso de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) até 2020, instituindo a Política Nacional sobre

Mudança do Clima (PNMC) e, em 2010, o Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, conhecido como Plano ABC (Brasil, 2021). Em 2021, o país ampliou seus esforços com o lançamento do Plano ABC+, que estabeleceu metas mais ambiciosas para a redução de emissões e a promoção de práticas agrícolas sustentáveis até 2030, reforçando seu compromisso com a preservação ambiental e o desenvolvimento sustentável (Brasil, 2021; ONU, 2021). Recentemente, na COP29, o Brasil apresentou uma nova meta climática, comprometendo-se a reduzir suas emissões líquidas de GEE em 59% a 67% até 2035, alinhada ao Acordo de Paris e visando a neutralidade climática até 2050 (BRASIL, 2024).

A conscientização do setor agropecuário sobre práticas sustentáveis é fundamental para enfrentar as mudanças climáticas. O Programa ABC desempenha um papel central nesse processo, oferecendo subsídios para créditos que incentivam a adoção de técnicas que reduzem as emissões de GEE, como integração lavoura-pecuária-floresta e recuperação de pastagens degradadas (SILVA; VIEIRA FILHO, 2020). A agricultura de baixo carbono emerge como uma solução urgente e eficaz, capaz de atender à demanda crescente por alimentos enquanto reduz significativamente os impactos ambientais, mitigando os efeitos das mudanças climáticas e promovendo um modelo de desenvolvimento mais sustentável (PEROSA, 2024).

A agricultura de baixo carbono surge como uma alternativa crucial para reduzir a emissão de gases poluentes, como o dióxido de carbono (CO₂), que prejudicam o desenvolvimento e a produtividade das culturas. O Plano ABC (Agricultura de Baixo Carbono) estabeleceu práticas sustentáveis para a produção agropecuária, incluindo a recuperação de pastagens degradadas, a adoção de sistemas integrados (ILP e ILPF), sistemas agroflorestais (SAFs), o Sistema Plantio Direto (SPD), a Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), a expansão de florestas plantadas e o tratamento de resíduos animais. Essas práticas visam não apenas reduzir as emissões de carbono, mas também promover a sustentabilidade no setor agrícola (VIEIRA FILHO et al., 2019).

3.3. Agricultura de baixo carbono como alternativa para a diminuição dos gases poluentes

Dentre as técnicas da agricultura de baixo carbono, destacam-se a rotação de culturas, a agricultura de conservação, as agroflorestas e a agricultura orgânica. A rotação de culturas consiste na alternância de espécies vegetais em uma mesma área, o que melhora a qualidade do solo e retém carbono, reduzindo a necessidade de fertilizantes e, conseqüentemente, as emissões de CO₂ (MARTINS et al., 2023). Já a agricultura de conservação combina práticas como a cobertura vegetal contínua, o mínimo revolvimento do solo e a rotação de culturas, preservando o solo e fixando carbono, além de minimizar a degradação ambiental (MARTINELLI et al., 2018). As agroflorestas, por sua vez, integram árvores e culturas agrícolas, sequestrando carbono atmosférico por meio da fotossíntese e armazenando-o na biomassa e no solo (STEENBOCK et al., 2013).

A agricultura orgânica, outra prática essencial, evita o uso de agrotóxicos químicos, reduzindo impactos negativos no solo, na saúde humana e na atmosfera (ANTONIO; ASSIS, 2024). Essas práticas sustentáveis são fundamentais para diminuir a produção de CO₂ na agricultura, tornando a agricultura de baixo carbono uma solução indispensável para enfrentar os desafios ambientais. Ao promover a qualidade de vida e

a preservação do meio ambiente, essa abordagem se consolida como um caminho viável para um futuro mais sustentável (RICHTER et al., 2021).

3.4. Desafios na implementação da ABC nos setores agropecuários

A agricultura de baixo carbono enfrenta desafios significativos em sua implementação no setor agropecuário, apesar de seu potencial para reduzir as emissões de GEE e promover a sustentabilidade. O governo brasileiro tem incentivado práticas sustentáveis por meio de políticas públicas, como o PRONAF, PRONAPO, Plano ABC e PRONAF VERDE, que oferecem linhas de crédito específicas para a produção orgânica e de baixo carbono. No entanto, essas modalidades ainda apresentam baixo desempenho financeiro em comparação a outras formas de financiamento, além de enfrentarem obstáculos como burocracia, inadequação das linhas de crédito e dificuldades de acesso por parte dos produtores familiares (CARDOSO et al., 2024; ANJOS; PERELLÓ, 2021; GOMES, 2023). Apesar desses desafios, o crédito rural subsidiado tem sido fundamental para modernizar o setor e tornar as práticas sustentáveis mais acessíveis (AQUINO et al., 2017).

Outro desafio é a integração do setor agropecuário ao mercado voluntário de carbono, que tem potencial para gerar créditos por meio de práticas como o manejo sustentável do solo e pastagens. No entanto, a maioria dos projetos brasileiros concentra-se na compostagem aeróbia de dejetos animais, com baixo impacto no mercado nacional (VARGAS et al., 2022). Além disso, a falta de metodologias adaptadas à realidade tropical do país dificulta a quantificação de carbono e a redução de emissões, já que as metodologias internacionais existentes não refletem as características específicas da produção brasileira (VERRA, 2022; VARGAS et al., 2022). Para superar esses obstáculos, é essencial desenvolver metodologias tropicalizadas, conectar a oferta de créditos de carbono à demanda do mercado e garantir a viabilidade financeira para os produtores rurais, promovendo assim a adoção em larga escala da agricultura de baixo carbono (IETA, 2021; KOLMETZ et al., 2021).

4. CONCLUSÕES

A agricultura de baixo carbono surge como uma solução essencial para mitigar os impactos ambientais da agricultura convencional, reduzindo as emissões de GEE e promovendo práticas sustentáveis, como a rotação de culturas, agroflorestas e agricultura orgânica. No Brasil, o Plano ABC e suas atualizações têm incentivado a adoção dessas práticas, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU. No entanto, desafios como a falta de metodologias adaptadas, a burocracia no acesso a créditos e a integração ao mercado de carbono ainda precisam ser superados. A implementação efetiva da agricultura de baixo carbono é crucial para garantir um futuro sustentável, equilibrando produção agrícola e preservação ambiental.

REFERÊNCIAS

ABREU, N. L.; et al. Land use change and greenhouse gas emissions: an explanation about the main emission drivers. **Ciência Animal Brasileira**, v. 25, p. 77646E, 2024.

ANJOS, C. S.; PERELLÓ, L. F. C. Políticas públicas na produção de alimentos orgânicos: desafios e perspectivas. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 16, n. 2, p. 12-12, 2021.

ANTONIO, G. J. Y.; ASSIS, R. L. DE. Agricultura familiar em Nova Friburgo: caracterização da gestão social e promoção da transição agroecológica. **Interações (Campo Grande)**, v. 25, n. 2, 2024.

AQUINO, J. R. de; GAZOLLA, M.; SCHNEIDER, S. **O financiamento público da produção agroecológica e orgânica no Brasil: inovação institucional, obstáculos e desafios**. Repositorio.ipea.gov. 2017.

BRASIL. Secretaria de Comunicação Social. **COP29: compromissos do Brasil marcam avanço global na luta contra a mudança do clima**. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2024/11/cop29-compromissos-do-brasil-marcam-avanco-global-na-luta-contr-a-mudanca-do-clima>. Acesso em: 14 de mar de 2024.

BRASIL; MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Plano setorial para adaptação à mudança do clima e baixa emissão de carbono na agropecuária 2020-2030: plano operacional**. 2021. Disponível em: <http://192.168.3.118:8080/handle/1/150>. Acesso em: 19 de fev de 2025.

CARDOSO, M. V. A. et al. Análise de políticas públicas e crédito na produção orgânica: um estudo preliminar. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 62., 2024, Palmas. Bioeconomia, cadeias de valor e desafios do desenvolvimento regional: [anais...]. Brasília, DF: SOBER, 2024.

DEFRIES, R.; ROSENZWEIG, C. Toward a whole-landscape approach for sustainable land use in the tropics. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States**, v.107, p.19627-19632, 2010.

FREITAS, A. C. R. et al. Performance of low carbon intensified agriculture farm in the Brazilian Savanna by means of univariate and multivariate approaches. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 52, p. e72425, 2022.

GOMES, A. et al. Concessão de crédito na produção familiar orgânica concessão de crédito na produção orgânica familiar. 61º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural – SOBER. **Anais...** Piracicaba – SP, 23 a 27 de julho de 2023.

HECK, C. R. A expansão produtiva agropecuária no estado de mato grosso e seus impactos fundiários e ambientais a partir dos anos 2000. **Informe Gepec**, v. 25, n. 2, p. 62-84, 2021.

IETA - International Emission Trading Association. **The Anatomy of the Carbon Market. 2021** Disponível em: https://www.ieta.org/resources/Resources/GHG_Report/2021/IETA-2021-GHGReport.pdf. Acesso em: 02 de mar de 2025.

KOLMETZ, S.; BATARBUTAR, P.; VROLIJK, C. **Project Developer Engagement with the VCM**. VCM Global Dialogue. 2021. Disponível em: <https://vcm-gd.org/wp-content/uploads/2021/09/20210926-VCMGD-Project-developers.pdf>. Acesso em: 18 de mar de 2025.

LANA, R.P. Uso racional de recursos naturais não renováveis: aspectos biológicos, econômicos e ambientais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.330-340, 2009.

LEITE, E. D. et al. Impactos ambientais causados pelo desmatamento no Brasil. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, v. 8, n. 1, p. 19-38, 2023.

LEONEL JÚNIOR, G. **Direito à Agroecologia: a variabilidade e os entraves de uma prática agrícola sustentável**. 2 ed. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2020.

MACHADO, C. P. **Poluição atmosférica e seus efeitos na saúde humana e no meio ambiente: uma revisão de literatura**. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) - Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

MARTINELLI, R. et al. Roçagem ecológica com *Urochloa* spp.: opção de manejo integrado de plantas daninhas que promove a agricultura de conservação em citros. **Innovations Agronomiques**, v. 64, p. 19-29, 2018.

MARTINS, M. E. et al. Efeitos da rotação de culturas em áreas de várzeas cultivadas com monocultura de arroz. Mostra Nacional de Iniciação Científica e Tecnológica Interdisciplinar (MICTI), **Anais...** e-ISSN 2316-7165, v. 1, n. 16, 2023.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)**. 2015. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>. Acesso em: 07 de mar de 2025.

PEROSA, B. Agricultura de Baixo Carbono no Brasil: desafios de governança e monitoramento. **Labor e Engenho**, v. 18, n. 00, p. e024005, 2024.

RATKE, R. F. et al. Dependência espacial da cultura da soja, em sistema de produção de baixa emissão de carbono, integrada com floresta de eucalipto. **Ciência Florestal**, v. 34, n.3, 2024.

RICHTER, M. F.; DE LARA, D. M.; ANDREAZZA, R. C. L. Educação Ambiental e Gases do Efeito Estufa (GEE): uma abordagem do papel do metano para Educação Básica. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 431-445, 2021.

ROSSET, J. S. et al. Agricultura convencional versus sistemas agroecológicos: modelos, impactos, avaliação da qualidade e perspectivas. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 13, n. 2, p. 80-94, 2014.

SILVA, F. P.; VIEIRA FILHO, J. E. R. **Avaliação de impacto do programa de agricultura de baixo carbono no Brasil**. Econstor, Texto para Discussão No. 2568, 2020.

SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Revista Eletrônica de Enfermagem**, v. 18, p. e1173, 2010.

STEENBOCK, W. et al. **Agroflorestas e sistemas agroflorestais no espaço e no tempo**. Sociedade. Curitiba: Kairós. 2013.

TELLES, T. S. et al. **Desenvolvimento da agricultura de baixo carbono no Brasil**. Econstor, Texto para Discussão No. 2638, 2021.

VARGAS, D. B.; DELAZERI, L. M. M.; FERRERA, V. H. P. **O avanço do mercado voluntário de carbono no Brasil**: desafios estruturais, técnicos e científicos. Escola de Economia de São Paulo, 2022.

VERRA em: (2022). **Verified Carbon Standard – Methodologies**. Disponível em: <https://verra.org/methodologies/>. Acesso em 09 de mar de 2025.

VIEIRA FILHO, J. E.R. et al. **Diagnóstico e desafios da agricultura brasileira**. Rio de Janeiro: IPEA, 2019. 340 p.

WRI, Brasil. **Uma Nova Economia para uma Nova Era**: Elementos para a Construção de uma Economia Mais Eficiente e Resiliente para o Brasil. Ed.1 104p. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/pt/publicacoes>. Acesso em: 19 de fev de 2025.

ZABOTO, A. R. **Estudo Sobre Impactos Ambientais**. 23. ed. Botucatu, SP. FEPAF, 2019.

TORTA DE FILTRO: ENRIQUECENDO OS CANAVIAIS DA PARAÍBA

Edson Antonio de Moraes Pinho e Souza¹, João Henrique Barbosa da Silva¹, Joseane da Silva Ferreira¹, Luiz Henrique Guedes Sousa¹, Lian Rodrigo Torres Cavalcante¹, Aline Amanda da Silva Lima¹, Leonardo Marques Martins¹, Pedro Ian Maia Santana¹, Givanilson Rosa da Silva²

¹Universidade Federal da Paraíba – UFPB/Campus II, Areia-PB, e-mail: henrique485560@gmail.com

²Universidade Federal Rural de Pernambuco- UFRPE, Recife-PE

RESUMO

O Brasil é o principal país produtor de cana-de-açúcar, sendo o estado da Paraíba o terceiro maior produtor da região Nordeste. No entanto, a cana-de-açúcar enfrenta desafios quanto ao aproveitamento de nutrientes, especialmente em solos arenosos típicos da região, levando a uma produtividade média abaixo da nacional. Assim, alternativas de melhorar a qualidade do solo com uso da torta de filtro vem sendo uma forma eficiente nos canaviais. Portanto, este estudo de revisão teve como objetivo investigar os trabalhos publicados nos últimos anos com a torta de filtro na cana-de-açúcar, buscando identificar a sua influência na produtividade da cultura, em especial, no estado da Paraíba. Essa revisão foi conduzida por meio de pesquisas utilizando o método de revisão integrativa, com dados científicos dos últimos 10 anos. Os estudos mostram que a torta de filtro representa uma alternativa sustentável e eficiente como fertilizante orgânico, capaz de melhorar a qualidade do solo e aumentar a produtividade da cultura. No entanto, é fundamental que mais estudos envolvendo torta de filtro na cana-de-açúcar sejam realizados na Paraíba, especialmente por ser uma região que possui uma alta produção significativa.

PALAVRAS-CHAVE: matéria orgânica, fertilidade, produtividade, *Saccharum* spp.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o principal país produtor de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) a nível mundial, com projeções para a safra 2024/25 de 678,67 milhões de toneladas (CONAB, 2025). Através dos produtos e subprodutos gerados pela cana-de-açúcar, é possível proporcionar renda, economia, segurança alimentar e sustentabilidade, tornando essa cultura uma commodity de grande relevância socioeconômica para o Brasil e diversos outros países (FAO, 2022).

No estado da Paraíba, localizado no Nordeste do Brasil, a cana-de-açúcar é cultivada sob solos com fertilidade natural reduzida (SILVA et al., 2019) e, apesar do estado ser responsável por ser o terceiro maior produtor da região Nordeste, a cultura enfrenta desafios quanto ao aproveitamento de nutrientes, especialmente em solos arenosos típicos da região, levando a uma produtividade em torno de 60 t ha⁻¹ (CONAB, 2024).

Nesse sentido, pesquisas buscam meios alternativos sustentáveis de fertilização, buscando o aumento produtivo e melhoria da qualidade do solo, em especial, com o uso da torta de filtro, sendo uma das principais formas de garantir a nutrição do solo em locais com baixa fertilidade natural, especialmente por ser rico em macronutrientes e micronutrientes (SOARES et al., 2024).

Portanto, este estudo de revisão teve como objetivo investigar os trabalhos publicados nos últimos anos com a torta de filtro na cana-de-açúcar, buscando identificar a sua influência na produtividade da cultura, em especial, no estado da Paraíba.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Essa revisão de literatura foi conduzida por meio de pesquisas na ferramenta de buscas do Google Scholar, utilizando o método de revisão integrativa (SOUZA; SILVA; CARVALHO, 2010). Na Figura 1 se encontra um fluxograma das principais etapas realizadas na pesquisa.

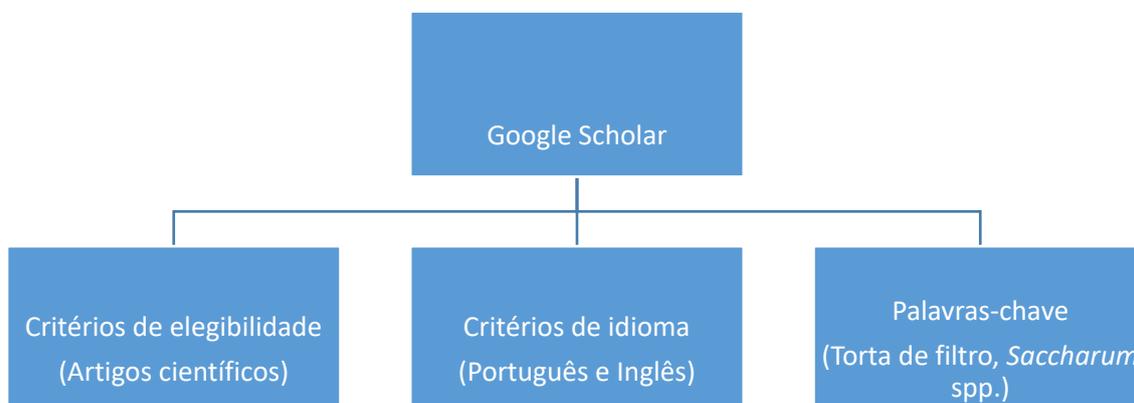


Figura 1. Fluxograma das principais etapas da pesquisa.

Fonte: Autores (2025).

Após a seleção dos artigos científicos, com base nos critérios de inclusão (período amostral entre 2015-2025) e exclusão (trabalhos duplicados), realizou-se à leitura dos textos selecionados e, posteriormente, os autores analisaram e discutiram os principais resultados, buscando assim, subsidiar a construção da revisão de literatura.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1.A CANA-DE-AÇÚCAR NA PARAÍBA

No Nordeste brasileiro, a estimativa de produção de cana-de-açúcar para a safra 2024/25 é de 57,72 milhões de toneladas, o que corresponde a um crescimento em torno de 2,2% quando comparado à obtida na safra 2023/24 (CONAB, 2025). Na Paraíba, as precipitações entre agosto a novembro de 2024 foram menores quando comparado ao ano

anterior, forçando as usinas do estado a aumentarem a demanda por suplementação hídrica (CONAB, 2025). Na Figura 2, se observa algumas características da cana-de-açúcar, como o seu ciclo de crescimento, o que ajuda os produtores a compreender as melhores épocas para o manejo e colheita.



Figura 2. Ciclo de crescimento da cana-de-açúcar.

Fonte: Syngenta (2024).

Na Paraíba, a colheita (61,7% manual e 38,3% mecanizado), teve início no final de julho de 2024, com previsão para até maio de 2025, com maiores picos entre outubro e dezembro de 2024, resultando em expectativas de aumento de produção em relação à safra anterior (2023/24) (CONAB, 2025). De modo geral, a cana-de-açúcar, é destaque no estado da Paraíba, com alta relevância para o setor canavieiro da região, especialmente por suas diversas finalidades em seus produtos (Figura 3).

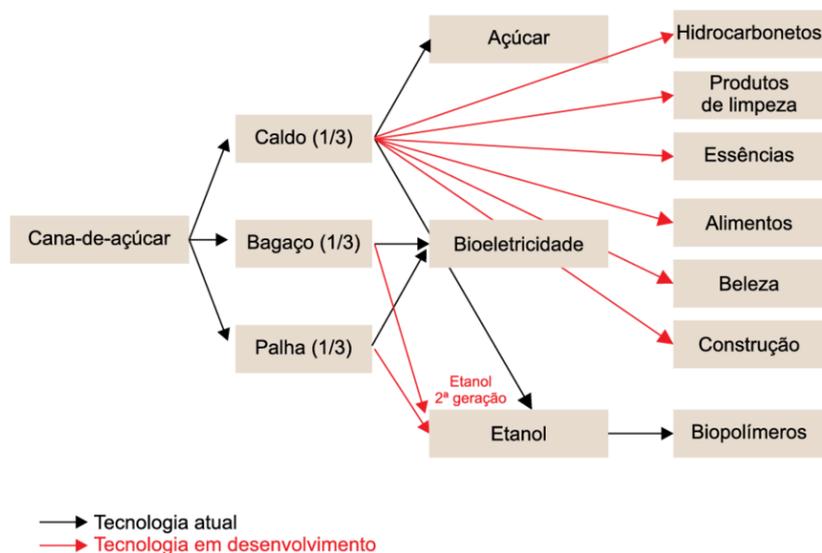


Figura 3. Produtos da cana-de-açúcar.

Fonte: Jank (2012).

Na Paraíba, a área de cultivo, produtividade e produção na safra 2023/24 foi de 125,6 mil ha, 60,53 kg ha⁻¹ e 7.605,7 mil toneladas, respectivamente, dados esses que

estão abaixo das projeções para a safra 2024/25 (129,1 mil ha, 61,52 kg ha⁻¹ e 7.942,4 mil toneladas), respectivamente (CONAB, 2025). Entre os demais estados do Nordeste (Maranhão, Piauí, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia), a Paraíba se encontra como sendo o terceiro maior produtor de cana-de-açúcar, ficando atrás apenas do estado de Alagoas e Pernambuco.

Quanto à produção de açúcar no estado, a safra 2023/24 foi responsável pela geração de 228 mil toneladas, com projeções de aumento para a safra atual em 367,2 mil toneladas (CONAB, 2025). Por outro lado, ainda de acordo com dados da CONAB, a produção de etanol na safra anterior registrou uma marca de 363.057,0 m³, com perspectivas de redução para 337.637,0 m³ na safra atual.

Dessa forma, observa-se que a cultura da cana-de-açúcar mantém significativa expressividade na economia agrícola da Paraíba, contribuindo não apenas com a geração de açúcar e etanol, mas também com diversos subprodutos que apresentam potencial de uso agrícola e industrial. Entre esses subprodutos, destaca-se a torta de filtro, um resíduo resultante do processo de clarificação do caldo, que vem sendo cada vez mais estudado por seu potencial como insumo agrícola, especialmente na melhoria das propriedades físico-químicas e biológicas do solo.

3.2.TORTA DE FILTRO

A torta de filtro é utilizada nos canaviais como forma de adubação orgânica, seja no momento do plantio ou nos estágios iniciais de desenvolvimento da cultura, tornando uma forma eficiente de aumentar a fertilidade do solo e o rendimento produtivo das plantas (CRUSCIOL et al., 2021). Na Figura 4, se observa o uso da torta de filtro na entrelinha de plantio da cana-de-açúcar.



Figura 4. Torta de filtro aplicado na entrelinha da cana-de-açúcar.

Fonte: Sponchiado et al. (2020).

Para cada tonelada de cana-de-açúcar moída, se tem uma produção de 30 a 40 kg de torta de filtro, sendo este um material orgânico com elevada capacidade de reter água em tensões reduzidas que, na maioria das vezes, garantem uma melhor brotação da cultura em locais e épocas de produção restritivos (SOARES et al., 2021; CAIONE et al., 2025).

A torta de filtro é aplicada comumente em sulcos durante o plantio ou espalhado no campo e, diversos estudos já indicam ganhos de rendimento produtivo de cana-de-açúcar com esta prática, com recomendações de doses utilizadas girando entre 80 Mg ha⁻¹ a 100 Mg ha⁻¹ (pré-plantio em área total) ou 20 Mg ha⁻¹ a 35 Mg ha⁻¹ (no sulco de plantio), podendo ainda, ser utilizado 40 Mg ha⁻¹ a 50 Mg ha⁻¹ nas entrelinhas (SANTIAGO; ROSSETO, 2019). Diante do exposto, a torta de filtro demonstra ser um recurso importante para a agricultura canavieira, promovendo a fertilidade do solo e o aumento da produtividade.

3.3. PESQUISAS COM TORTA DE FILTRO NA PARAÍBA

A literatura mostra uma carência de publicações envolvendo uso da torta de filtro na cana-de-açúcar no estado da Paraíba. Entre os estudos existentes, se tem o de Silva et al. (2023), ao investigarem o uso da torta de filtro enriquecida na cana-de-açúcar e sua influência na produtividade e trocas gasosas. O experimento de Silva et al. (2023) foi desenvolvido em uma Usina localizada no estado da Paraíba, utilizando para tal um delineamento de blocos casualizados com 10 tratamentos envolvendo torta de filtro, MAP, bagaço, fosfato e gesso. De acordo com os mesmos autores, a maior tonelada de cana por hectare (TCH) foi obtido nos tratamentos envolvendo T1- Torta, T4- Torta + Fosfato, T6- Torta + MAP + Gesso e T10- Torta + Gesso + Bagaço, com produtividades superiores a 140 t ha⁻¹, os quais concluíram que o uso desse composto orgânico em fundação possibilita um aumento na produtividade e na fisiologia da planta.

Silva et al. (2021) investigando o efeito do uso da torta de filtro enriquecida sob o número de brotações, o teor de sólidos solúveis e o índice de maturação de cana-de-açúcar cultivada nos solos dos tabuleiros costeiros da Paraíba, observaram efeitos positivos nessas variáveis, validando mais uma vez, a influência positiva da torta de filtro como adubação de plantio para a cultura.

Em síntese, percebe-se o potencial do uso da torta de filtro na cultura, contudo, ainda é carente de informações de pesquisas científicas na região.

4. CONCLUSÕES

A torta de filtro representa uma alternativa sustentável e eficiente como fertilizante orgânico, capaz de melhorar a qualidade do solo e aumentar a produtividade da cana-de-açúcar.

É fundamental que mais estudos envolvendo torta de filtro na cana-de-açúcar sejam realizados na Paraíba, especialmente por ser uma região que possui uma alta produção significativa.

REFERÊNCIAS

CAIONE, G.; PRADO, R. D. M.; CAMPOS, C. N. S.; ROSATTO MODA, L.; LIMA VASCONCELOS, R.; PIZAURO JÚNIOR, J. M. Response of sugarcane in a red ultisol to phosphorus rates, phosphorus sources, and filter cake. **The Scientific World Journal** v. 1, p. 405970, 2015.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Segundo levantamento da safra 2024/25, v. 12, n. 2, 2024.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Terceiro levantamento da safra 2024/25, v. 12, n. 3, 2025.

CRUSCIOL, C. A. C.; MCCRAYM, J. M.; CAMPOS, M.; NASCIMENTO, C. A. C.; ROSSATO, O. B.; ADORNA, J. C.; MELLIS, E. V. Filter cake as a long-standing source of micronutrients for sugarcane. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, n. 1, p.813-823, 2021.

FAO – Food and Agriculture Organization. **Data: Crops and livestock products**. 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acessado em: 01 de Abril de 2025.

JANK, M. S. **Agricultura - política estratégica cana-de-açúcar e etanol**. São Paulo: UNICA, 2012. Disponível em: <www.unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=40056365>. Acessado em: 01 de Abril de 2025.

SANTIAGO, A. D.; ROSSETTO, R. Adubação orgânica. In: MARIM, F. R.; SOUZA, M. I. F.; SANTOS, A. D.; OLIVEIRA, D. R. M. S. (Ed.). **Árvore do conhecimento: cana-de-açúcar**. Brasília, DF: Agência Embrapa de Informação Tecnológica.

SILVA, J. H. B.; ALMEIDA, L. J. M.; SILVA, A. V.; ARAÚJO, J. R. E. S.; SANTOS, J. P. O.; SILVA, A. J.; MIELEZRSKI, F. Filter cake increases sugarcane yield. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. e273414, 2023.

SILVA, J. H. B.; NASCIMENTO, M. A.; SILVA, A. V.; NETO, F. P.; ARAÚJO, J. R. E. S.; SILVA, J. M.; MIELEZRSKI, F. Brotação inicial, teor de sólidos solúveis e índice de maturação da cana-de-açúcar submetida à adubação com torta de filtro enriquecida. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 32575-32592, 2021.

SILVA, R. D. C. F. D.; SILVA, F. B. V. D.; BIONDI, C. M.; NASCIMENTO, C. W. A. D.; OLIVEIRA, E. C. A. D. Assessing the content of micronutrients in soils and sugarcane in different pedogeological contexts of northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, p.e0180228, 2019.

SOARES, A. D. A. V. L.; PRADO, R. D. M.; BERTANI, R. M. D. A.; SILVA, A. P. R.; DEUS, A. C. F.; FURLANETO, F. D. P. B. Contribution of using filter cake and vinasse as a source of nutrients for sustainable agriculture—A review. **Sustainability**, v. 16, n. 13, p.5411, 2024.

SOARES, A. V. L.; PRADO, M. R.; CAIONE, G.; RODRIGUES, M.; PAVINATO, P. S.; CAMPOS, C. N. S. Phosphorus dynamics in sugarcane fertilized with filter cake and mineral phosphate sources. **Frontiers Soil Science**, v. 1, p. 1-9, 2021.

SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Revista Eletrônica de Enfermagem**, v. 18, p. e1173, 2010.

SYNGENTA. **Cana-de-açúcar: saiba tudo sobre essa planta**. 2024. Disponível em: <https://blog.syngentadigital.ag/cana-de-acucar/>. Acessado em: 01 de Abril de 2025.

DESAFIOS DO CULTIVO DE BANANEIRA NO SEMIÁRIDO NORDESTINO FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Micaela Benigna Pereira¹, Reynaldo Teodoro de Fatima¹, Alesia Alves de Sousa¹, Maria Amanda Guedes², Anderson Bruno Anacleto de Andrade¹, Mateus Gonçalves Silva¹, Kaline Dantas Travassos³

¹Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/Campus Pombal, Pombal-PB, e-mail: micalabp.fg@gmail.com

²Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/Campus Campina Grande -PB

³Instituto Nacional do Semiárido – INSA, Campina Grande-PB

RESUMO

O cultivo da bananeira no Semiárido Nordeste é fundamental para a economia e segurança alimentar da região, mas enfrenta desafios crescentes devido às mudanças climáticas. O clima semiárido, caracterizado por altas temperaturas e chuvas irregulares, torna a produção vulnerável à escassez hídrica, pragas e doenças. O aumento da temperatura e a mudança nos padrões de precipitação comprometem a produtividade e a qualidade dos frutos, exigindo estratégias adaptativas para mitigar seus efeitos. Dentre as soluções propostas, destacam-se a implementação de sistemas de irrigação eficiente, como o gotejamento, o manejo adequado do solo e a adoção de cultivares mais resistentes ao estresse climático. Práticas sustentáveis, como o uso de cobertura vegetal e rotação de culturas, também podem melhorar a retenção de umidade e a fertilidade do solo. Além disso, a capacitação dos agricultores e o investimento em pesquisa e tecnologia são fundamentais para garantir a resiliência da cultura. A promoção de políticas públicas que incentivem a sustentabilidade e a colaboração entre instituições de pesquisa e produtores pode fortalecer a bananicultura regional. Dessa forma, é possível assegurar a continuidade do cultivo da bananeira, garantindo sua relevância econômica e social no Semiárido Nordeste.

PALAVRAS-CHAVE: *Musa* spp., variações climáticas, sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

O semiárido nordestino brasileiro, caracterizado por um clima árido e a presença da caatinga, impõe desafios significativos para a agricultura, em especial para o cultivo da bananeira, uma cultura sutil e economicamente expressiva (TELES et al., 2022). Nas últimas décadas, as alterações climáticas têm intensificado as dificuldades já enfrentadas por essa região, tornando os ciclos de produção mais vulneráveis a variáveis como temperatura, escassez hídrica e padrões de precipitação (FU et al., 2023). A interdependência entre esses fatores climáticos e as práticas agrícolas locais permite uma análise aprofundada da resiliência e adaptabilidade do cultivo da bananeira em um contexto que se transforma rapidamente.

As condições do semiárido, incluindo o solo frequentemente pobre em nutrientes e a irregularidade das chuvas, exigem um manejo agrícola vigoroso e cuidadosamente adaptado, sendo que as tecnologias de irrigação, como o gotejamento, surgem como soluções promissoras, no entanto, seu custo e a disponibilidade de recursos hídricos são obstáculos a serem superados (BERNARDO et al., 2019). Além disso, a incidência de

pragas e doenças, potencializada por temperaturas elevadas e um clima errático, cria uma necessidade premente por práticas de controle integrado e manejo ecológico (SELVARAJ et al., 2019). A interação entre a biodiversidade local e as novas práticas agrícolas também demanda uma abordagem mais holística, visando não apenas a sobrevivência, mas a prosperidade do cultivo em um cenário climático incerto (FU et al., 2023).

A pesquisa e a aplicação de técnicas de cultivo adaptativas são fundamentais não apenas para minimizar os impactos das variações climáticas, mas também para garantir a segurança alimentar e a sustentabilidade das comunidades que dependem da bananicultura (ALMEIDA et al., 2024). A implementação de políticas públicas voltadas para a educação e capacitação de agricultores em práticas sustentáveis pode impulsionar transformações significativas na agricultura regional (LIMA et al., 2016). Diante desses desafios, esta revisão analisa os principais obstáculos enfrentados pelo cultivo da bananeira no Nordeste brasileiro, abordando a relação entre práticas agrícolas, avanços tecnológicos e políticas públicas, com foco na consolidação da economia regional e na resiliência do setor agrícola frente às adversidades climáticas.

2. IMPORTÂNCIA DA BANANEIRA NA ECONOMIA LOCAL

A bananeira desempenha um papel essencial na economia brasileira, evidenciado pelo crescimento do valor de produção, que aumentou de R\$ 7.545.369 mil para R\$ 13.808.636 mil — um avanço de 83,00%. Em 2023, a produção nacional alcançou 6.825.724 toneladas, cultivadas em uma área de 456.522 hectares. Embora o estado de São Paulo lidere a produção nacional, com 976.455 toneladas, o Nordeste se destaca pela significativa participação, respondendo por 35,20% do total produzido, com a Bahia sendo o estado mais produtivo da região, registrando 862.568 toneladas (IBGE, 2023). Grande parte das áreas de cultivo no Nordeste está situada no semiárido, onde a bananicultura desempenha um papel vital na segurança alimentar e na geração de renda para comunidades vulneráveis. Essa atividade agrícola integra-se diretamente às esferas social e econômica, abrangendo desde a produção até a comercialização. As variedades específicas destinadas ao consumo e ao processamento são fundamentais para a dieta local, evidenciando um forte componente cultural. Além disso, a demanda por bananas e seus derivados, como doces e farinhas, impulsiona o surgimento de pequenas e médias empresas, contribuindo para a geração de empregos e o fortalecimento da economia regional (TELES et al., 2022). A relação entre a bananeira e a economia local é inegável, pois o cultivo oferece uma fonte de renda estável, especialmente em períodos de instabilidade climática, visto que esse setor movimentava circuitos financeiros que beneficiam tanto pequenos agricultores quanto mercados regionais, fortalecendo a segurança alimentar e reduzindo a dependência de alimentos importados (CESAR et al., 2019). Além disso, a bananicultura representa um símbolo de resiliência frente às mudanças climáticas que afetam a agricultura nordestina. A diversidade genética da banana e sua capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais favorecem práticas sustentáveis, enquanto a capacitação contínua dos produtores em técnicas agrícolas sustentáveis é essencial para garantir a viabilidade econômica e a preservação ambiental das comunidades nordestinas.

3. CARACTERÍSTICAS DO SEMIÁRIDO NORDESTINO

O Semiárido Nordestino, uma vasta região do Brasil, é marcado por um clima tropical semiárido, com grandes variações de temperatura e precipitação. As chuvas são irregulares, concentrando-se entre janeiro e abril, com média anual de 400 a 800 mm (SOUZA et al., 2016). Esse padrão irregular influencia a agricultura, especialmente o cultivo da bananeira, que requer umidade constante. A alta evapotranspiração e a escassez de fontes hídricas criam desafios para a produtividade agrícola. O solo, geralmente árido e de baixa fertilidade, apresenta características que demandam práticas de manejo sustentável para o cultivo da bananeira. As geologias e formações rochosas afetam a disponibilidade de água e a vegetação local. Apesar das dificuldades, a região possui uma biodiversidade rica, com espécies adaptadas a condições extremas (SOUZA et al., 2016). As mudanças climáticas intensificam a vulnerabilidade do Semiárido, pois previsões indicam aumento de temperatura e redução das chuvas, ameaçando a produção agrícola e o modo de vida das comunidades que dependem da agricultura familiar. Projetos adaptativos, como o uso de variedades de bananeira mais resistentes e técnicas de irrigação eficiente, são essenciais para que os agricultores enfrentem os novos desafios e protejam suas fontes de renda. Compreender o Semiárido Nordestino é vital para garantir a sustentabilidade do cultivo da bananeira diante das transformações climáticas.

4. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEUS EFEITOS

4.1. Alterações de Temperatura

As mudanças climáticas têm causado alterações significativas nas temperaturas, impactando regiões vulneráveis como o semiárido nordestino, onde o cultivo de bananeira é fundamental. As variações térmicas decorrentes do aquecimento global não são uniformes, apresentando aumentos graduais que ameaçam a sustentabilidade agrícola (FU et al., 2023). A elevação da temperatura média prejudica a fisiologia da bananeira, que tem um limite crítico de tolerância ao calor. Temperaturas acima de 30°C afetam a fotossíntese e a produtividade, resultando em frutas menores e com menor qualidade nutricional. Além disso, temperaturas elevadas aceleram a evapotranspiração, aumentando o estresse hídrico nas plantas. A relação entre temperatura e umidade do solo é crítica, já que o aquecimento pode agravar a secagem do solo, limitando a água vital para o desenvolvimento da bananeira (TELES et al., 2022). Os agricultores precisam adaptar suas práticas culturais, escolhendo variedades mais resistentes e implementando sistemas de irrigação eficientes. Adaptar-se às mudanças de temperatura é estratégico para a viabilidade do cultivo no semiárido. Políticas públicas e pesquisas devem apoiar a transição para sistemas de cultivo resilientes, integrando práticas sustentáveis para preservar recursos hídricos e promover a biodiversidade (CESAR et al., 2019; ABDOUSSALAMI et al., 2023). O futuro do cultivo de bananeira no nordeste do Brasil depende da adaptação a essas alterações térmicas, destacando a urgência de um esforço coletivo para mitigar os impactos negativos das mudanças climáticas na agricultura.

4.2. Mudanças nos Padrões de Precipitação

As mudanças climáticas têm causado transformações nos padrões de precipitação no semiárido nordestino, uma região vulnerável ecologicamente e socioeconomicamente. As análises climáticas mostram um padrão de precipitação errático, com chuvas intensas

seguidas de longos períodos de seca (FU et al., 2023). Essa variabilidade compromete o abastecimento hídrico e afeta a agricultura, especialmente o cultivo de bananeiras. Anteriormente, as chuvas seguiam um calendário previsível, mas as oscilações atuais dificultam a programação agrícola, exigindo adaptação dos produtores, se torna ainda mais preocupante com as projeções futuras, que indicam que as chuvas se tornarão ainda mais irregulares nas próximas décadas, aumentando a intensidade e frequência de eventos extremos, causando inundações e agravos à estiagem, reduzindo a umidade do solo e a produtividade das bananeiras (ALMEIDA et al., 2024). A dependência dessa cultura de um regime de precipitação constante expõe os agricultores a riscos significativos, pois a banana é sensível ao estresse hídrico, o que pode levar ao comprometimento da qualidade dos frutos, gerando frutos menores e mais suscetíveis a doenças, reduzindo a colheita (ABDOUSSALAMI et al., 2023). É essencial desenvolver estratégias de adaptação e manejo sustentável para mitigar os impactos das mudanças nos padrões de precipitação. Isso pode incluir sistemas agroflorestais, técnicas de captação de água da chuva e seleção de variedades de bananeiras resistentes às variações climáticas, permitindo que os agricultores enfrentem a intermitência das chuvas e aumentem a resiliência dos cultivos em um cenário climático instável e volátil (SOARES et al., 2021).

4.3. Aumento da Frequência de Secas

O aumento da frequência de secas no semiárido nordestino brasileiro representa um grande desafio para o cultivo da bananeira, que necessita de água suficiente. As secas, intensificadas pelas mudanças climáticas, resultam em longos períodos sem chuva, tornando os métodos tradicionais de irrigação insuficientes (FU et al., 2023). Isso compromete a produtividade das lavouras e a qualidade das bananas, pois a falta de água prejudica o desenvolvimento das plantas e aumenta a vulnerabilidade a pragas e doenças. A intensificação das secas altera o ciclo de vida da bananeira, exigindo adaptação dos agricultores, o que torna o manejo hídrico crucial para enfrentar essa adversidade. Inovações, como sistemas de irrigação por gotejamento, são essenciais para otimizar o uso da água e garantir a sobrevivência das plantações (BERNARDO et al., 2019). A adoção de práticas agrícolas sustentáveis, como agroecologia e cultivares mais resistentes, é necessária para mitigar os impactos (ABDOUSSALAMI et al., 2023). O aumento da frequência de secas exige uma reavaliação das práticas agrícolas, promovendo capacitação dos produtores em técnicas que assegurem a resiliência e sustentabilidade das plantações (ALMEIDA et al., 2024). O reconhecimento da necessidade de planejamento frente às mudanças climáticas é vital para a sobrevivência do cultivo da bananeira, o que requer colaboração entre governos, institutos de pesquisa e produtores para fomentar políticas que incentivem a adoção de tecnologias resilientes e práticas de conservação (CESAR et al., 2019). Apenas uma abordagem integrada será eficaz para enfrentar as secas e garantir um futuro estável para essa cultura na região.

5. DESAFIOS DO CULTIVO DE BANANEIRA

5.1. Disponibilidade de Água

A disponibilidade de água para o cultivo de bananeiras no semiárido nordestino é um desafio crucial para agricultores. Este bioma, com condições climáticas extremas, tem precipitação irregular e alta evapotranspiração, tornando a água um recurso escasso e difícil de gerenciar. As fontes hídricas como poços, cisternas e açudes são essenciais para

a irrigação das plantações, sendo que a sustentabilidade dessas fontes está comprometida pelas mudanças climáticas, que aumentam as secas e a variabilidade das chuvas. Práticas de manejo hídrico são fundamentais para restaurar a resiliência do cultivo, sendo que técnicas como irrigação por gotejamento agregam eficiência ao uso da água, minimizando perdas, o que pode ser alcançado também pela utilização de mulching e práticas que aumentam a infiltração do solo para conservar a umidade (BERNARDO et al., 2019). Assim, a gestão responsável inclui não apenas a quantidade, mas a qualidade da água. Conscientizar os agricultores sobre a importância da água e capacitá-los para novas tecnologias são passos essenciais para a produtividade das bananeiras e a segurança alimentar. Um manejo hídrico eficaz é, portanto, uma estratégia indispensável para mitigar os impactos das mudanças climáticas e garantir a viabilidade econômica e ambiental da banana no semiárido (ALMEIDA et al., 2024).

5.2. Solo e Fertilidade

A interação entre solo e fertilidade é vital para o cultivo de bananeiras no semiárido nordestino, onde as condições do solo são desafiadoras. O solo, composto por partículas minerais, matéria orgânica, água e ar, é crucial na disponibilidade de nutrientes essenciais para as plantas (LIMA et al., 2016). A textura do solo, que varia entre areias, siltes e argilosos, influencia a retenção de água e a aeração, afetando a absorção de nutrientes e o crescimento das bananeiras. A fertilidade do solo é prejudicada por práticas inadequadas, como cultivo contínuo sem rotação, levando à exaustão dos recursos, em vista que temperaturas altas e evaporação intensa causam perdas na movimentação de nutrientes ao solo, muitas vezes elevando o nível salino as plantas, ampliando o desafio da correção da fertilidade (BERNARDO et al., 2019). Para enfrentar esses problemas, análises regulares de solo são necessárias para ajustar práticas de adubação conforme as necessidades específicas, além disso, a incorporação de matéria orgânica, como compostos e esterco, melhora a estrutura do solo e aumenta a retenção de água, ao ponto que as alterações climáticas complicam ainda mais o manejo do solo e da fertilidade, com variabilidade nas chuvas e secas prolongadas forçando adaptações nas práticas de cultivo (FU et al., 2023). Técnicas sustentáveis, como agricultura conservacionista, previnem erosão e degradação da fertilidade, enquanto adubação verde restaura a fertilidade do solo e promove a biodiversidade microbiana (LIMA et al., 2016). A conscientização e a educação dos agricultores sobre boas práticas de manejo são essenciais para uma produção de bananeiras mais sustentável e resiliente às adversidades climáticas.

5.3. Pragas e Doenças

A produção de banana no Nordeste brasileiro desempenha um papel crucial na economia regional, porém enfrenta desafios significativos devido à incidência de pragas e doenças que comprometem a produtividade e a qualidade dos frutos. Entre as principais pragas, destaca-se o ácaro vermelho das palmeiras (*Raoiella indica*), que tem se espalhado rapidamente e impactado economicamente a região, além dos nematoides, como *Radopholus similis* e *Meloidogyne* spp., que danificam as raízes e reduzem a fixação das plantas. No campo das doenças, a Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) é uma das mais destrutivas, podendo causar perdas de até 100% em variedades suscetíveis ao comprometer a área foliar funcional e acelerar a maturação dos frutos (SELVARAJ et al., 2019). Além disso, a podridão da coroa, causada por complexos fúngicos, gera prejuízos no armazenamento e transporte, enquanto o moko da bananeira (*Ralstonia solanacearum*) e a murcha de Fusarium (*Fusarium kalimantanense*) representam sérios riscos fitossanitários (SANTOS et al., 2022). O manejo eficaz dessas ameaças exige uma

abordagem integrada, combinando resistência genética, com cultivares como BRS Tropical e Caipira, e estratégias sustentáveis, como rotação de culturas e uso de defensivos biológicos (SOARES et al., 2021). Tecnologias modernas, como inteligência artificial para monitoramento precoce e biotecnologia para desenvolvimento de variedades mais resistentes, são fundamentais para mitigar os impactos dessas pragas e doenças (ABDOUSSALAMI et al., 2023). Além disso, o aumento das temperaturas e a irregularidade das chuvas favorecem novas infestações e agravam os problemas existentes, tornando essencial o fortalecimento da pesquisa e a capacitação dos agricultores. A colaboração entre produtores, cientistas e órgãos governamentais é indispensável para o desenvolvimento de estratégias adaptativas, garantindo a sustentabilidade da produção de banana e a segurança alimentar das comunidades dependentes dessa cultura (CESAR et al., 2019).

6. ALTERNATIVAS PARA O CULTIVO SUSTENTAVEL DA BANANEIRA

A irrigação eficiente é essencial para o cultivo da bananeira no semiárido nordestino, onde o clima adverso exige o uso racional da água, sendo que sistemas como gotejamento e microaspersão reduzem desperdícios e garantem a distribuição direta às raízes (BERNARDO et al., 2019). Além da escolha do sistema adequado, é necessário considerar as características do solo e as necessidades hídricas da cultura. Técnicas como cobertura vegetal e sensores de umidade auxiliam na retenção de água, reduzindo a necessidade de irrigação frequente (BERNARDO et al., 2019). O monitoramento contínuo das condições climáticas e do solo promove uma gestão eficiente e sustentável da irrigação, assegurando a viabilidade econômica e ambiental do cultivo.

A cobertura do solo é uma prática essencial para a conservação da umidade e a melhoria da fertilidade no cultivo da bananeira. O uso de materiais orgânicos, como palha de arroz e restos de culturas, favorece a retenção de água, melhora a estrutura do solo e fornece nutrientes essenciais. Já coberturas inorgânicas, como plásticos, auxiliam no controle da temperatura e na prevenção da erosão. Apesar do custo inicial, a adoção dessa técnica proporciona benefícios sustentáveis e melhora a produtividade, sendo um recurso valioso para a adaptação da cultura às condições áridas da região. No semiárido, a intercalação da bananeira com leguminosas, sorgo ou milho melhora a fertilidade e estrutura do solo, além de minimizar a erosão (LEONEL et al., 2024). Essa prática otimiza o uso dos recursos naturais e reduz a dependência de fertilizantes químicos. Quando combinada com irrigação eficiente e cobertura do solo, a rotação se torna uma estratégia indispensável para garantir a resiliência da produção frente às mudanças climáticas.

O uso de tecnologia e inovação no cultivo da bananeira impulsiona a adaptação às condições desafiadoras do semiárido. A biotecnologia permite o desenvolvimento de variedades resistentes a doenças e estresse hídrico, enquanto biofertilizantes e biopesticidas reduzem a dependência de produtos químicos (ALMEIDA et al., 2024). Além disso, sistemas de monitoramento climático, baseados em sensores e inteligência artificial, auxiliam na tomada de decisões estratégicas para o manejo eficiente das lavouras. A capacitação dos agricultores para interpretar esses dados é essencial para maximizar os benefícios, tornando o cultivo mais produtivo e sustentável diante das transformações climáticas.

7. PERSPECTIVAS FUTURAS PARA O CULTIVO DE BANANEIRA

A bananicultura no Semiárido Nordeste enfrenta desafios relacionados às mudanças climáticas, exigindo adaptação por meio de variedades resistentes à seca e doenças, essenciais para a produção e segurança alimentar (SOARES et al., 2021). Práticas agroecológicas, como rotação de culturas, cobertura do solo e captação de água da chuva, são fundamentais para preservar o solo e otimizar o uso da água, sendo que associada a irrigação localizada e o investimento em biotecnologia se torna alternativa para garantir cultivares mais produtivas e adaptadas ao mercado. Além disso, a capacitação dos agricultores em técnicas inovadoras e tecnologias digitais contribui para maior eficiência e resiliência da produção, pois o aumento das temperaturas e a irregularidade das chuvas comprometem a produtividade, tornando essencial a adoção de estratégias sustentáveis e políticas de incentivo à inovação (ABDOUSSALAMI et al., 2023). O apoio governamental, aliado à pesquisa e à colaboração entre comunidades locais, pode transformar o cultivo da banana em uma atividade mais lucrativa e sustentável, pois uma abordagem integrada, que respeite as características regionais e promova soluções inovadoras, é essencial para fortalecer a economia e garantir a segurança alimentar (CESAR et al., 2019). Apostar em práticas sustentáveis e na adaptação às mudanças climáticas pode assegurar um futuro promissor para a bananicultura na região.

8. CONCLUSÕES

O cultivo de bananeira no Semiárido Nordeste enfrenta desafios agravados pelas mudanças climáticas, como o aumento das temperaturas e a irregularidade das chuvas, impactando a produtividade e a qualidade dos frutos. Para garantir a viabilidade econômica e nutricional da cultura, é essencial adotar práticas que otimizem o uso da água, como irrigação por gotejamento e técnicas agroecológicas. A introdução de variedades mais resistentes ao estresse climático, aliada a investimentos em pesquisa e tecnologia, pode fortalecer a resiliência das lavouras. Além disso, a capacitação dos agricultores e políticas públicas que incentivem práticas sustentáveis são fundamentais para a adaptação ao novo cenário. Um esforço conjunto entre governo, instituições de pesquisa e comunidades locais é necessário para promover um cultivo sustentável. A articulação de soluções inovadoras permitirá fortalecer a economia local e garantir a segurança alimentar da região, assegurando um futuro promissor para a bananicultura.

REFERÊNCIAS

- ABDOUSSALAMI, A.; HU, Z.; ISLAM, A. R. M. T.; WU, Z. Climate change and its impacts on banana production: a systematic analysis. **Environment, Development and Sustainability**, v. 25, n. 11, p. 12217-12246, 2023.
- ALMEIDA, F.; SANTOS, M.; COELHO, E.; DONATO, S.; OLIVEIRA, P.; DA SILVA REIS, J.; DE CARVALHO, L.; DE LIMA, J.; SANTOS, D.; CUNHA, F. Irrigation of 'Prata-Anã' banana with partial root-zone drying in a semi-arid environment. **Agronomy**, 2024.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 9. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2019. 545 p.

CESAR, F.; PEDRO, F.; KHATOUNIAN, C. A.; SILVA, S. R. D. Estrutura social e desempenho econômico: o caso dos produtores de banana orgânica na região do Vale do Ribeira, no Brasil. **Revista Internacional de Sociologia**, v. 3, n. 2, p. 236-242, 2019.

FU, R.; WANG, C.; GU, H.; XIE, Q.; LIU, G.; YIN, G. Attribution of air temperature and precipitation to the future global drought events. **Environmental Research Communications**, v. 5, 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Produção agrícola municipal 2023. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 18 mar. 2025.

LEONEL, S.; LEONEL, M.; JESUS, P. R. R. D.; TECCHIO, M. A.; SILVA, M. D. S.; CÂNDIDO, H. T.; OUROS, L. F. D. Achievements of Musa sp.-based intercropping systems in improving crop sustainability. **Horticulturae**, v. 10, n. 9, 2024.

LIMA, L. C. M.; DOS SANTOS SOUZA, T. E. M.; DE SOUZA, E. R.; DE OLIVEIRA, E. L. Práticas de manejo e conservação do solo: percepção de agricultores da região semiárida pernambucana. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 4, p. 148-153, 2016.

SANTOS, J. S.; SILVA, D.; VIEIRA, R.; CARVALHO, A.; SCHURT, D.; LIMA, M.; GASPAROTTO, L.; LIMA, C.; SILVA, C. First report of Fusarium kalimantanense causing Fusarium wilt on banana tree in Brazil. **Plant Disease**, v. 1, p.227, 2022.

SELVARAJ, M.; VERGARA, A.; RUIZ, H.; SAFARI, N.; ELAYABALAN, S.; OCIMATI, W.; BLOMME, G. AI-powered banana diseases and pest detection. **Plant Methods**, v. 15, p. 1-11, 2019.

SOARES, J. M.; ROCHA, A. J.; NASCIMENTO, F. S.; SANTOS, A. S.; MILLER, R. N.; FERREIRA, C. F.; AMORIM, E. P. Genetic improvement for resistance to black Sigatoka in bananas: A systematic review. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 1-15, 2021.

SOUZA, N. G.; SILVA, J. A.; MAIA, J. M.; SILVA, J. B.; JÚNIOR, E. D. S. N.; MENESES, C. H. S. G. Tecnologias sociais voltadas para o desenvolvimento do semiárido brasileiro. **Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management**, v. 12, p. 1-12, 2016.

TELES, G. C.; MIYOSHI, J. H.; CROZATTI, T. T. S.; OLIVEIRA, P. R. S.; LUCKESI, D.; BARROS, R. A. Biomassa de banana verde: alimento funcional, uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, 2022.

DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO E SEUS IMPACTOS

Caio Cardoso de Araujo¹; Levy Nithack Cardoso Bezerra¹, Kilson Pinheiro Lopes¹,
Micaela Benigna Pereira¹, Antônio Ruan Furtado Júnior¹; José Antônio da Costa
Moura¹ e Francisco Miguel de Oliveira Campos¹

¹Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/Campus Pombal, Pombal-PB, e-mail:
caiocardosodearaujo5@gmail.com

RESUMO

A desertificação no Semiárido brasileiro é um problema sério que afeta os ecossistemas, a economia e as comunidades locais, resultando em perda de biodiversidade e escassez de recursos hídricos. Esse processo é impulsionado por fatores climáticos e práticas humanas inadequadas. Nesse contexto, buscou-se analisar as causas, consequências e possíveis soluções para a desertificação no Semiárido brasileiro, destacando a necessidade de ações integradas entre ciência, governo e comunidades locais para garantir a sustentabilidade da região. Neste trabalho, adotou-se a metodologia de revisão integrativa, que consistiu na seleção de artigos científicos e de revisão publicados em inglês e português. A pesquisa bibliográfica foi realizada com base em palavras-chave relevantes ao assunto, seguida da aplicação de critérios de inclusão e exclusão. Os artigos selecionados passaram por uma leitura minuciosa, onde foram aplicados critérios específicos previamente definidos. Conclui-se que: A desertificação no Semiárido brasileiro representa um grande desafio, com impactos significativos nos ecossistemas, na economia e nas comunidades locais. Esse fenômeno é intensificado por fatores climáticos e ações humanas, reduzindo a biodiversidade e comprometendo os recursos hídricos. No entanto, o avanço tecnológico e o compromisso com práticas sustentáveis oferecem oportunidades de enfrentamento. É crucial desenvolver políticas públicas que priorizem a resiliência climática e promovam a participação das comunidades na gestão dos recursos naturais.

PALAVRAS-CHAVE: Degradação do solo, vulnerabilidade, manejo sustentável.

1. INTRODUÇÃO

A desertificação é um fenômeno de degradação do solo que afeta ecossistemas em áreas áridas, semiáridas e subúmidas, podendo transformá-las em condições desérticas, com impactos diretos na segurança alimentar (SILVA et al., 2023). Esse processo é impulsionado por fatores climáticos e atividades humanas, como desmatamento, pastoreio excessivo e manejo inadequado do solo (SACANDE et al., 2020). Globalmente, cerca de 1,9 bilhões de hectares e 1,5 bilhões de pessoas são afetados, destacando a gravidade do problema (ALBUQUERQUE et al., 2020).

No Brasil, o Semiárido é especialmente vulnerável devido às suas condições geoclimáticas, abrangendo 1,2 milhões de km² (SILVA et al., 2022). A salinização do solo agrava a desertificação, ocorrendo tanto por processos naturais, como intemperismo

e transporte de sais, quanto por ações humanas, como irrigação inadequada (CASTRO; SANTOS, 2020). A Caatinga, bioma marcado por chuvas escassas, ilustra essa fragilidade, com 10% a 20% das áreas áridas globais já degradadas, afetando milhões de pessoas (HUANG et al., 2020).

O pastoreio excessivo é um dos principais vetores de degradação, reduzindo a cobertura vegetal e acelerando a perda de funções do solo (LIMA et al., 2024; MARENGO et al., 2022). Além disso, a remoção da vegetação nativa para agricultura ou extração de lenha fragiliza o solo, expondo-o à erosão e diminuindo sua fertilidade (VENDRUSCOLO et al., 2021). Esses fatores combinados intensificam a desertificação, exigindo práticas de restauração para reverter o cenário (AMORIM et al., 2020).

A erosão é outro desafio crítico, corroendo solos agrícolas e formando ravinas profundas, o que reduz a produtividade e desencadeia ciclos de pobreza (GARCÍA-RUIZ et al., 2015). Em regiões semiáridas, como o Nordeste brasileiro, a baixa pluviosidade (300–800 mm/ano) e a alta evapotranspiração (2000–3000 mm/ano) exacerbam o problema (ARAÚJO et al., 2024). Sem intervenções sustentáveis, a desertificação continuará ameaçando ecossistemas e comunidades dependentes dessas terras.

Diante disso esse estudo buscou analisar as causas, consequências e possíveis soluções para a desertificação no Semiárido brasileiro, destacando a necessidade de ações integradas entre ciência, governo e comunidades locais para garantir a sustentabilidade desse bioma único e essencial para o Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para realizar esta pesquisa, adotou-se o método de revisão sistemática da literatura, seguindo diretrizes metodológicas consolidadas (SOUZA et al., 2010). O objetivo principal consistiu em identificar, avaliar e sintetizar de forma crítica as evidências mais recentes sobre o fenômeno em estudo, permitindo uma **compreensão** abrangente e atualizada do tema. O processo metodológico detalhado em fluxograma (Figura 1), descreve as principais etapas desenvolvidas na pesquisa.

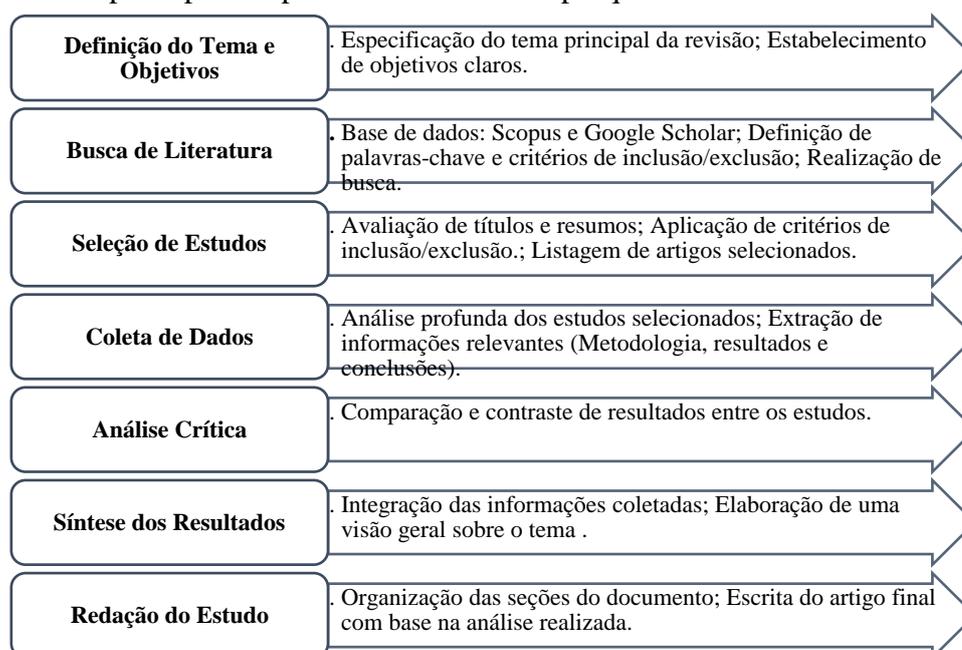


Figura 1. Fluxograma de etapas para a execução do estudo. Fonte: Autoria própria (2025).

As informações coletadas foram estruturadas em tópicos que correspondem aos objetivos da pesquisa, abordando os seguintes eixos temáticos: Contextualização da desertificação no Semiárido brasileiro; Causas da desertificação no semiárido brasileiro; Impactos ambientais e socioeconômicos da desertificação; Ações de mitigação e adaptação; e considerações que fundamentaram as conclusões do trabalho.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Contextualização da desertificação no Semiárido brasileiro

Estudos indicam que aproximadamente 38% do território brasileiro é composto por terras secas, com 13% da região semiárida enfrentando processos de desertificação (UNESCO, 2007; BURITI; BARBOSA, 2022). Essa condição resulta em solos degradados, vegetação escassa, especialmente na Caatinga, e prolongados períodos de seca, que comprometem a agricultura e a segurança alimentar (BARBOSA, 2024). O Semiárido brasileiro, que abrange 1.128.697 km² (13,25% do território nacional e 70,3% do Nordeste), abriga 30,3 milhões de pessoas, representando 14,6% da população do país e 54,7% da população nordestina (IBGE, 2022).

O Nordeste brasileiro destaca-se como uma das áreas mais vulneráveis à desertificação, devido à combinação de secas recorrentes, desmatamento e manejo inadequado dos recursos naturais (VIEIRA et al., 2020). Nesse contexto, os Luvisolos, solos férteis com alta capacidade de troca iônica, cobrem cerca de 107.000 km² no Semiárido (MUKHOPADHYAY et al., 2019). Globalmente, esses solos ocupam entre 500 e 600 milhões de hectares, sendo comuns em regiões tropicais e subtropicais (FAO, 2015). No entanto, práticas insustentáveis, como a remoção da vegetação nativa, aceleram a erosão e a perda de fertilidade, intensificando a desertificação (BARBOSA NETO et al., 2020).

A desertificação no Semiárido brasileiro tem impactos multidimensionais, afetando não apenas o meio ambiente, mas também as condições socioeconômicas locais (ARAÚJO et al., 2023). A degradação do solo reduz a produtividade agrícola, agrava a pobreza e desestabiliza ecossistemas, com reflexos em escala global (SILVA et al., 2022).

3.2. Causas da desertificação no Semiárido

A salinização dos solos agrícolas irrigados representa um dos principais fatores de desertificação no Semiárido brasileiro, decorrente do acúmulo de sais nas camadas cultiváveis (CASTRO; SANTOS, 2020). Esse fenômeno ocorre tanto por causas naturais (salinização primária), relacionadas a condições climáticas, geológicas e de drenagem, quanto por ações antrópicas (salinização secundária), como manejo inadequado da irrigação e uso de águas salobras (PESSOA et al., 2022). Estima-se que 350 milhões de hectares no mundo sejam vulneráveis à desertificação por salinização (IVUSHKIN et al., 2019), sendo o semiárido brasileiro particularmente afetado devido à baixa pluviosidade e à dependência de irrigação (PESSOA et al., 2022).

A degradação do solo no Semiárido é agravada ainda pelo sobrepastoreio, prática que excede a capacidade de suporte dos solos (JIANG et al., 2022), e pelas condições climáticas adversas, marcadas por chuvas irregulares influenciadas por fenômenos como o El Niño (COSTA et al., 2020). Embora a combinação de práticas inadequadas e secas

recorrentes intensifique a desertificação (PAREDES-TREJO et al., 2023), ainda faltam evidências conclusivas sobre alterações nos padrões hídricos regionais decorrentes do manejo do solo (BARBOSA, 2023). Essa lacuna ressalta a necessidade de maiores investigações sobre os processos de degradação nesse ecossistema vulnerável.

3.3. Impactos ambientais e socioeconômicos da desertificação no Semiárido

A desertificação provoca graves impactos ambientais, destacando-se a degradação do solo, perda de biodiversidade e alterações nos ciclos hidrológicos. Estudos indicam que o processo reduz a fertilidade do solo, comprometendo sua capacidade produtiva e acelerando a erosão (DHARUMARAJAN et al., 2018). Além disso, a diminuição da cobertura vegetal em biomas como a Caatinga afeta diretamente a fauna e a flora, reduzindo a resiliência dos ecossistemas (HUANG et al., 2020). Essas mudanças ambientais intensificam ainda as emissões de CO₂ devido à decomposição da matéria orgânica e à redução da capacidade de sequestro de carbono (SILVA et al., 2024).

No aspecto socioeconômico, a desertificação agrava a pobreza e a insegurança alimentar, especialmente em regiões semiáridas. Comunidades rurais dependentes da agricultura e pecuária enfrentam quedas drásticas na produção, aumentando a vulnerabilidade econômica (VIEIRA et al., 2020). No Nordeste brasileiro, onde 26 milhões de pessoas vivem em áreas suscetíveis à desertificação (IBGE, 2022), a escassez de recursos hídricos e a degradação do solo limitam as oportunidades de desenvolvimento (BEZERRA et al., 2020). Esses fatores contribuem para migrações forçadas e conflitos por recursos naturais, exacerbando desigualdades sociais (CARDONA, 2013).

3.4. Ações de mitigação e adaptação

A reabilitação ecológica visa restaurar ecossistemas degradados, recuperando suas características físicas, químicas e biológicas próximas ao estado original (MORMUSSEY et al., 2022). Práticas sustentáveis, como sistemas agroflorestais, manejo silvopastoril e técnicas de captação de água, são eficazes no combate à desertificação, integrando conhecimentos tradicionais (AN, 2024). Além disso, tecnologias externas de restauração têm sido desenvolvidas para mitigar os efeitos da desertificação, fortalecendo a resiliência comunitária e promovendo benefícios socioeconômicos e ambientais (ZHANG et al., 2020).

A restauração de áreas desertificadas enfrenta obstáculos, como a escassez hídrica e a lentidão do processo natural de recuperação (ARAÚJO et al., 2023). Estudos indicam que a recomposição do carbono no solo da Caatinga pode levar mais de 50 anos, exigindo a aplicação de compostos orgânicos e o estímulo à diversidade microbiana (ARAÚJO-FILHO et al., 2018). A redução do pastoreio e o uso de biomateriais para retenção de água têm se mostrado promissoras, favorecendo a sucessão vegetal e a regeneração do solo (An, 2024).

A gestão ecológica surge como outra estratégia viável para reverter a desertificação, com resultados comprovados na melhoria da fertilidade do solo e na biodiversidade microbiana (WANG et al., 2020). No semiárido brasileiro, áreas sob essa prática apresentaram ganhos de 20% na funcionalidade do solo, enquanto locais com sobrepastoreio perderam 45% (LIMA, 2022; OLIVEIRA-FILHO et al., 2018). Essas

práticas, aliadas à retenção hídrica e ao enriquecimento orgânico, são fundamentais para a recuperação sustentável de ecossistemas degradados (ARAÚJO et al., 2023).

4. CONCLUSÕES

A desertificação no Semiárido brasileiro representa um grande desafio, com impactos significativos nos ecossistemas, na economia e nas comunidades locais. Esse fenômeno é intensificado por fatores climáticos e ações humanas, reduzindo a biodiversidade e comprometendo os recursos hídricos. No entanto, o avanço tecnológico e o compromisso com práticas sustentáveis oferecem oportunidades de enfrentamento. É crucial desenvolver políticas públicas que priorizem a resiliência climática e promovam a participação das comunidades na gestão dos recursos naturais.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, D. S. et al. Desertification scenario in Brazilian territory and actions to combat the problem in the State of Ceará, Brazilian Northeast. **Soc Ambient Semiárido**, v. 55, p. 673-696, 2020.

AMORIM, H. C. et al. Soil quality indices following long-term conservation pasture management practices. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 301, p. e107060, 2020.

AN, Y. Improved environment rehabilitation measures for combatting desertification using water and soil conservation assessment models. **Desalination and Water Treatment**, v. 319, p. 100509–100509, 2024.

ARAÚJO FILHO, R. N. et al. Recovery of carbon stocks in deforested caatinga dry forest soils requires at least 60 years. **Forest Ecology and Management**, v. 407, p. 210–220, 2018.

ARAÚJO, A. S. F. et al. From desertification to restoration in the Brazilian semi-arid region: Unveiling the potential of land restoration on soil microbial properties. **Journal of Environmental Management**, v. 351, 119746, 2024.

BARBOSA NETO, M. V. et al. Rill and sheet soil erosion estimation in an area undergoing desertification in the Brazilian semi-arid region. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 7, p.1183–1191. 2020.

BARBOSA, H. A. Understanding the rapid increase in drought stress and its connections with climate desertification since the early 1990s over the Brazilian semi-arid region. **Journal of arid environments**, v.222, p.105142–105142, 1 jun. 2024.

BEZERRA, F. G. S. et al. Analysis of areas undergoing desertification, using EVI2 multi-temporal data based on MODIS imagery as indicator. **Ecological Indicators**, v. 117, p. 106579, out. 2020.

BURITI, C. O.; BARBOSA, H. A. **Desertificação e mapeamento de áreas degradadas no Semiárido brasileiro a partir de satélites**. Ensino de Geografia e a Redução do Risco de Desastres em espaço rural e urbano. São Paulo: Centro Paula Souza, p. 465-483, 2022.

CARDONA, O. D. The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: a necessary review and criticism for effective risk management. In: **Mapping vulnerability**. Routledge, p. 37-51, 2013.

COSTA, M. DA S. et al. Rainfall extremes and drought in Northeast Brazil and its relationship with El Niño–Southern Oscillation. **International Journal of Climatology**, v. 41, n. S1, 30 set. 2020.

GARCÍA-RUIZ, J. M. et al. A meta-analysis of soil erosion rates across the world. **Geomorphology**, v. 239, p.160-173, 2015.

HUANG, J. et al. Global desertification vulnerability to climate change and human activities. **Land Degradation & Development**, v. 31, n. 11, 1380-1391. 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama do censo 2022**. IBGE, 2022. Disponível em: <https://basedosdados.org/dataset/>. Acesso em: 25 de mar de 2025.

IVUSHKIN, K. et al. Global mapping of soil salinity change. **Remote Sensing of Environment**, v. 231, p. 111260, set. 2019.

JIANG, R.; TONGLU-LI; DONG. Determining Soil Available Water Capacity and Reasonable Irrigation Volume in Dryland Pasture. **Water**, v. 14, n. 17, p. 2760–2760, 5 set. 2022.

LIMA, A. Y. V. et al. Grazing exclusion restores soil health in Brazilian drylands under desertification process. **Applied Soil Ecology**, v.193, p. e105107, 2024.

MARENGO, J. A. et al. Drought in Northeast Brazil: A review of agricultural and policy adaptation options for food security. **Climate Resilience and Sustainability**, v. 1, n.1, e17, 2022.

MOR-MUSSERY, A.; BEN-ELI, M.; LEU, S. Afforestation of gullies in arid regions, intensification of internal ecological functionality until rehabilitation of the whole area. Attir basin, the Northern Negev, Israel. **Catena**, v. 213, p. 106146, 2022.

MUKHOPADHYAY, S. et al. Application of Soil Quality Indicators for the Phytorestoration of Mine Spoil Dumps. **Phytomanagement of Polluted Sites**, p. 361–388, 2019.

OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; et al. Impact of the El Niño on Fire Dynamics on the African Continent. **Earth Syst. Environ.**, v. 8, p. 45–61, 2024.

PAREDES-TREJO, F. et al. Impact of Drought on Land Productivity and Degradation in the Brazilian Semiarid Region. **Land**, v. 12, n. 5, p. 954–954, 2023.

PESSOA, L. G. M. et al. Avaliação do estado de salinidade do solo sob diferentes condições de uso da terra na região semiárida do Nordeste do Brasil. **Indicadores ecológicos**, v. 141, p. 109139–109139, 2022.

SACANDE, M.; PARFONDRY, M.; CICATIELLO, C. **Restoration in action against desertification**. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020.

SILVA, B. F. et al. Evaluating the temporal patterns of land use and precipitation under desertification in the semi-arid region of Brazil. **Ecological Informatics**, v. 77, p. 102192, 2023.

SILVA, D. E. O. et al. Short-term restoration practices change the bacterial community in degraded soil from the Brazilian semiarid. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 6845, 2024.

SILVA, D. F. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi community in soils under desertification and restoration in the Brazilian semiarid. **Microbiological Research**, v. 264, p. 127161–127161, 2022.

SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Revista Eletrônica de Enfermagem**, v. 18, p. e1173, 2010.

UNESCO. **Zoneamento de regimes hídricos na América Latina e Caribe do ponto de vista climático, com foco em áreas vulneráveis**, UNESCO: Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. Uruguai. Disponível em: <https://coilink.org/20.500.12592/79cnqps>. Acesso em: 23 de fev de 2025.

VENDRUSCOLO, J. et al. Monitoring desertification in semiarid Brazil: using the Desertification Degree Index (DDI). **Land Degradation & Development**, v. 32, n. 2, p. 684-698, 2021.

VIEIRA, R. M. S. P. et al. Avaliação de risco de desertificação no Nordeste do Brasil: tendências atuais e cenários futuros. **Degradação e Desenvolvimento da Terra**, v. 32, n.1, p.224-240, 2020.

VIEIRA, R. M. S. P. et al. Characterizing spatio-temporal patterns of social vulnerability to droughts, degradation and desertification in the Brazilian northeast. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 5, p. e100016, 2020.

WANG, J. et al. Soil bacterial community responses to short-term grazing exclusion in a degraded alpine shrubland – grassland ecotone. **Ecological Indicators**, v. 130, p. 108043, 2021.

ZHANG, C.; WANG, X.; LI, J.; HUA, T. Identifying the effect of climate change on desertification in northern China via trend analysis of potential evapotranspiration and precipitation. **Ecological Indicators**, v. 112, p. 106141, 2020.

IMPORTÂNCIA E CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DA CULTURA DA PITAYA: UMA REVISÃO

Maria Luana Oliveira Silva¹, Francisca Pereira da Silva¹, Valéria Fernandes de Oliveira Sousa¹, Vitória Cristina dos Santos Ribeiro¹.

¹Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Pombal-PB, e-mail: luana.engagronoma1@gmail.com

RESUMO

A pitaya (*Hylocereus spp.*), uma fruta tropical da família dos cactos, é originária nas Américas e vem conquistando cada vez mais espaço no Brasil, isso se deve a sua adaptação a climas quentes e secos. Ela é cultivada em diversas regiões do país e tem se destacado no agronegócio não só pelo seu sabor exótico, mas também pelo seu alto valor nutricional, ademais, é rica em antioxidantes, fibras e compostos bioativos. A fruta, não só faz bem à saúde como também oferece diversas possibilidades de aproveitamento, indo muito além do consumo in natura. Diante do crescimento dessa cultura, este estudo busca explorar, por meio de pesquisas bibliográficas, as principais características agronômicas da pitaya e sua importância econômica no Brasil. O cultivo dessa fruta tem se mostrado uma ótima alternativa para diversificar a agricultura e aumentar a renda de pequenos e médios produtores, especialmente em áreas semiáridas. Além disso, por ser resistente e de manejo relativamente simples, a pitaya se torna uma opção sustentável e economicamente viável, atraindo cada vez mais interesse no setor agrícola.

PALAVRAS-CHAVE: Fruticultura, Economia, Fruta exótica.

1. INTRODUÇÃO

A pitaya é uma fruta perene e de hábito trepador, classificada nos gêneros *Hylocereus* ou *Selenicereus* da família Cactaceae, dentro da ordem Caryophyllales (SHAH et al., 2023). Os autores afirmaram também que o nome *Hylocereus* tem origem em duas raízes linguísticas: "hyle", do grego, que significa "lenhoso", e "cereus", do latim, que se refere a algo "ceroso"; em contrapartida a isso, o significado do novo gênero, *Selenicereus* deriva de "Selene", termo grego em referência ao hábito noturno de suas flores.

A pitaya (*Hylocereus spp.*) é uma espécie nativa da América Central e do Sul, amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais ao redor do mundo. Seu cultivo tem grande relevância econômica e agronômica, sendo valorizada por suas propriedades nutricionais, potencial ornamental, aplicação como corante natural, uso na medicina tradicional e na indústria alimentícia, além de sua crescente demanda no mercado consumidor (SHAH et al., 2023).

Atualmente, são reconhecidas três cultivares predominantes a *H. Polirizus/monacanto* (casca vermelha com polpa vermelha), *H. undatus* (casca vermelha com polpa branca), e *H. megalanthus* (casca amarela com polpa branca), as quais são amplamente cultivadas em diversas regiões do globo terrestre (CHEN et al., 2023). De acordo com os autores, a pitaya é a única fruta própria de cultivo extensivo que apresenta uma alta concentração de betalaínas, além disso, a coloração do fruto é um parâmetro fundamental na avaliação da qualidade da pitaya, a síntese e o acúmulo de betalaínas são os principais fatores determinantes das variações de cor na casca e na polpa da pitaya.

A pitáia é muito valorizada no mercado, o quilograma da fruta apresenta valor elevado, isso ocorre em virtude da diversidade de produtos derivados do seu processamento, assim como o elevado potencial medicinal e nutricionais, além disso, o cultivo dispõe de baixo custo de manutenção e manejo, possibilitando retorno financeiro rápido sobre os investimentos (SERAFIM et al., 2024). Na linha de pensamento dos autores, essas razões fazem com que a produção dessa fruta seja uma alternativa chamativa para agricultores o que se configura como uma oportunidade para incrementar a renda e diversificar a produção.

2. UTILIZAÇÃO E MERCADO NA CULTURA DA PITAYA

Atualmente, diversas frutas anteriormente pouco conhecidas pelos consumidores estão se tornando mais presentes em diferentes segmentos do mercado, ademais, esse crescimento abrange desde grandes redes varejistas e centrais de abastecimento até feiras livres, onde a comercialização direta é realizada por agricultores familiares, como ocorre com a pitaya (POLLNOW, 2018). A produção brasileira, em 2017, foi cerca de 1.459 toneladas de pitáia, em 536 hectares, disseminados em 640 estabelecimentos agropecuários (IBGE, 2017). Os dados mostram também que o Estado de São Paulo apresentou maior produção a nível nacional.

Constatou-se que a produção de pitaya no Brasil está em crescimento, sendo integralmente absorvida pelo mercado interno, embora ainda não atinja seu pleno potencial (PASSOS et al., 2023). Nesse sentido, os autores afirmaram que é essencial a realização de investimentos em técnicas de produção e pesquisa científica para fundamentar a expansão da cultura da pitaya nas condições edafoclimáticas do país.

A pitaya tem sido incorporada como ingrediente em diversas preparações culinárias, como mousses e tortas, além de ser utilizada na fabricação de produtos como sorvetes, polpas, geleias e barras de cereais, além de tudo, o sorvete de pitaya tem se destacado como um forte concorrente do sorvete de açaí, devido a sua característica mais saudável e nutritivo (COSTA, 2022). A fruta também tem aplicação na produção de bebidas, incluindo sucos, frozens, iogurtes, cervejas e licores (GREENME, 2017).

Atualmente, os consumidores brasileiros associam a pitaya a conceitos de "naturalidade", "valor nutricional" e "saúde". A partir dessa percepção, diversos produtos têm sido desenvolvidos a partir da fruta, incluindo linhas completas de cosméticos e medicamentos (COSTA, 2022).

Santa et al. (2020) demonstraram que a pitaya de polpa vermelha (*Hylocereus undatus*) apresenta compostos bioativos com propriedades antioxidantes, incluindo ácido ascórbico, polifenóis, betalaínas e carotenoides. Devido a essas características, os autores sugerem seu uso como ingrediente funcional na produção de cervejas artesanais, uma vez que esses fitocompostos não apenas conferem benefícios à saúde, mas também contribuem para a tonalidade característica da bebida, sem interferir negativamente no processo fermentativo ou em suas propriedades físico-químicas. Ademais, a pitaya vermelha atrai consumidores em busca de alimentos inovadores e nutricionalmente enriquecidos, destacando-se por sua aparência exótica, coloração vibrante e presença de sementes escuras em sua polpa (Miranda et al., 2020).

Mesmo que a produção de pitáia no Estado do Pará não seja tão elevada quando feito um comparativo com fruteiras da região, é evidenciado uma leve movimentação feita por uns produtores em realizar o cultivo do fruto, além disso, pesquisadores tentam

interpretar o comportamento tanto produtivo como também comercial dessa espécie vegetal na região (FRÓES JÚNIOR et al., 2019).

A pitia é cultivada em diversos países, onde menciona-se os Estados Unidos com destaque para as regiões Sul da Flórida, Califórnia e Havaí; Austrália, Taiwan, Vietnã, Malásia e Israel (ROJAS-SANDOVAL; PRACIAK, 2021). Segundo os autores, atualmente, o cultivo comercial dessa espécie é realizado em áreas tropicais e em certas zonas de clima temperado, abrangendo locais como o Sudeste Asiático, a China, o continente africano, a Austrália, a América do Norte, a região tropical da América do Sul e as Índias Ocidentais.

3. TÉCNICAS DE CULTIVO

3.1. Propagação

A propagação da pitia pode ser realizada via sementes, contudo, essa forma de propagação resulta em variabilidade nas características do fruto e do caule, considerando também que a espécie apresenta um prolongado período juvenil, o que implica um maior intervalo de tempo para o desenvolvimento e a frutificação (TRIVELLINI et al., 2020). Dessa forma, os autores afirmaram também que o cultivo a partir de sementes pode demandar até seis anos desde o plantio até o início da produção de frutos.

No entanto, a produção de mudas representa a etapa inicial e fundamental para a obtenção de frutos de alta qualidade e com maior valor comercial (FERNANDES; COUTINHO, 2019). Dentre os métodos disponíveis, a estaquia destaca-se como a técnica mais eficiente para a propagação de mudas, sendo amplamente recomendada para cultivos comerciais, além do que, esse processo consiste no uso de ramos inteiros ou segmentos de ramos com, no mínimo, 20 cm de comprimento (LONE et al., 2020). Ainda segundo os autores, para favorecer a cicatrização da região de corte e reduzir riscos de infecção, as estacas devem ser mantidas em ambiente seco, à meia sombra, por aproximadamente duas semanas, evitando-se o acúmulo de umidade excessiva.

Trivellini et al. (2020) estudando a propagação de pitia na Itália concluiu que o tamanho das estacas, as quais foram classificadas como pequenas (10 cm) e médias (20 cm), tal e qual a estação (primavera-verão e outono-inverno) influenciam no enraizamento dos brotos. Nesse sentido, os autores constaram que na primavera-verão ocorre maior frequência de enraizamento, o que é instigado pelo tamanho da estaca, pois passadas duas semanas, as estacas de tamanho mediano e pequenas desenvolveram raízes nas proporções 87% e 65%, respectivamente; o enraizamento a 100% ocorreu a quatro semanas para as médias e a seis semanas para pequenas.

3.2. Nutrição e água.

De acordo com Fernandes et al. (2018), para promover a expansão da área de cultivo da pitia no Brasil otimizando recursos, é preciso ter informações essenciais de manejo da cultura, a exemplo da fertilização, sendo a fertilização potássica a mais requerida, a qual ainda é bastante escassa de estudos. O potássio (K) é o nutriente demandado em maior quantidade pela pitia, nesse sentido, espécies *H. undatus* e *H. polythizus* apresentam exigências nutricionais semelhantes, o que possibilita a adoção do

mesmo manejo nutricional, para mais, a exportação de nutrientes por essas espécies segue a sequência de K>N>P>Ca>Mg>Mn>Fe>Cu>Zn>B (RABELO et al., 2020).

O nutriente mais exportado, o potássio (K), influi na produtividade e qualidade da fruta, nesse sentido, é necessário repor nutrientes como Potássio e Nitrogênio para preservar a qualidade dos frutos tal como a elevada produtividade (RABELO et al., 2020). De acordo com Cajazeira et al. (2018), o potássio (K) desempenha funções essenciais no metabolismo vegetal, como o transporte de carboidratos e a regulação da abertura e do fechamento dos estômatos, dessa forma, esse elemento tem grande relevância no processo de trocas gasosas em diversas espécies de plantas.

Liu et al. (2017) estudando o efeito da associação entre fertilizantes químicos e esterco de ovelhas, constatou que essa combinação é satisfatória no que tange a melhoria da qualidade da pitáia, isso pode ser explicado com base na premissa de que o esterco ovino gerou incremento no solo e otimizou a absorção de nutrientes, o que se configura como uma prática sustentável. Fernandes et al. (2018) avaliando a adubação potássica em duas espécies de pitáia, *Hylocereus undatus* e *Hylocereus polyrhizus*, concluiu que a fertilização potássica gerou aumento na produção e proporcionou melhor qualidade dos frutos.

Em um estudo sobre a água da irrigação de pitáia com dois níveis de salinidade, Sousa et al. (2021) concluiu que as plantas submetidas a irrigação com salinidade moderada apresentaram maiores valores de altura da planta, esse fato pode ser explicado a partir da premissa de que as plantas dispõem de adaptações ao estresse salino que impede o déficit no crescimento, isso se dá por meio de um ajuste osmótico. Segundo Rojas-Sandoval e Praciak (2021), essa espécie de cacto requer pouca água graças ao seu mecanismo de fotossíntese do tipo CAM (Metabolismo Ácido das Crassuláceas), onde o dióxido de carbono (CO₂) é absorvido durante a noite, quando os estômatos se abrem, reduzindo significativamente a perda de água por transpiração nos períodos mais quentes do dia.

3.3. Condições ambientais

A pitáia (*Hylocereus undatus*) é própria de climas tropicais, a faixa de temperatura varia entre 18 a 25°C com adequados níveis de umidade relativa do ar, além disto, são cultivadas em larga escala em regiões onde as temperaturas não ultrapassam 38°C, haja vista que possui sensibilidade ao frio como também a geadas (ROJAS-SANDOVAL; PRACIAK, 2021). De acordo com os autores, apresentam rápido crescimento o qual é semelhante a um cacto trepador onde podem estar em posicionamentos sombreados ou semi-sombreados, pois toleram pouca sombra do mesmo modo que podem ser danificados pela luz solar de extrema intensidade, porém, em países da América Central e do Sul, é vista como cultura de luz solar total.

Sousa et al. (2021) estudando o efeito do sombreamento a 50% e a sol pleno na produção de mudas de pitáia, concluiu que o sombreamento a 50% (malha preta) resultou em melhor desenvolvimento, o que foi refletido por meio de maior altura da planta, número de brotos secundários e comprimento da raiz das plantas de 'pitáia'. Lone et al. (2018) demonstraram que, em pitáia (*Hylocereus undatus*), o sombreamento parcial (23%-42%) promove maior taxa de brotação, maior acúmulo de matéria seca nas brotações e afeta positivamente o volume radicular e a matéria seca das raízes em mudas obtidas por estaquia.

A pitaia é uma espécie vegetal de dias longos, nesse sentido, as plantas não florescem em épocas em que há incidência de dias curtos, como a estação de inverno em Hainan, na China, de novembro a abril (XIONG et al., 2020). A partir disso, os autores propõem o emprego de suplementação de luz para ocasionar o florescimento das plantas no inverno e colher as frutas com elevado valor econômico, sendo assim, essa tecnologia tem eficiência comprovada, com temperatura mínima até 15°C, e permite a produção suficientes para atender à demanda do consumidor.

Segundo Jiang et al. (2012), em Taiwan, a duração do fotoperíodo entre o equinócio de outono e o solstício de inverno oscila entre 12 horas e 7 minutos e 10 horas e 45 minutos, sendo insuficiente para garantir o processo completo de diferenciação floral. Nesse sentido, o tratamento NB (night-breaking), onde ocorre a interrupção noturna com luz artificial, é empregado com mais frequência ao longo de 4–6 h usando lâmpadas fluorescentes amarelo-quente de 23 W, isso normalmente ocasiona o florescimento de brotos em mais de 80% (JIANG, 2020).

3.4. Floração e polinização

Quando a planta de pitaia atinge a maturidade fisiológica, saindo da fase juvenil e entrando no estágio reprodutivo, pode ocorrer a indução a produção de flores, as quais apresentam particularidades, isto é, ao anoitecer se alongam, a noite desabrocham e murcham após a polinização durante o dia (XIONG et al., 2020). Os autores acrescentaram também que o fenômeno da floração é um processo de elevada relevância ao desenvolvimento para as plantas superiores.

O período de floração da pitaia no Brasil geralmente se estende de setembro a maio, sendo que as datas de abertura das flores são distintas, as quais são exuberantes e podem atingir aproximadamente 30 cm de comprimento quando totalmente abertas, a cor varia conforme a espécie, o desabrochar ocorre por volta das 17 horas permanecendo abertas até as 10 horas do dia seguinte, porém, a partir das 7 horas o pólen está escasso (SILVA et al., 2024). Segundo os autores, os principais agentes polinizadores são as abelhas (*Apis mellifera*), a polinização ocorre essencialmente no período da tarde, logo após a abertura das flores.

O processo de polinização ocorre por dois meios que são autopolinização e polinização cruzada que necessita de agentes polinizadores (abelhas, borboletas e morcegos), esse método é regularmente associado a um aumento na produção e na qualidade dos frutos (PEREIRA; BRITO, 2025). As autoras afirmaram também que o processo de polinização é influenciável acentuadamente pela diversidade genética das variedades de pitaia, as quais podem dispor de características diferentes de floração, compatibilidade genética com polinizadores tal e qual respostas distintas à polinização.

O tipo de polinização é determinante na qualidade dos frutos, haja vista que interfere significativamente em aspectos como peso (da casca e da polpa), comprimento valor de °Brix dos frutos de pitaia e espessura da casca (PEREIRA; BRITO, 2025).

3.5. Tratos culturais

Existem problemas voltados aos melhores métodos de condução do plantio, onde destaca-se a falta de conhecimento, pois informações voltadas para os tratos culturais

adequados, essencialmente, em relação aos distintos solos, além de indicações sobre seu crescimento em diferentes condições de substratos são escassas (SILVA et al., 2020).

Com a finalidade que a pitaya apresente um crescimento vigoroso e produza frutos de alta qualidade e sabor, é fundamental a utilização de tutores, com isso, esse suporte estrutural facilita o desenvolvimento da planta, permitindo a formação de uma copa bem distribuída e adequada à produção (SILVA et al., 2024). Os autores ressaltam que diversas técnicas de tutoramento podem ser empregadas, cada uma com características específicas, nesse sentido, destacam-se a palanque (A), espinha de peixe (B) e espaldeira (C), conforme ilustrado na figura 1.

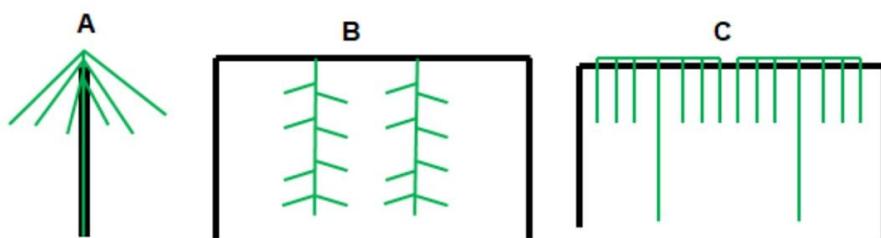


Figura 1. Tipos de tutoramento para pitaya. Fonte: Silva; Ramos, 2022.

3.6 Pragas e doenças

Mais de 30 espécies de fitopatógenos já foram identificadas como agentes causadores de doenças na cultura da pitaya, afetando frutos, cladódios e raízes. Dentre os patógenos registrados, destacam-se fungos como (*Fusarium* sp., *Colletotrichum* sp. e *Bipolaris* sp.); bactérias como (*Pectobacterium* sp. e *Xanthomonas* sp.); vírus, incluindo (*Pitaya virus X* (PiVX) e *Cactusvirus X* (CVX)); além de nematoides como (*Cactodera* sp. e *Meloidogyne* sp.) (LONE et al. 2020). Em países com produção expressiva da fruta, como China, Japão e Malásia, estudos científicos têm sido conduzidos para aprofundar o conhecimento sobre as principais doenças que afetam essa cultura, visando o desenvolvimento de estratégias de manejo mais eficientes (PIO, 2022).

4. CONCLUSÕES

A pitaya é uma frutífera com bastante valor agregado, é uma alternativa bastante chamativa a agricultores familiares de produção de pequeno a médio porte, pois requer pouco custo na implantação do pomar, no entanto, o principal problema encontrado é a escassez de informações no que se refere aos tratamentos culturais bem como formas de manejo. No que tange a produção, o maior produtor a nível nacional é o Estado de São Paulo, de modo geral, no Brasil a produção está em crescimento, já a nível global, entre outros, nos continentes Americano, Asiático e Africano.

No mercado, a fruta tem ganhado espaço em feiras, supermercados e indústrias, sendo utilizada para consumo in natura como em sorvetes, geleias, bebidas a exemplo de sucos, cervejas artesanais, licores, e até cosméticos. A composição da fruta é rica em compostos essenciais à saúde o que faz com que pessoas que buscam constantemente

estilo de vida saudável inseriram essa opção no cardápio. A fruta é apresenta compostos antioxidantes como polifenóis e vitamina C, betalainas (pigmentos responsáveis por sua coloração).

REFERÊNCIAS

CAJAZEIRA, J. P.; CORRÊA, M. C. de M.; ALMEIDA, E. I. B.; QUEIROZ, R. F.; MESQUITA, R. O. Growth and gas exchange in white pitaya under different concentrations of potassium and calcium. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 1, p. 112-121, 2018.

CHEN, J.; XIE, F.; SHAH, K.; CHEN, C.; ZENG, J.; CHEN, J.; ZHANG, Z.; ZHAO, J.; HU, G.; QIN, Y. Identification of HubHLH family and key role of HubHLH159 in betalain biosynthesis by activating the transcription of HuADH1, HuCYP76AD1-1, and HuDODA1 in pitaya. **Plant Science**, v. 328, n. 2, p. 111595, 2023.

COSTA, A. C. Cenário atual e projeções para a produção de pitaya. In: LACERDA, V. R.; ALMEIDA, S. (Org.). **I Circuito internacional de pitaya: tendências e projeções latino-americanas para a cultura da pitaya**. 23ed. Botucatu: FEPAP, 2022. p. 10-14.

FERNANDES, A. C.; COUTINHO, G. Nitrogênio no desenvolvimento inicial de mudas de pitaya vermelha. **Global Science & Technology**, v. 12, n. 3, p. 32-43, 2019.

FERNANDES, D. R.; MOREIRA, R. A.; CRUZ, M. do C. M. da; RABELO, J. M.; OLIVEIRA, J. de. Improvement of production and fruit quality of pitayas with potassium fertilization. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 40, n. 1, p. 2-9, 2018.

FRÓES JÚNIOR, P. S. M.; CARDOSO, N. R. P.; REBELLO, F. K.; HOMMA, A. K. O.; LOPES, M. L. B. Aspectos da produção, comercialização e desenvolvimento da cultura da Pitaya no Estado do Pará. **Enciclopédia Biosfera**, v. 16, n. 29, p. 264-279, 2019.

GREENME. **Pitaya - Propriedades curativas e várias formas de consumir**. 2017. Disponível em: <https://www.greenme.com.br/ usos-beneficios/4107-pitaya- propriedades-curativas-formas-consumir>. Acesso em: 28 mar. 2015.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2017: Produção de Pitaya**. Brasil: IBGE, 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/pitaya/br>. Acesso em: 27 mar. 2025.

JIANG, Y-L. Seasonal response of night-breaking on floral bud formation in red pitaya (*Hylocereus* sp.) in a noninductive period. **Scientia Horticulturae**, v. 270, n. 109420, p. 1-7, 2020.

JIANG, Y-L.; LIAO, Y-Y.; LIN, T-S.; LEE, C-L.; YEN, W-J.; YANG, W-J. The Photoperiod-regulated Bud Formation of Red Pitaya (*Hylocereus* sp.). **Hortscience**, v. 47, n. 8, p. 1063-1067, 2012.

LIU, H.; ZHANG, X.; LI, J.; LONG, C.; YANG, S.; SHEN, Z.; LI, E.; GAO, J. Effects of Sheep Excrement Application with Chemical Fertilizers on Dynamic Quality and Mineral Nutrition of Pitaya. **Journal of yunnan agricultural university (natural science)**, V. 32, N. 6, p. 1079-1084, 2017. DOI: [10.16211/j.issn.1004-390X\(n\).2017.06.017](https://doi.org/10.16211/j.issn.1004-390X(n).2017.06.017).

- LONE, A. B.; BELTRAME, A. B.; SILVA, D. A.; GUIMARÃES, G. G. F.; HARO, M. M.; MARTINS, R. S. **Cultivo de Pitaia**. Boletim Técnico, [S. l.], n. 196, 2021.
- LONE, A. B.; COLOMBO, R. C.; SILVA, C. M. da; TAKAHASHI, L. S. A.; INAGATI, A. T.; ROBERTO, S. R. Shading levels in the development of dragon fruit (pitaya) nurseries. **Agronomia Ciência e Biotecnologia**, v. 4, n. 1, p. 8-8, 2018.
- MIRANDA, A. F.; KUBOTA, T. A.; POLIZELI, A. B.; CRUZ, L. F.; SILVA, R. C.; BRASIL, L. S.N.S. Geleia de pitaya enriquecida com exsudado da fermentação do cacau. **Braz. Journal of Development.**, v. 6, n. 9, p. 64305-64312, 2020.
- PASSOS, C. P.; SAMPAIO, J. R.; FREITAS, T. A. S. de; FONSECA, M. D. S.; SANTOS, E. T. dos S. dos; NEVES, R. B. Pitaia: a cactácea em ascensão no Brasil. In: MELO, J. O. F. (Org.). **Ciências agrárias: limites e potencialidades em pesquisa**. 1ed. Livro Digital: Editora Científica Digital, 2023. p. 184-203.
- PEREIRA, T. S.; BRITO, E. A. da S. Avaliação da qualidade de frutos de diferentes variedades de pitaya (*hylocereus polyrhizius*) com ou sem polinização artificial. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, v. 17, n. 2, p. e7486-e7486, 2025.
- PIO, L. A. S. Manejo Fitossanitário na cultura da Pitaia. In: LACERDA, V. R.; ALMEIDA, S (Org.). **I Circuito internacional de pitaia: tendências e projeções latino-americanas para a cultura da pitaia**. 23ed. Botucatu: FEPAP, 2022, p. 68-77.
- POLLNOW, G. E. Pitaia, da propagação à colheita: uma revisão. **Agropecuária Catarinense**, v. 31, n. 3, p. 73-78, 2018.
- RABELO, J. M.; CRUZ, M. do C. M.; SANTOS, N. C.; ALVES, D. de A.; LIMA, J. E. Increase of nutrients export and production of pitaya whit potassium fertilization. **Comunicata Scientiae**, v. 11, p. e3276-e3276, 2020.
- ROJAS-SANDOVAL, J.; PRACIAK, A. *Hylocereus undatus* (Dragon Fruit). **CABI Digital Library**, 2021. Disponível online: <<https://www.cabi.org/isc/datasheet/27317>>. Acesso em: 29 de Mar. 2025.
- SANTA, O. R. D.; ROSA, C. T.; SILVA, N. S. R. da; MICHELETTI, I. N.; KRUGER, R. L.; MESOMO, M. C.; ZANETTE, C. M. Estudo da adição de pitaya na produção de cerveja. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 80891-80900, 2020.
- SERAFIM, U.; PUTTI, F. F.; NATEL, A. S.; GÓES, B. C.; BARCELOS, J. P. Q.; PIO, L. A. S.; SILVA, A. B. da. Caracterização do perfil de produtores rurais e da produção de pitaya. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 15, n. 6, p. e3619-e3619, 2024
- SHAH, K.; CHEN, J.; CHEN, J.; QIN, Y. Pitaya nutrition, biology, and biotechnology: A review. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 18, p. 13986, 2023.
- SILVA, F. O. dos R.; ABREU, L. A. de S.; AVELAR, R. I. S.; SANTANA, C. C.; FERREIRA, E. A.; FREITAS, A. F. de. **Cultivo da pitaya**. EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS (Minas Gerais). Circular técnica n. 420 - dezembro 2024.
- SILVA, F.O. dos R.; RAMOS, J.D. Poda no manejo cultural da pitaia. In: LACERDA, V. R.; ALMEIDA, S. (Org.). **I Circuito internacional de pitaia: tendências e projeções latino-americanas para a cultura da pitaia**. 23ed. Botucatu: FEPAP, 2022p. 36-40.

SILVA, P. G. da; MATIAS, R.; OLIVEIRA, A. K. M. de. O Efeito de Substratos Orgânicos no Crescimento Inicial de Pitaya Vermelha Cultivada em Campo Grande, Mato Grosso do Sul. **Uniciências**, v. 24, n. 1, p. 51-57, 2020.

SOUSA, G. G. de; SOUSA, S. B.; PEREIRA, A. C. da S.; MARQUES, V. B.; SILVA, M. L. GL da; LOPES, J. da S. Effect of saline water and shading on dragon fruit ('pitaya') seedling growth. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 8, p. 547-552, 2021.

TRIVELLINI, A.; LUCCHESINI, M.; FERRANTE, A.; MASSA, D.; ORLANDO, M.; INCROCCI, L.; MENSUALI-SODI, A. Pitaya, an Attractive Alternative Crop for Mediterranean Region. **Agronomy**, v. 10, n. 8, p. 1065, 2020.

XIONG, R.; LIU, C.; XU, M.; WEI, S-S.; HUANG, J-Q.; TANG, H. Transcriptomic analysis of flower induction for long-day pitaya by supplementary lighting in short-day winter season. **BMC genomics**, v. 21, n. 329, p. 1-17, 2020.

MARACUJÁ-AZEDO NO BRASIL: UMA ANÁLISE INTEGRADA DOS DESAFIOS AGRONÔMICOS, ECONÔMICOS E AMBIENTAIS

Micaela Benigna Pereira¹, Reynaldo Teodoro de Fatima¹, Anderson Bruno Anacleto de Andrade¹, Alesia Alves de Sousa¹, Maria Amanda Guedes², Kaline Dantas Travassos³, Mateus Gonçalves Silva¹

¹Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/Campus Pombal-PB, e-mail: micaelabp.fg@gmail.com

²Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/Campus Campina Grande -PB

³Instituto Nacional do Semiárido – INSA, Campina Grande-PB

RESUMO

O cultivo do maracujazeiro-azedo no Brasil, com grande relevância econômica e cultural, enfrenta desafios sistêmicos em sua produção, especialmente nas regiões Nordeste e Sudeste, onde a cultura apresenta a maior área cultivada. Problemas como pragas, doenças, polinização e variações climáticas extremas afetam a produtividade e a qualidade dos frutos, enquanto a variação de preços, a infraestrutura datada e o manejo inadequado do solo dificultam a rentabilidade, especialmente para pequenos produtores. O uso excessivo de agrotóxicos e a degradação do solo exigem práticas sustentáveis, como manejo integrado de pragas e controle biológico. A escassez hídrica no Nordeste, principal polo produtor, exige inovações em irrigação e apoio de políticas públicas, e tecnologias como agricultura de precisão e monitoramento climático são essenciais para otimizar o cultivo. A polinização, dependente das abelhas mangangava, necessita de estratégias para preservação dos polinizadores e técnicas artificiais para garantir a frutificação. Apesar disso, a crescente demanda por produtos orgânicos e a expansão de canais de venda direta abrem novas oportunidades, embora exijam certificações e logística eficiente. A sustentabilidade do setor depende de uma abordagem integrada, combinando eficiência agrônômica, responsabilidade econômica e proteção ambiental, visando consolidar o maracujá-azedo como modelo de agricultura moderna e resiliente, equilibrando produtividade, conservação dos ecossistemas e equidade socioeconômica no cenário agrícola brasileiro.

PALAVRAS-CHAVE: *Passiflora Edulis* Sims, mudanças climáticas, sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

O maracujazeiro consiste em uma fruteira tropical de grande importância econômica e cultural, desempenhando um papel significativo na agricultura nacional, sendo amplamente apreciado por seu sabor único e propriedades nutricionais (SOUTO et al., 2023). Fato que ocorre devido sua elevada adaptabilidade ao país, beneficiando-se de condições climáticas e da diversidade de solos. No entanto, o desenvolvimento desse cultivo não é isento de desafios, necessitando de uma análise integrada dos aspectos agrônômicos, econômicos e ambientais que permeiam sua produção, o que torna crucial para entender as dinâmicas que envolvem não apenas a oferta de produtos, mas também a viabilidade de sua produção de forma sustentável e lucrativa (POLO-MURCIA et al., 2025).

Os desafios agronômicos são variados e frequentemente interligados a pragas, doenças, e práticas de manejo inadequadas que tendem a afetar a produtividade e a qualidade dos frutos (POLO-MURCIA et al., 2025). A introdução de variedades resistentes, a utilização de técnicas de cultivo aprimoradas e a adoção de tecnologias de monitoramento são algumas das estratégias implementadas para mitigar esses riscos (RIBEIRO et al., 2019). Por outro lado, a demanda crescente por produtos orgânicos tem influenciado a dinâmica dessa atividade, em um cenário em que os consumidores estão cada vez mais conscientes sobre a procedência dos alimentos, o cultivo sustentável do maracujá-azedo pode não apenas atender às expectativas do mercado, mas também contribuir para a preservação e recuperação do meio ambiente (MELETTI, 2011).

Considerando o contexto mais amplo, os aspectos ambientais relacionados ao cultivo do maracujá-azedo revelam-se igualmente complexos. A exploração agrícola indiscriminada, o uso excessivo de agrotóxicos e a degradação do solo são riscos que comprometem não apenas a produção, mas também a biodiversidade local e a saúde do ecossistema (POLO-MURCIA et al., 2025). Por isso, a busca por práticas de cultivo que respeitem as diretrizes de sustentabilidade torna-se imperativa. Assim, a introdução deste estudo de revisão sobre o maracujá-azedo no Brasil não se limita a descrever um simples cultivo, mas visa traçar um panorama dos principais entraves para a expansão de áreas de produção, bem como estabelecer alternativas de cultivo que visem ampliar a rentabilidades de produção e manejo sustentáveis.

2. VISÃO GERAL DA CULTURA DO MARACUJAZEIRO

O maracujazeiro (*Passiflora* spp.) pertence à família Passifloraceae e inclui cerca de 400 espécies, sendo amplamente adaptado a climas tropicais e subtropicais. Suas espécies podem ser trepadeiras, herbáceas ou lenhosas, com folhas variadas e flores vistosas. O cultivo requer temperaturas entre 21 e 25 °C e uma necessidade hídrica de 1300 a 1400 mm por ciclo (JESUS & FALEIRO, 2012). A demanda nutricional é inicial baixa, aumentando após 120 dias, com destaque para nitrogênio (N), potássio (K) e cálcio (Ca) (ALMEIDA, 2012). No final do ciclo, a extração desses nutrientes se dá em maior quantidade, influenciando diretamente o desenvolvimento e a produtividade da planta.

O Brasil é o maior produtor e consumidor mundial de maracujá, com mais de 150 espécies nativas e grande diversidade genética. O maracujazeiro-azedo (*Passiflora edulis* Sims) domina a produção nacional, com destaque para os estados da Bahia e Ceará. Sua importância econômica se dá tanto pelo consumo in natura quanto pela industrialização da polpa, rica em compostos antioxidantes (MELETTI, 2011). Além disso, há um crescente interesse no aproveitamento dos resíduos do fruto para a saúde humana. A cultura gera empregos e fomenta a economia, especialmente no Nordeste, onde sua expansão pode contribuir para a fixação da população no campo e para o aumento da renda de pequenos e médios produtores.

3. ANÁLISE DO MERCADO PRODUTIVO DO MARACUJAZEIRO

O mercado do maracujá-azedo no Brasil desempenha um papel fundamental na agricultura nacional, consolidando o país como o maior produtor e consumidor mundial dessa fruta. A Região Nordeste se beneficia do cultivo, mas enfrenta desafios relacionados à escassez de água, agravada por secas recorrentes agravadas pelas mudanças climáticas que tendem alterar a dinâmica de chuvas e temperatura da região, além da volatilidade de preços no mercado (LAGE et al., 2018). Contudo, a agricultura

familiar, muitas vezes organizada em cooperativas, tem se beneficiado de assistência técnica e políticas públicas, mas a infraestrutura deficiente de manejo, transporte e armazenamento continua a gerar perdas significativas na cadeia produtiva.

Nos últimos anos, a produção de maracujá-azedo no Brasil cresceu, impulsionada pela maior demanda tanto interna quanto externa, especialmente na indústria de sucos e outros produtos industrializados. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o valor de produção do maracujazeiro passou de 1.180.284 mil reais em 2019 para 2.389.199 mil reais em 2023, representando um aumento de 102,42%, consolidando ainda mais o mercado da passicultura no Brasil. Além disso, no último levantamento da instituição, ocorrido em 2023, a produção nacional alcançou 711 mil toneladas em uma área colhida de 14.761 ha e com rendimento médio de 15.543 kg/ha. Desta produção, a região nordeste representou 64% da produção do país, seguida pela região Sudeste com 10%, Sul e Norte com 8%. Entre os estados brasileiros a Bahia (253.857 t) e Ceará (154.167 t) são os que mais se destacam, apresentando rendimento por áreas de 13.121 e 23.166 kg/ha, respectivamente.

No entanto, o rendimento produtivo do maracujazeiro alcançado no Brasil é inferior ao potencial produtivo estimado para a cultura, que pode chegar a mais de 40 t/ha (MELETTI, 2011), o que se deve a deficiências na prática de manejo, a variação climática e o surgimento de pragas emergentes que têm impactado a produtividade, obrigando os produtores a repensarem suas práticas agrícolas. O mercado também se caracteriza por oscilações de preços, que refletem não só as flutuações na produção, mas também fatores econômicos mais amplos, como a inflação e a desvalorização do real.

A crescente demanda por produtos orgânicos e ecologicamente responsáveis tem impulsionado a adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis. A certificação orgânica e a diversificação dos canais de comercialização, como feiras livres e vendas online, têm proporcionado novas oportunidades aos produtores (MELETTI, 2011). A implementação de tecnologias de irrigação mais eficientes e técnicas agroecológicas também têm ganhado destaque, visando mitigar os impactos ambientais e aumentar a eficiência produtiva. Em um cenário de crescente demanda por produtos naturais e sustentáveis, o futuro do maracujazeiro no Brasil dependerá da capacidade do setor de enfrentar esses desafios, investir em inovação e garantir a sustentabilidade econômica e ambiental.

A expansão do cultivo de maracujá-azedo na Região Nordeste pode contribuir significativamente para o desenvolvimento socioeconômico local. Apesar das limitações climáticas vigentes, o cultivo gera emprego e renda, especialmente em áreas rurais, e contribui para a fixação do homem no campo. No entanto, é essencial superar os desafios relacionados à produtividade, como a gestão inadequada da irrigação e a fertilidade do solo, que afetam o rendimento da cultura. A modernização do setor, com o uso de tecnologias mais eficientes e práticas agrícolas sustentáveis, será fundamental para consolidar o maracujazeiro como uma cultura competitiva e rentável, capaz de atender à demanda crescente e enfrentar os desafios impostos pelas condições climáticas e econômicas.

4. DESAFIOS PARA O CULTIVO DO MARACUJAZEIRO-AZEDO

4.1. Pragas e Doenças

O cultivo do maracujazeiro enfrenta desafios significativos devido à ação de pragas que comprometem sua produtividade e qualidade. Entre as principais, destacam-se o ácaro da folha (*Tetranychus* spp.) e percevejos (*Diactor bilineatus*), que suga a seiva das plantas, reduzindo a fotossíntese e enfraquecendo o desenvolvimento, e a mosca-da-fruta (*Ceratitis capitata* e *Anastrepha* spp.), que deposita ovos nos frutos, tornando-os inviáveis para comercialização. Além disso, pragas como lagartas desfolhadoras e abelhas Arapuá representam uma ameaça constante, exigindo monitoramento e estratégias de manejo adequadas para minimizar perdas e evitar impactos na rentabilidade dos produtores (RIVA et al., 2024).

Entre as doenças mais preocupantes, destacam-se a antracnose (*Colletotrichum* spp.), que causa manchas escuras em folhas e frutos, e o vírus do maracujá, que reduz drasticamente a longevidade das plantações. Doenças fúngicas, como a fusariose (*Fusarium oxysporum* f.sp. *passiflorae*), provocam a murcha da planta e grandes perdas produtivas, enquanto *Fusarium solani* é responsável pela podridão dos frutos e do colarinho. Já doenças bacterianas, como a podridão causada por *Phytophthora nicotianae*, avançam rapidamente, tornando o controle ainda mais complexo. Doenças virais emergentes, como o Passion fruit green spot virus e o vírus do mosaico do maracujazeiro, também ameaçam a cultura, dificultando o manejo e exigindo maior rigor sanitário (RIVA et al., 2024).

Diante desses desafios, o manejo integrado surge como alternativa essencial para garantir a produtividade do maracujazeiro. O uso de porta-enxertos resistentes, como *Passiflora cincinnata*, a adoção de agentes de biocontrole, como *Bacillus subtilis*, e a aplicação de técnicas de biofumigação têm demonstrado bons resultados no controle de patógenos (CHEN et al., 2020; SOUTO et al., 2023). Além disso, práticas como a rotação de culturas, o uso de mudas certificadas e o monitoramento constante são fundamentais para reduzir os impactos das pragas e doenças. A pesquisa para o desenvolvimento de variedades mais resistentes e o incentivo a práticas agrícolas sustentáveis são essenciais para assegurar a viabilidade econômica da cultura e a qualidade dos frutos no mercado (RIBEIRO et al., 2019).

4.2. Mudanças Climáticas

O cultivo do maracujazeiro no Brasil é diretamente influenciado por fatores climáticos como temperatura, umidade e precipitação, que afetam tanto sua produtividade quanto a qualidade dos frutos. A faixa térmica ideal para o desenvolvimento da cultura varia entre 20°C e 30°C, sendo que temperaturas abaixo de 15°C prejudicam o crescimento, enquanto valores acima de 35°C causam estresse térmico, afetando processos fotossintéticos e metabólicos. Além disso, temperaturas elevadas podem aumentar o abortamento floral, reduzindo significativamente a frutificação (LAGE et al., 2018). Regiões como o Sudeste e partes do Nordeste oferecem condições propícias, mas as mudanças climáticas vêm alterando padrões históricos, impondo desafios adicionais ao cultivo.

A disponibilidade hídrica também é essencial, especialmente durante as fases de florescimento e frutificação. O maracujazeiro necessita de uma precipitação média anual

entre 1000 e 1500 mm, distribuída de forma equilibrada. A escassez hídrica pode comprometer o desenvolvimento dos frutos, resultando em tamanhos menores e menor suculência, enquanto o excesso de água favorece doenças fúngicas e a podridão radicular. Além disso, o aumento das temperaturas e a redução das chuvas elevam a necessidade de irrigação, impactando os custos de produção. Em regiões semiáridas, a salinidade do solo, intensificada por condições climáticas adversas, pode ser mitigada pelo uso de coberturas plásticas, que auxiliam na retenção de umidade e na redução da absorção de sais tóxicos (SOUTO et al., 2023).

Outro fator crucial é a umidade relativa do ar, que influencia o crescimento das plantas e a incidência de pragas e doenças. Níveis entre 70% e 90% são considerados ideais, mas ambientes secos favorecem infestações de insetos, enquanto condições muito úmidas estimulam a proliferação de fungos e bactérias. Além disso, as mudanças climáticas podem reduzir a presença de polinizadores naturais, como as abelhas *Xylocopa*, comprometendo a frutificação (BEZERRA et al., 2019). Para enfrentar esses desafios, é essencial adotar estratégias como o manejo hídrico eficiente, o monitoramento climático e o uso de variedades mais resistentes, garantindo a sustentabilidade do cultivo do maracujá no Brasil.

4.3. Manejo Cultural

O manejo inadequado do maracujazeiro pode comprometer significativamente a produtividade e a qualidade dos frutos, sendo essencial a adoção de estratégias que promovam a sustentabilidade e a eficiência agrícola. Fatores como fertilização inadequada, irrigação com água de baixa qualidade, uso excessivo ou ineficiente de defensivos químicos e densidade de plantio desajustada impactam diretamente o desenvolvimento da cultura (POLO-MURCIA et al., 2025). A aplicação desequilibrada de fertilizantes pode causar deficiências nutricionais, reduzindo a absorção de micronutrientes essenciais. Além disso, práticas inadequadas de irrigação podem degradar o solo e comprometer a produtividade, enquanto a escolha errada da densidade de plantio pode afetar o tamanho e a qualidade dos frutos (SOUTO et al., 2023). Assim, um manejo criterioso desses fatores é fundamental para garantir um cultivo eficiente e sustentável.

Dentre as alternativas de manejo, técnicas como o uso de mulching e hidrogel aumentam a retenção de umidade no solo, favorecendo o crescimento e reduzindo a necessidade de irrigação excessiva (SOUTO et al., 2023). A fertilização equilibrada, combinando fertilizantes orgânicos e sintéticos, melhora a absorção de nutrientes e aumenta a produtividade. Além disso, o enxerto em porta-enxertos tolerantes à salinidade fortalece a resistência da planta a estresses ambientais (SOUTO et al., 2023). O manejo integrado de pragas (MIP) também desempenha um papel crucial, combinando o uso de cultivares resistentes, controle biológico e barreiras físicas, reduzindo a dependência de pesticidas químicos e promovendo um ambiente mais equilibrado para o cultivo (RIBEIRO et al., 2019).

A adoção de novas tecnologias, como sensores de umidade do solo e sistemas automatizados de irrigação, permite um controle mais preciso das condições ambientais, otimizando o consumo de recursos hídricos e melhorando a produtividade (POLO-MURCIA et al., 2025). Além disso, o compartilhamento de conhecimento por meio de programas de capacitação e extensão rural é essencial para garantir a aplicação eficaz dessas práticas. Dessa forma, a integração de técnicas modernas e boas práticas agrícolas

contribui para um cultivo sustentável, garantindo a viabilidade econômica da cultura do maracujazeiro e promovendo uma produção mais eficiente e ambientalmente responsável.

4.4. Polinização

A polinização é um fator crucial para a produtividade e qualidade do maracujazeiro azedo, sendo realizada por polinizadores naturais, como as abelhas carpinteiras (*Xylocopa* spp.), ou por meio de polinização artificial (LAGE et al., 2018). As abelhas grandes desempenham um papel essencial na transferência de pólen, o que resulta na formação dos frutos. Contudo, a eficácia da polinização natural pode ser limitada pela disponibilidade de polinizadores e condições climáticas adversas. O declínio das populações de abelhas, causado pela perda de habitats e o uso de pesticidas, pode prejudicar a taxa de frutificação e a qualidade dos frutos. Nesse contexto, a polinização artificial surge como uma estratégia eficaz para aumentar a produção, especialmente em regiões com escassez de polinizadores naturais (BEZERRA et al., 2019).

A polinização manual, realizada através da transferência de pólen de uma flor para outra, tem demonstrado aumentar significativamente a taxa de frutificação e a qualidade dos frutos, proporcionando frutos maiores e com maior massa e polpa. Em áreas com baixa densidade de polinizadores ou em sistemas de cultivo intensivo, a polinização artificial é uma ferramenta importante para garantir uma colheita abundante e confiável. Quando combinada com a polinização natural, essa prática pode otimizar a produtividade e a qualidade dos frutos, promovendo a viabilidade econômica da cultura do maracujá e contribuindo para a segurança alimentar (LAGE et al., 2018). A integração de ambas as abordagens é fundamental para um manejo eficiente e sustentável do maracujazeiro azedo.

5. CONCLUSÕES

A análise do cultivo do maracujá-azedo no Brasil revela um cenário onde aspectos agronômicos, econômicos e ambientais interagem em diversos desafios e oportunidades. A produção deste fruto, valorizado por suas propriedades nutritivas e seu valor comercial, enfrenta questões que vão além da técnica agrícola. Produtores devem se adaptar a condições climáticas variáveis, práticas de manejo sustentável e exigências de mercado, muitas vezes conflitantes. A escassez hídrica, agravada por alterações climáticas, exige técnicas de irrigação eficientes e uso racional de recursos hídricos. A adoção de práticas integradas de manejo de pragas e doenças é vital para a qualidade da fruta e redução do uso de agrotóxicos, promovendo um cultivo sustentável. Economicamente, agricultores enfrentam flutuações na demanda e custos crescentes de produção. O incentivo à diversificação de culturas e formação de cooperativas oferece suporte às comunidades rurais, melhorando o poder de negociação e promovendo inovações. O potencial de exportação do maracujá-azedo em mercados internacionais é grande, desde que barreiras a investimentos e questões logísticas sejam resolvidas. É crucial também considerar os impactos ambientais do agronegócio, integrando preservação da biodiversidade e recuperação de áreas degradadas nas estratégias de cultivo. Certificações verdes e busca por uma agricultura de baixo impacto se tornam imperativos éticos e estratégicos. O futuro do cultivo depende de uma abordagem integrada que una eficiência agronômica, responsabilidade econômica e proteção ambiental, estabelecendo um novo paradigma para a fruticultura brasileira.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. F. Nutrição de maracujazeiro. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, p. 12-17, 2012. <https://doi.org/10.18378/rvads.v7i3.1155>.
- BEZERRA, A.; FILHO, A.; BOMFIM, I.; SMAGGHE, G.; FREITAS, B. Data relating to threats to passion fruit production in the Neotropics due to agricultural area loss and pollinator mismatch as consequence of climate changes. **Data in Brief**, v. 23, 2019.
- CHEN, Y.; LEE, P.; HUANG, T. Biocontrol of collar rot on passion fruits via induction of apoptosis in the collar rot pathogen by *Bacillus subtilis*. **Phytopathology**, 2020. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-20-0044-R>.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção agrícola municipal 2023**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 18 mar. 2025.
- JESUS, O. N.; FALEIRO, F. G. Classificação Botânica e Biodiversidade. In: FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V. (Eds.). **Maracujá: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, v. Coleção 500 Perguntas 500 Respostas, 2017. p. 23-25.
- LAGE, L.; KRAUSE, W.; SILVA, C.; DIAS, D.; AMBRÓSIO, M.; DE OLIVEIRA COBRA, S. Morphometry, floral resources and efficiency of natural and artificial pollination in fruit quality in cultivars of sour passion fruit. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, 2018.
- MELETTI, L. M. M. Avanços na cultura do maracujá no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 83-91, 2011.
- POLO-MURCIA, S.; CHAALI, N.; BARRIOS, C.; OUAZAA, S.; POLO, V.; CARVAJAL, J. An ecological, environmental, and economic indicators-based approach towards enhancing sustainability in water and nutrient use for passion fruit cultivation in Colombia. **Environmental and Sustainability Indicators**, 2025.
- RIBEIRO, R.; VIANA, A.; SANTOS, E.; RODRIGUES, D.; PREISIGKE, S. Melhoramento genético de populações de maracujazeiro - revisão e perspectivas. **Jornal de Melhoramento de Plantas Funcionais**, 2019. <https://doi.org/10.35418/2526-4117/V1N1A2>.
- RIVA, K.; LÁZARI, T.; DOURADO, D.; MURAIISHI, C. Identificação e alternativas de manejo de pragas de importância econômica em cultivos de maracujá (*Passiflora* sp.) na região de Palmas. **Revista FT**, 2024.
- SOUTO, A. L.; CAVALCANTE, L.; DE MELO, E.; CAVALCANTE, Í.; DA SILVA, R.; DE LIMA, G.; GHEYI, H.; PEREIRA, W.; DE PAIVA NETO, V.; DE OLIVEIRA, C.; DE OLIVEIRA MESQUITA, F. Salinity and mulching effects on nutrition and production of grafted sour passion fruit. **Plants**, v. 12, 2023.

CANA-DE-AÇÚCAR: ESTRATÉGIAS PARA O AUMENTO PRODUTIVO NO ESTADO DA PARAÍBA

Joseane da Silva Ferreira¹, João Henrique Barbosa da Silva¹, Luiz Henrique Guedes Sousa¹, Lian Rodrigo Torres Cavalcante¹, Aline Amanda da Silva Lima¹, Leonardo Marques Martins¹, Pedro Ian Maia Santana¹, Edson Antonio de Moraes Pinho e Souza¹, Thaynah Rodrigues da Silva²

¹Universidade Federal da Paraíba – UFPB/Campus II, Areia-PB, e-mail: henrique485560@gmail.com

²Universidade Federal Rural de Pernambuco- UFRPE, Recife-PE

RESUMO

O Brasil se destaca como o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, sendo esta uma cultura agrícola de grande importância econômica. Contudo, a produtividade na Paraíba encontra-se abaixo da média nacional. Essa disparidade regional demanda a busca por estratégias que impulsionem a produção, considerando que fatores bióticos e abióticos impactam negativamente o desenvolvimento da planta. Nesse contexto, o uso de biológicos e osmoprotetores emerge como uma alternativa promissora para mitigar esses estresses e aumentar a produtividade, especialmente no Nordeste. O presente trabalho realizou uma revisão de literatura para investigar diferentes estratégias para o aumento produtivo da cana-de-açúcar na Paraíba, utilizando o método de revisão integrativa e pesquisas no Google Scholar. A adoção de estratégias como o uso de agentes biológicos para o controle de pragas e doenças, e a aplicação de osmoprotetores para mitigar os efeitos do estresse abiótico apresentam um potencial significativo para aumentar a produtividade da cana-de-açúcar na Paraíba. A investigação e implementação dessas e outras tecnologias e ferramentas são cruciais para impulsionar a eficiência e a produção da cana-de-açúcar no estado da Paraíba.

PALAVRAS-CHAVE: controle biológico, osmoprotetores, *Saccharum spp.*

1. INTRODUÇÃO

A nível mundial, o Brasil é considerado o maior produtor de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) tendo como principal produto de sua matéria-prima o açúcar e o etanol, tornando uma importante cultura agrícola do país (OLIVA et al., 2021). No Nordeste do país, em especial, no estado da Paraíba, a produtividade registrada gira em torno de 60 t ha⁻¹ (safra 2023/24) ficando abaixo da produtividade média nacional (85 t ha⁻¹ – safra 2023/24) (CONAB, 2025).

Com base nessa disparidade regional e nacional, é necessário buscar alternativas e estratégias que ajudem na melhoria e eficiência para o crescimento da produção de cana-de-açúcar. Entre as causas de baixa produtividade, pode-se citar os fatores bióticos e abióticos, os quais acabam por interromper o bom desempenho das plantas, levando a uma redução produtiva (CRUSCIOL et al., 2018; CAMARGO et al., 2020).

Dessa forma, é interessante que estudos envolvendo o uso de ferramentas e tecnologias para o setor canavieiro se expandam, a exemplo do uso de biológicos e osmoprotetores, visando mitigar os efeitos dos estresses bióticos e abióticos e,

consequentemente, impulsionar a produtividade da cana-de-açúcar, especialmente em regiões como o Nordeste (TAGUTI et al., 2023).

Portanto, objetivou-se com este trabalho realizar uma revisão de literatura investigando diferentes estratégias para o aumento produtivo da cana-de-açúcar no estado da Paraíba.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Esse estudo foi realizado através de pesquisas na ferramenta de busca do Google Scholar, utilizando para tal o método de revisão integrativa (SOUZA; SILVA; CARVALHO, 2010). Na Figura 1, se observa um fluxograma das principais etapas realizadas na pesquisa.

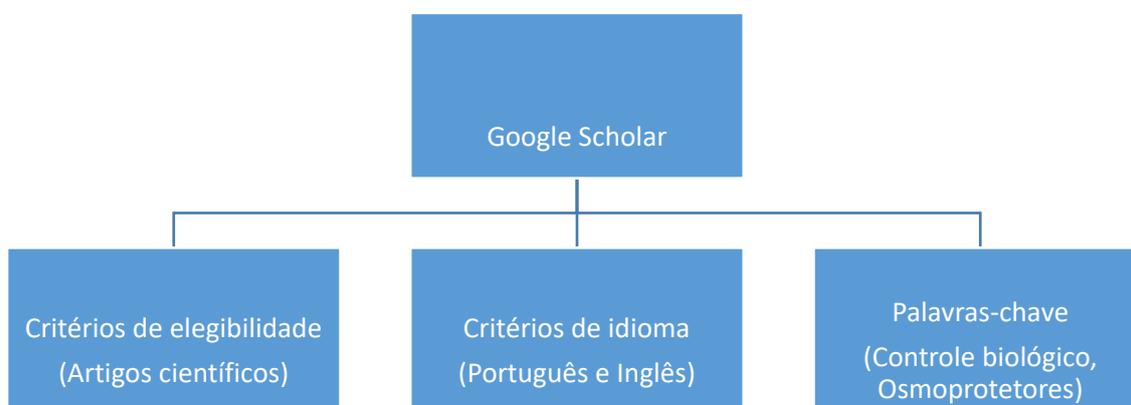


Figura 1. Fluxograma da pesquisa.

Fonte: Autores (2025).

Após a seleção dos artigos científicos, com base nos critérios de elegibilidade, de idioma e palavras-chave, utilizou-se critérios de inclusão e exclusão (Figura 2), com posterior seleção dos trabalhos que iriam compor a revisão de literatura.

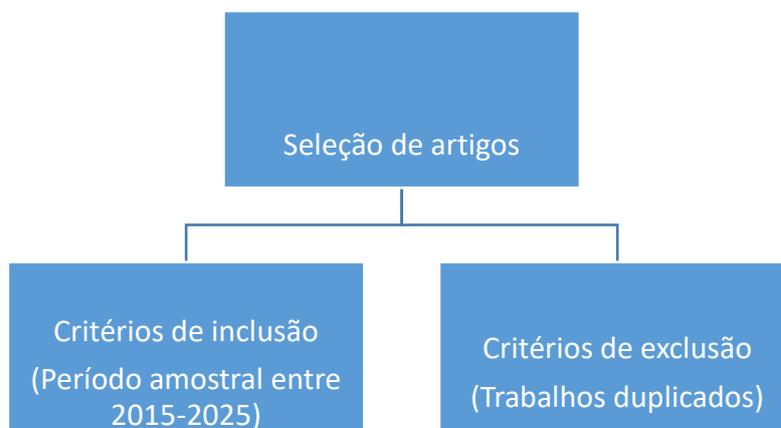


Figura 2. Critérios de seleção de artigos.

Fonte: Autores (2025).

Posteriormente, realizou-se à leitura dos textos selecionados, buscando assim, formalizar a construção da revisão de literatura.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. ESTRATÉGIAS PARA O AUMENTO PRODUTIVO

3.1.1. USO DE BIOLÓGICOS

O controle biológico, fundamental para a agricultura, representa uma relação ecológica na qual o ser humano busca superar a competição com pragas e doenças por meio da atuação de agentes biológicos (FONTES et al., 2020). Embora o controle biológico seja um fenômeno natural, a intervenção humana pode otimizá-lo através da introdução de organismos benéficos, manejo do ambiente e adoção de práticas agrícolas que favoreçam a biodiversidade e a estabilidade ecológica (HE et al., 2021).

A utilização de organismos vivos para controlar pragas e doenças na agricultura é uma prática antiga e difundida globalmente, evoluindo ao longo do tempo em diversas culturas, como na cana-de-açúcar, em busca de eficiência e sustentabilidade (SOUZA; MARUCCI, 2021). Por outro lado, no Brasil, o controle biológico é uma atividade relativamente nova, que ganhou impulso nas últimas décadas devido as pesquisas científicas e a crescente procura por soluções sustentáveis.

Um exemplo de sucesso para o aumento produtivo dos canaviais do Brasil e da Paraíba se deu pelo controle biológico da *Diatraea saccharalis* (broca-da-cana), impulsionado principalmente pela introdução e estabelecimento do parasitoide larval *Cotesia flavipes* (ALVES et al., 2024). Estudos de acompanhamento e dados de infestação ao longo dos anos demonstram a redução significativa das populações da praga em áreas com manejo adequado do parasitoide, levando à diminuição da dependência de inseticidas químicos e a um impacto econômico e ambiental positivo na produção de cana-de-açúcar, tornando o controle biológico uma estratégia eficaz e sustentável dentro do manejo dessa cultura (GOMES GARCIA et al., 2024). Na Figura 3, se observa um exemplo do ataque do parasitoide na praga (uma das principais para a cultura).



Figura 3. Parasitismo de *Cotesia flavipes* em lagartas de *Diatraea saccharalis*.

Fonte: GeBio (2019).

3.1.2. USO DE OSMOPROTETORES

Os osmoprotetores desempenham um papel importante na fisiologia da cana-de-açúcar, especialmente em condições de estresse abiótico, como seca e salinidade, que são cada vez mais prevalentes em muitas regiões produtoras, como na Paraíba (KUMAR et al., 2023; DHANSU et al., 2025). Essas substâncias, que incluem compostos como prolina, glicina betaína e açúcares solúveis, acumulam-se no citoplasma das células vegetais em resposta ao estresse osmótico e, ao aumentar a concentração de solutos dentro da célula, os osmoprotetores ajudam a manter o equilíbrio hídrico, prevenindo a perda excessiva de água e a consequente desidratação celular (SHARMA et al., 2019). Esse mecanismo de osmorregulação é fundamental para a manutenção da turgescência celular, essencial para processos fisiológicos como a fotossíntese e o crescimento, sendo uma estratégia eficiente de aumento produtivo da cana-de-açúcar.

A acumulação de osmoprotetores em cana-de-açúcar sob condições de estresse não apenas contribui para a manutenção do status hídrico, mas também oferece proteção a estruturas celulares e macromoléculas (DHANSU et al., 2025). Além disso, esses compostos podem interagir com proteínas e membranas, estabilizando-as e prevenindo danos causados pelo estresse osmótico e iônico. Alguns osmoprotetores atuam como sequestradores de espécies reativas de oxigênio (ERO), que são produzidas em excesso durante o estresse e podem causar danos oxidativos significativos (SINGH et al., 2015). Essa ação antioxidante indireta contribui para a proteção celular e para a manutenção da integridade metabólica da planta sob condições adversas (SHARMA et al., 2019).

Em síntese, os osmoprotetores são cruciais para aumentar a produtividade da cana-de-açúcar, especialmente em regiões como a Paraíba, cada vez mais afetadas por estresses bióticos e abióticos.

4. CONCLUSÕES

A adoção de estratégias como o uso de agentes biológicos para o controle de pragas e doenças, e a aplicação de osmoprotetores para mitigar os efeitos do estresse abiótico apresentam um potencial significativo para aumentar a produtividade da cana-de-açúcar na Paraíba.

A investigação e implementação dessas e outras tecnologias e ferramentas são cruciais para impulsionar a eficiência e a produção da cana-de-açúcar no estado da Paraíba.

REFERÊNCIAS

ALVES, R. B. D. O.; TOMASIELLO, D. B.; ALMEIDA, C. M. D.; ROSALEN, D. L.; PEREIRA, L. H.; SILVA, H. P. D.; RODRIGUES, C. L. Agent-Based Spatial Dynamic Modeling of *Diatraea saccharalis* and the Natural Parasites *Cotesia flavipes* and *Trichogramma galloi* in Sugarcane Crops. **Remote Sensing**, v. 16, n. 15, p. 2693, 2024.

CAMARGO, M. S.; BEZERRA, B. K. L.; HOLANDA, L. A.; OLIVEIRA, A. L.; VITTI, A. C.; SILVA, M. A. Silicon fertilization improves physiological responses in sugarcane

cultivars grown under water deficit. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 19, p. 81-91, 2019.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Terceiro levantamento da safra 2024/25, v. 12, n. 3, 2025.

CRUSCIOL, C. A. C.; CAMPOS, M. D.; MARTELLO, J. M.; ALVES, C. J.; NASCIMENTO, C. A. C.; PEREIRA, J. C. D. R.; CANTARELLA, H. Organomineral fertilizer as source of P and K for sugarcane. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 5398, 2020.

DHANSU, P.; YADAV, S.; PREET, K.; DEVI, S.; KUMAR, R.; KUMAR, A.; PANDEY, S. K. Sugarcane: An Overview of Physiological and Biochemical Studies Under Drought and Salt Stress. **Sugarcane Cultivation and Management**, p. 73-102, 2025.

FONTES, E. M. G.; VALADARES-INGLIS, M. C. (ed). **Controle biológico de pragas da agricultura**. In: FONTES, E. M. G et al. Estratégias de uso e histórico. Embrapa, p. 21-43, 2020.

GEBIO – Grupo de Pesquisa e Extensão em Controle Biológico. **Horário de liberação sobre o parasitismo de *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae) em lagartas de *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) na cana-de-açúcar**. 2019. Disponível em: <https://gebio.com.br/artigos/horario-de-liberacao-sobre-o-parasitismo-de-cotesia-flavipes-hymenoptera-braconidae-em-lagartas-de-diatraea-saccharalis-lepidoptera-crambidae-na-cana-de-acucar/>. Acessado em: 01 de Abril de 2025.

GOMES GARCIA, A.; WAJNBERG, E.; PARRA, J. R. P. Optimizing the releasing strategy used for the biological control of the sugarcane borer *Diatraea saccharalis* by *Trichogramma galloi* with computer modeling and simulation. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 9535, 2024.

HE, D. C.; HE, M. H.; AMALIN, D. M.; LIU, W.; ALVINDIA, D. G.; ZHAN, J. Biological control of plant diseases: An evolutionary and eco-economic consideration. **Pathogens**, v. 10, n. 10, p. 1311, 2021.

KUMAR, R.; SAGAR, V.; VERMA, V. C.; KUMARI, M.; GUJJAR, R. S.; GOSWAMI, S. K.; PRASAD, P. V. Drought and salinity stresses induced physio-biochemical changes in sugarcane: an overview of tolerance mechanism and mitigating approaches. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1225234, 2023.

OLIVA, K. M. E.; SILVA, F. B. V.; ARAÚJO, P. R. M.; OLIVEIRA, E. C. A.; NASCIMENTO, C. W. A. Amorphous silica-based fertilizer increases stalks and sugar yield and resistance to stalk borer in sugarcane grown under field conditions. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, n. 3, p. 2518-2529, 2021.

SHARMA, A.; SHAHZAD, B.; KUMAR, V.; KOHLI, S. K.; SIDHU, G. P. S.; BALI, A. S.; ZHENG, B. Phytohormones regulate accumulation of osmolytes under abiotic stress. **Biomolecules**, v. 9, n. 7, p. 285, 2019.

SHARMA, R.; BHARDWAJ, R.; THUKRAL, A. K.; AL-HUQAIL, A. A.; SIDDIQUI, M. H.; AHMAD, P. Oxidative stress mitigation and initiation of antioxidant and osmoprotectant responses mediated by ascorbic acid in *Brassica juncea* L. subjected to copper (II) stress. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 182, p. 109436, 2019.

SINGH, M.; KUMAR, J.; SINGH, S.; SINGH, V. P.; PRASAD, S. M. Roles of osmoprotectants in improving salinity and drought tolerance in plants: a review. **Reviews in environmental science and bio/technology**, v. 14, p. 407-426, 2015.

SOUZA, B.; MARUCCI, C. M. Biological control in ornamental plants: from basic to applied. **Ornamental Horticulture**, v. 27, n. 2, p. 255-267, 2021.

SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Revista Eletrônica de Enfermagem**, v. 18, p. e1173, 2010.

TAGUTI, P. S.; RAMALHO, D. G.; NASCIMENTO, V. F.; SANTOS, L. C.; TAGUTI, E. A.; MIHSFELDT, L. H.; BORTOLI, S. A. Chemical and biological products used in sugarcane and their effect on *Trichogramma galloi*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 171, n. 10, p. 732-738, 2023.

DANOS DA LAGARTA-DO-CARTUCHO (*Spodoptera frugiperda*) EM PLANTAS DE MILHO: UMA REVISÃO

Aline Amanda da Silva Lima¹, João Henrique Barbosa da Silva¹, Joseane da Silva Ferreira¹, Luiz Henrique Guedes Sousa¹, Lian Rodrigo Torres Cavalcante¹, Leonardo Marques Martins¹, Pedro Ian Maia Santana¹, Edson Antonio de Moraes Pinho e Souza¹, Luis Karlos Pereira da Silva¹

¹Universidade Federal da Paraíba – UFPB/Campus II, Areia-PB, e-mail: henrique485560@gmail.com

RESUMO

O milho é um alimento fundamental globalmente, com o Brasil se destacando como um dos maiores produtores mundiais. No entanto, a produtividade da cultura é frequentemente ameaçada por pragas, sendo a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) uma das mais relevantes e de maior impacto econômico em diversas regiões produtoras de milho. Portanto, objetivou-se com este trabalho realizar uma revisão de literatura sobre os danos da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) em plantas de milho. Utilizou-se para a condução da pesquisa a ferramenta de busca do Google Scholar, através do método de revisão integrativa, por meio de critérios de inclusão e exclusão. A lagarta-do-cartucho é uma praga de grande importância econômica para a cultura do milho, influenciando diretamente no rendimento produtivo das plantas. Diante da relevância desta praga e do seu potencial destrutivo, torna-se evidente a necessidade de aprofundar os estudos sobre seu comportamento, mecanismos de ataque e desenvolvimento de estratégias de manejo mais eficazes e sustentáveis. Além disso, as pesquisas futuras devem se concentrar em aprimorar métodos de monitoramento, controle biológico, resistência de plantas e outras ferramentas para mitigar os impactos negativos da lagarta-do-cartucho na produção de milho.

PALAVRAS-CHAVE: manejo, pragas, *Zea mays* L.

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L) é considerado um dos alimentos essenciais em todo o mundo, sendo parte da dieta humana na Ásia, África, América Latina e América do Sul, contribuindo positivamente na alimentação animal na Europa e América do Norte (OCWA et al., 2023). Mundialmente, o Brasil é considerado um dos principais produtores de milho, ficando atrás dos Estados Unidos e China (YEMELYANOV et al., 2023).

No entanto, apesar da relevância desta cultura, diversos fatores estão diretamente relacionados a uma baixa produtividade em dentre os quais se pode citar, tem-se as pragas (REVILLA et al., 2021; DJAMAN et al., 2022), sendo a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) uma das pragas de maior destaque e impacto econômico na cultura do milho em diversas regiões produtoras (YACTAYO-CHANG et al., 2021).

A lagarta-do-cartucho é uma larva de mariposa polífaga, se alimentando de diversas espécies de plantas, como o milho em seus estágios iniciais de desenvolvimento (HIGO et al., 2022). No Brasil, a lagarta-do-cartucho é uma preocupação constante para os

agricultores de milho, especialmente em regiões de clima quente e úmido, que favorecem o desenvolvimento da praga (PANNUTI et al., 2016).

Nesse contexto, objetivou-se com este trabalho realizar uma revisão de literatura sobre os danos da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) em plantas de milho.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização da presente revisão, foi utilizado a ferramenta de busca do Google Scholar. Além disso, utilizou-se o método de revisão integrativa (SOUZA; SILVA; CARVALHO, 2010). Na Figura 1, se observa um fluxograma das principais etapas realizadas para a condução do estudo.

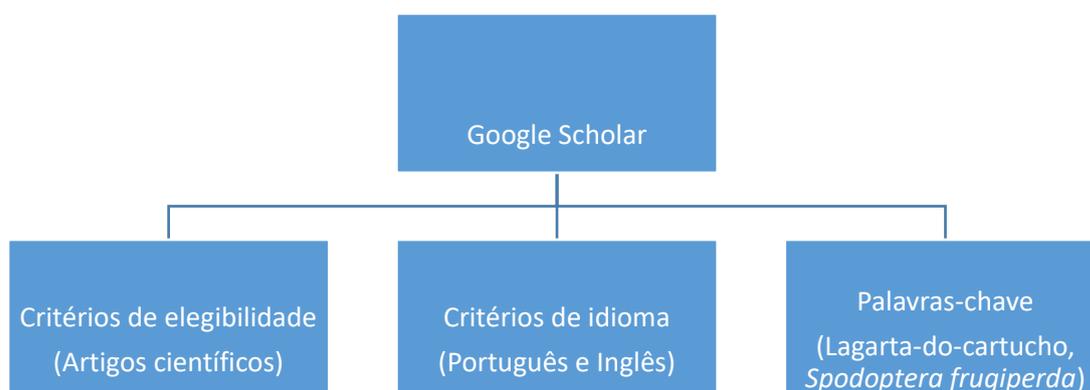


Figura 1. Fluxograma do estudo.

Fonte: Autores (2025).

Após a seleção dos artigos científicos, com base nos critérios de elegibilidade, idioma e palavras-chave, utilizou-se critérios de inclusão e exclusão (Figura 2), com posterior seleção dos trabalhos para compor a revisão de literatura.

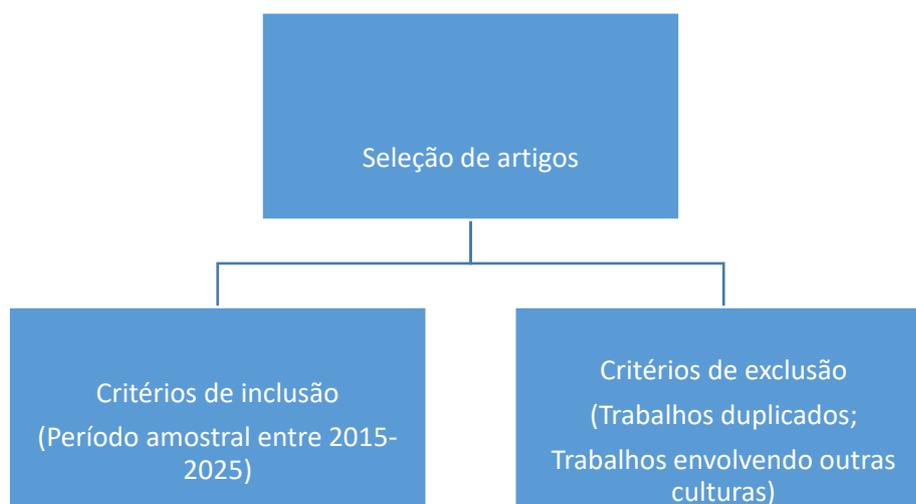


Figura 2. Critérios de inclusão e exclusão.

Fonte: Autores (2025).

Posteriormente, após a seleção dos artigos, os autores realizaram à leitura dos trabalhos para a construção da revisão de literatura.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1.A CULTURA DO MILHO

O milho é uma espécie de Poaceae, ordem Poales, subfamília Panicoideae e tribo Maydeae, foi domesticada no México cerca de 7500 e 12000 anos, sendo conhecida por ser uma planta herbácea considerada anual, com ciclo de quatro a cinco meses, possuindo um sistema radicular fasciculado do tipo adventício, que pode atingir até 3,0 metros de profundidade, aliado a presença de raízes do tipo escora que auxiliam na fixação e absorção de sais minerais (MOLDÁVIA et al., 2022; (DEVESH et al., 2023). Ainda, as plantas de milho apresentam caule do tipo colmo, reto, composto por nós e entrenós. Na Figura 3, se observa algumas características dessa cultura quanto ao seu crescimento.



Figura 3. Critérios de inclusão e exclusão.

Fonte: Agro Bayer (2019).

Na planta do milho, cada estágio vegetativo se define a depender da formação visível do colar, na inserção da bainha da folha com o colmo, diferentemente dos estádios reprodutivos, os quais são definidos avaliando a porção mediana da espiga, com base no desenvolvimento e consistência dos grãos (FANCELLI, 2015). Na Tabela 1, se observa algumas características quanto ao estágio.

Tabela 1. Estádios vegetativos e reprodutivos da cultura do milho.

Vegetativo	Reprodutivo
VE, Emergência	R1, Embonecamento
V1, 1ª folha desenvolvida	R2, Bolha d'água
V2, 2ª folha desenvolvida	R3, Leitoso
V3, 3ª folha desenvolvida	R4, Pastoso
V4, 4ª folha desenvolvida	R5, Formação de dente
V(n), nª folha desenvolvida	R6, Maturidade Fisiológica
VT, Pendoamento	

Fonte: Magalhães; Durães (2006).

Compreender a morfologia e os estádios de desenvolvimento do milho é fundamental para o manejo adequado da cultura, permitindo a implementação de práticas agrícolas eficientes e o monitoramento de pragas. Dentre as pragas que podem afetar significativamente a cultura do milho, destaca-se a *Spodoptera frugiperda*, cuja ocorrência e manejo serão abordados no próximo tópico.

3.2.LAGARTA-DO-CARTUCHO

A *Spodoptera frugiperda*, conhecida popularmente como lagarta-do-cartucho, representa uma das pragas mais significativas para a cultura do milho em diversas regiões (HIGO et al., 2022). Essa espécie de lepidóptero possui um ciclo de vida relativamente curto e alta capacidade de reprodução, o que contribui para infestações rápidas e severas. Na Figura 4, se observa o ciclo dessa praga.



Figura 4. Ciclo da *Spodoptera frugiperda*.

Fonte: Promip (2019).

Os danos causados pela lagarta-do-cartucho no milho são variáveis e dependem do estágio de desenvolvimento da planta e do nível de infestação, e um dos danos mais característicos é o ataque ao "cartucho" da planta, a região onde as folhas mais jovens ainda estão enroladas, podendo destruir o ponto de crescimento e, em estádios mais avançados, a lagarta pode atacar as espigas, comprometendo diretamente a produção de grãos (TAY et al., 2023). Em síntese, a severidade dos danos da *Spodoptera frugiperda* pode resultar em perdas significativas na produtividade do milho.

4. CONCLUSÕES

A lagarta-do-cartucho é uma praga de grande importância econômica para a cultura do milho.

Diante da relevância desta praga e do seu potencial destrutivo, torna-se evidente a necessidade de aprofundar os estudos sobre seu comportamento, mecanismos de ataque e desenvolvimento de estratégias de manejo mais eficazes e sustentáveis.

As pesquisas futuras devem se concentrar em aprimorar métodos de monitoramento, controle biológico, resistência de plantas e outras ferramentas para mitigar os impactos negativos da lagarta-do-cartucho na produção de milho.

REFERÊNCIAS

- AGROBAYER. **Compreendendo uma planta de milho**. 2019. Disponível em: <https://www.agro.bayer.com.br/conteudos/compreendendo-uma-planta-de-milho>. Acessado em: 01 de Abril de 2025.
- DEVESH, P.; SINGH, R.; SRIVASTAVA, K.; SHANKAR, M.; SINGH, P.; KUMAR, M. Estimation of genetic parameters for yield and kernel iron and zinc concentration in maize (*Zea mays* L.). **Biological Forum – An International Journal**, v. 15, n. 2, p.708-711, 2023.
- DJAMAN, K.; ALLEN, S.; DJAMAN, D. S.; KOUDAHE, K.; IRMAK, S.; PUPPALA, N.; ANGADI, S. V. Planting date and plant density effects on maize growth, yield and water use efficiency. **Environmental Challenges**, v. 6, p. 100417, 2022.
- HIGO, Y.; SASAKI, M.; AMANO, T. Morphological characteristics to identify fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) from common polyphagous noctuid pests for all instar larvae in Japan. **Applied Entomology and Zoology**, v. 57, n. 3, p. 263-274, 2022.
- MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da Produção de Milho**. Embrapa, Circular Técnica, n. 76, 2006.
- MOLDOVAN, V. P.; VIDICAN, R.; CORCOZ, L.; STOIAN, V. Highlighting mycorrhizal structures in roots of *Zea mays* L. **Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture**, v. 79, n. 1, 2022.
- OCWA, A.; HARSANYI, E.; SZÉLES, A.; HOLB, I. J.; SZABÓ, S.; RÁTONYI, T.; MOHAMMED, S. A bibliographic review of climate change and fertilization as the main

drivers of maize yield: implications for food security. **Agriculture & Food Security**, v. 12, n. 1, p. 1-18, 2023.

PANNUTI, L. E. R.; PAULA-MORAES, S. V.; HUNT, T. E.; BALDIN, E. L. L.; DANA, L.; MALAQUIAS, J. V. Plant-to-plant movement of *Striacosta albicosta* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in maize (*Zea mays*). **Journal of Economic Entomology**, v. 109, n. 3, p. 1125-1131, 2016.

REVILLA, P.; ANIBAS, C. M.; TRACY, W. F. Sweet corn research around the world 2015–2020. **Agronomy**, v. 11, n. 3, p. 534, 2021.

SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Revista Eletrônica de Enfermagem**, v. 18, p. e1173, 2010.

TAY, W. T.; MEAGHER J. R. R. L.; CZEPAK, C.; GROOT, A. T. *Spodoptera frugiperda*: ecology, evolution, and management options of an invasive species. **Annual Review of Entomology**, v. 68, n. 1, p. 299-317, 2023.

YACTAYO-CHANG, J. P.; MENDOZA, J.; WILLMS, S. D.; RERING, C. C.; BECK, J. J.; BLOCK, A. K. *Zea mays* volatiles that influence oviposition and feeding behaviors of *Spodoptera frugiperda*. **Journal of Chemical Ecology**, v. 47, n. 8, p. 799-809, 2021.

YEMELYANOV, O.; PETRUSHKA, T.; LESYK, L.; HAVRYLIAK, A.; YANEVYCH, N.; KURYLO, O.; PETRUSHKA, K. Assessing the Sustainability of the Consumption of Agricultural Products with Regard to a Possible Reduction in Its Imports: The Case of Countries That Import Corn and Wheat. **Sustainability**, v. 15, n. 12, p. 9761, 2023.

USO DE DRONES NA AGRICULTURA: UMA REVISÃO

Lian Rodrigo Torres Cavalcante¹, João Henrique Barbosa da Silva¹, Joseane da Silva Ferreira¹, Luiz Henrique Guedes Sousa¹, Leonardo Marques Martins¹, Pedro Ian Maia Santana¹, Edson Antonio de Moraes Pinho e Souza¹, Aline Amanda da Silva Lima¹, Thaynah Rodrigues da Silva²

¹Universidade Federal da Paraíba – UFPB/Campus II, Areia-PB, e-mail: henrique485560@gmail.com

²Universidade Federal Rural de Pernambuco- UFRPE, Recife-PE

RESUMO

A agricultura tem evoluído com avanços tecnológicos que aumentam a eficiência e reduzem impactos ambientais. Nesse contexto, os drones emergem como ferramentas capazes de sobrevoar grandes áreas e coletar dados detalhados com sensores de alta resolução, auxiliando no monitoramento e na aplicação precisa de insumos. Portanto, o objetivo desta revisão de literatura é realizar uma análise abrangente das pesquisas e estudos já publicados sobre a utilização de VANTs no contexto agrícola. Além disso, por meio deste estudo, busca-se identificar as principais aplicações relatadas, a fim de fornecer uma revisão atualizada e consolidada sobre o tema. Foi conduzida uma revisão integrativa da literatura utilizando a plataforma Google Scholar como principal ferramenta de busca. A metodologia seguiu etapas sequenciais de seleção de artigos com base em critérios de inclusão e exclusão. Os resultados mostram que o uso de drones na agricultura representa uma revolução promissora, oferecendo diversas aplicações que otimizam desde o monitoramento da saúde das plantas até a aplicação direcionada de insumos e a análise detalhada do solo. Além disso, os drones aumentam a eficiência da produção agrícola, com redução de custos e práticas mais sustentáveis. Mais estudos vêm sendo desenvolvidos com o uso de drones, buscando aprimorar as tecnologias existentes e explorar novas funcionalidades.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura de precisão, inovação agrícola, VANTs.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura é um dos pilares da sociedade humana, o qual vem passando por transformações ao longo da sua história, especialmente nos avanços tecnológicos que ajudam diretamente a produção, aumentando a eficiência e reduzindo os impactos ambientais (DAYIOĞLU; TURKER, 2021). Nesse contexto, os veículos aéreos não tripulados (VANTs), como os drones, são ferramentas promissoras com um potencial revolucionário para a agricultura moderna, com capacidade de sobrevoar grandes áreas de cultivo de forma autônoma ou remotamente controlada, equipados com sensores e câmeras de alta resolução que auxiliam desde o monitoramento das plantas até a aplicação precisa de insumos (EL ALAOUI et al., 2024).

Por ser altamente versátil, os drones permite a coleta de dados detalhados e em tempo real sobre diversos aspectos da lavoura, como o índice de vegetação, a presença de pragas e doenças, o nível de umidade do solo e o desenvolvimento da biomassa da planta

(ABBAS et al., 2023). Através dessas informações, torna-se possível aos agricultores e técnicos tomarem decisões mais assertivas e baseadas em dados concretos, otimizando o manejo das culturas e, conseqüentemente, aumentando a produtividade (BARBEDO, 2019).

Diante desse cenário promissor e da relevância crescente dos drones para a agricultura, o objetivo desta revisão de literatura é realizar uma análise abrangente das pesquisas e estudos já publicados sobre a utilização de VANTs no contexto agrícola. Além disso, por meio deste estudo, busca-se identificar as principais aplicações relatadas, a fim de fornecer uma revisão atualizada e consolidada sobre o tema.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a condução da presente revisão de literatura, foi utilizado a plataforma digital Google Scholar como principal ferramenta de busca. A metodologia adotada para a síntese do conhecimento foi a revisão integrativa, conforme preconizado por Souza, Silva e Carvalho (2010). A Figura 1 ilustra o fluxograma das etapas metodológicas sequenciais implementadas no decorrer do estudo.

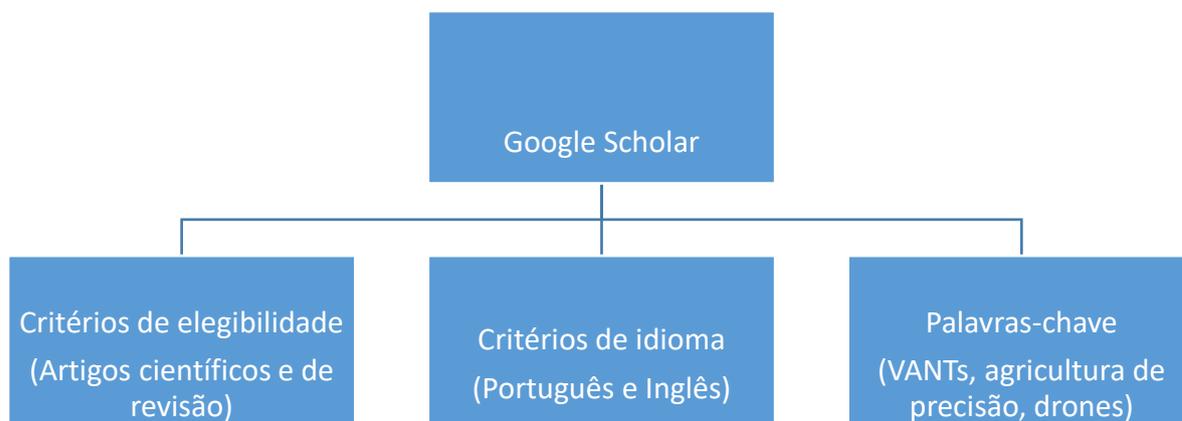


Figura 1. Fluxograma do estudo.

Fonte: Autores (2025).

Após a etapa inicial de seleção dos artigos científicos e de revisão, fundamentada nos critérios de elegibilidade predefinidos (que abrangiam idioma e palavras-chave), aplicou-se um processo sistemático de inclusão e exclusão, detalhado no fluxograma apresentado na Figura 2. Esta etapa subsequente visou refinar o conjunto de estudos identificados, assegurando que apenas trabalhos com escopo temático da presente revisão de literatura fossem utilizados.

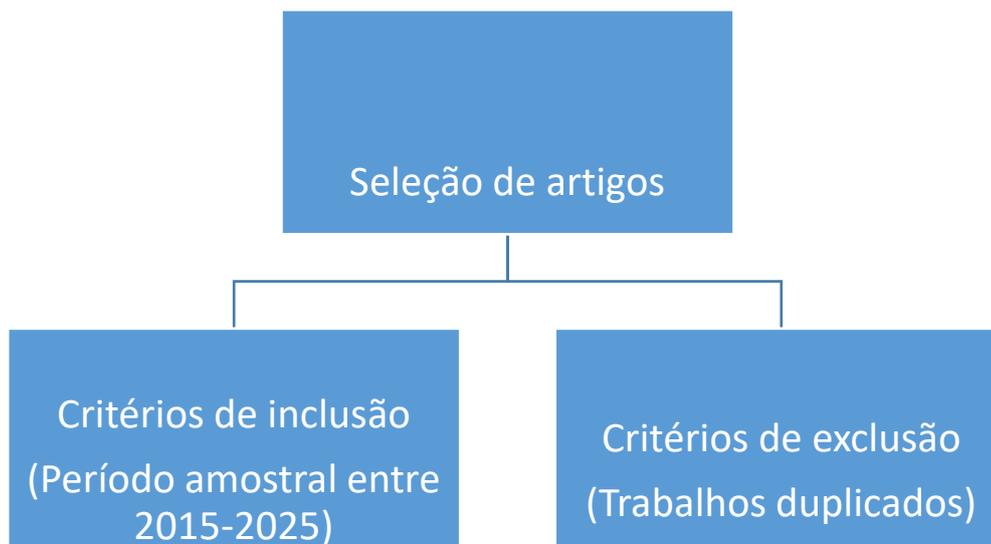


Figura 2. Seleção de artigos conforme critérios de inclusão e exclusão.

Fonte: Autores (2025).

Após a etapa de seleção dos artigos, os autores procederam à análise aprofundada do conteúdo dos trabalhos. Esta fase compreendeu a leitura dos dados, visando a síntese e a integração das informações para a construção da revisão de literatura. O processo de leitura e análise foi conduzido de modo a fundamentar os resultados e conclusões.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1.DRONES NA AGRICULTURA MODERNA: ASPECTOS GERAIS

O uso de VANTs na agricultura, como os drones, representa um marco significativo na evolução da agricultura moderna, sendo uma ferramenta tecnológica com otimização e precisão (NAHIYOON et al., 2024). Os drones agrícolas, por exemplo, são equipados com sensores avançados, câmeras de alta resolução e sistemas de posicionamento global, os quais possibilitam a coleta de dados espaciais e temporais detalhados sobre as culturas (VAN DER MERWE, 2020; OLSON; ANDERSON, 2021). Essa capacidade de aquisição de informações em larga escala e com alta frequência torna possível um monitoramento eficiente das plantas. Na Figura 3, se observa um exemplo prático da utilização do drone como pulverizador.



Figura 3. Uso de drone agrícola como pulverizador.

Fonte: Agrosight (2023).

Ainda, por meio da análise das imagens aéreas e dos dados coletados pelos sensores do drone, é possível identificar áreas específicas dentro da lavoura que demandam intervenção, possibilitando a aplicação localizada e precisa dos recursos (GUEBSI; MAMI; CHOKMANI, 2024). Essa abordagem direcionada não apenas reduz os custos de produção e o impacto ambiental associado ao uso excessivo de insumos, mas também contribui para o aumento da produtividade e a melhoria da qualidade da cultura (ADÃO et al., 2017; WEISS; JACOB; DUVEILLER, 2020; GANO et al., 2024). Na Figura 4, se observa um exemplo de mapeamento realizado por drones agrícolas.

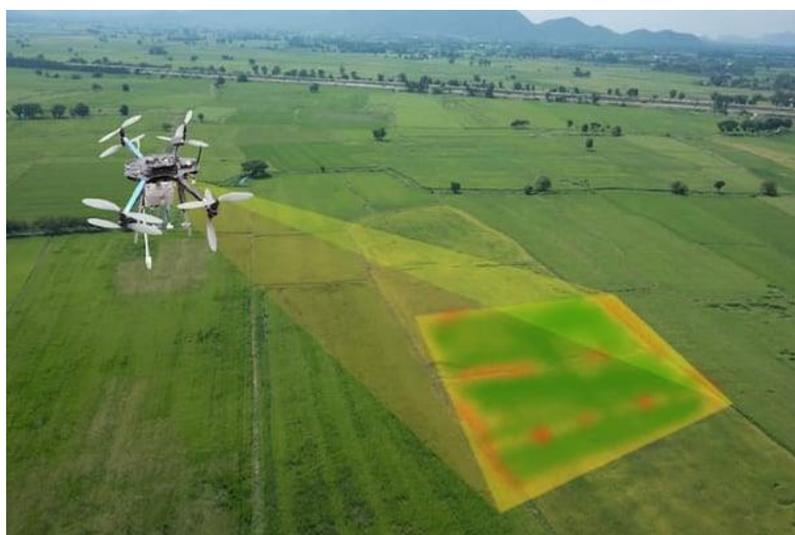


Figura 4. Uso de drone agrícola para mapeamento em áreas específicas.

Fonte: FieldView (2022).

Em síntese, a adoção da tecnologia na agricultura, como o uso de drones, vem impulsionando a inovação e a sustentabilidade no setor agrícola, especialmente ao fornecer informações detalhadas e em tempo real sobre as lavouras, capacitando os

agricultores a tomar decisões mais precisas e a implementar práticas de manejo mais eficientes (AYAMGA; TEKINERDOGAN; KASSAHUN, 2021; REJEB et al., 2022).

A contínua evolução dessa tecnologia, com o desenvolvimento de sensores mais sofisticados e softwares de análise de dados mais robustos sinaliza um futuro promissor para a integração dos drones como ferramentas indispensáveis na produção agrícola em escala global.

4. CONCLUSÕES

O uso de drones na agricultura representa uma revolução promissora, oferecendo diversas aplicações que otimizam desde o monitoramento da saúde das plantas até a aplicação direcionada de insumos e a análise detalhada do solo.

Os drones aumentam a eficiência da produção agrícola, com redução de custos e práticas mais sustentáveis.

Mais estudos vêm sendo desenvolvidos com o uso de drones, buscando aprimorar as tecnologias existentes e explorar novas funcionalidades.

REFERÊNCIAS

ABBAS, A.; ZHANG, Z.; ZHENG, H.; ALAMI, M. M.; ALREFAEI, A. F.; ABBAS, Q.; ZHOU, L. Drones in plant disease assessment, efficient monitoring, and detection: A way forward to smart agriculture. **Agronomy**, v. 13, n. 6, p. 1524, 2023.

ADÃO, T.; HRUŠKA, J.; PÁDUA, L.; BESSA, J.; PERES, E.; MORAIS, R.; SOUSA, J. J. Hyperspectral imaging: A review on UAV-based sensors, data processing and applications for agriculture and forestry. **Remote Sensing**, v. 9, n. 11, p. 1110, 2017.

AGROINSIGHT. **Pulverização com drones na agricultura**. 2023. Disponível em: <https://agroinsight.com.br/pulverizacao-com-drones-na-agricultura/>. Acessado em: 16 de Abril de 2025.

AYAMGA, M.; TEKINERDOGAN, B.; KASSAHUN, A. Exploring the challenges posed by regulations for the use of drones in agriculture in the African context. **Land**, v. 10, n. 2, p. 164, 2021.

BARBEDO, J. G. A. A review on the use of unmanned aerial vehicles and imaging sensors for monitoring and assessing plant stresses. **Drones**, v. 3, n. 2, p. 40, 2019.

DAYIOĞLU, M. A.; TURKER, U. Digital transformation for sustainable future-agriculture 4.0: A review. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 27, n. 4, p. 373-399, 2021.

EL ALAOU, M.; AMRAOUI, K. E.; MASMOUDI, L.; ETTOUHAMI, A.; ROUCHDI, M. Unleashing the potential of IoT, Artificial Intelligence, and UAVs in contemporary agriculture: A comprehensive review. **Journal of Terramechanics**, v. 115, p. 100986, 2024.

FIELDVIEW. **Conheça 12 funções dos drones n agricultura**. 2022. Disponível em: <https://blog.climatefieldview.com.br/drones-agricultura>. Acessado em: 16 de Abril de 2025.

GANO, B.; BHADRA, S.; VILBIG, J. M.; AHMED, N.; SAGAN, V.; SHAKOOR, N. Drone-based imaging sensors, techniques, and applications in plant phenotyping for crop breeding: A comprehensive review. **The Plant Phenome Journal**, v. 7, n. 1, p. e20100, 2024.

GUEBSI, R.; MAMI, S.; CHOKMANI, K. Drones in precision agriculture: A comprehensive review of applications, technologies, and challenges. **Drones**, v. 8, n. 11, p. 686, 2024.

NAHIYOON, S. A.; REN, Z.; WEI, P.; LI, X.; LI, X.; XU, J.; YUAN, H. Recent development trends in plant protection UAVs: A journey from conventional practices to cutting-edge technologies—A comprehensive Review. **Drones**, v. 8, n. 9, p. 457, 2024.

OLSON, D.; ANDERSON, J. Review on unmanned aerial vehicles, remote sensors, imagery processing, and their applications in agriculture. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 2, p. 971-992, 2021.

REJEB, A.; ABDOLLAHI, A.; REJEB, K.; TREIBLMAIER, H. Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 198, p. 107017, 2022.

SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Revista Eletrônica de Enfermagem**, v. 18, p. e1173, 2010.

VAN DER MERWE, D.; BURCHFIELD, D. R.; WITT, T. D.; PRICE, K. P.; SHARDA, A. Drones in agriculture. **Advances in Agronomy**, v. 162, p. 1-30, 2020.

WEISS, M.; JACOB, F.; DUVEILLER, G. Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. **Remote sensing of environment**, v. 236, p. 111402, 2020.

AGROTÓXICOS: OS RISCOS INVISÍVEIS NA NOSSA SAÚDE E NO MEIO AMBIENTE

Antônio Ruan Furtado Júnior¹; José Antônio da Costa Moura¹, Kilson Pinheiro Lopes¹, Micaela Benigna Pereira¹, Levy Nithack Cardoso Bezerra¹, Francisco Miguel de Oliveira Campos¹ e Renata Nunes da Costa¹

¹Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/Campus Pombal, Pombal-PB, e-mail: ruan.furtado0738@gmail.com

RESUMO

Com a população global projetada para atingir 9,7 bilhões até 2050, o setor agrícola enfrenta pressão sem precedentes para aumentar a produção. Paradoxalmente, enquanto o uso global de agrotóxicos cresceu cerca de 50% nas últimas três décadas, estudos mostram que até 385 milhões de casos de intoxicação aguda por pesticidas ocorrem anualmente entre trabalhadores rurais, revelando além dos impactos ambientais um alto custo humano desse modelo produtivo. Diante disso, este estudo realizou uma revisão bibliográfica integrativa, compilando estudos sobre o uso de agrotóxicos e seus riscos invisíveis na saúde humana e no meio ambiente. Adotou-se a metodologia de revisão integrativa da literatura, procedendo a uma análise sistemática de fontes científicas e técnicas diversificadas. Foram examinados artigos indexados em bases acadêmicas, obras especializadas, estudos técnicos e documentos oficiais de órgãos governamentais, visando abranger diferentes perspectivas sobre o tema investigado. Os temas abordados foram: conceituação e tipos de agrotóxicos; uso de agrotóxicos na agricultura; impactos na saúde humana e no meio ambiente; e inovações tecnológicas como alternativas ao uso de agrotóxicos. Conclui-se que: É imprescindível adotar estratégias integradas que conciliem produção agrícola, saúde e sustentabilidade, combinando ciência, políticas públicas e práticas inovadoras. A transição para métodos regenerativos, como agroecologia e manejo integrado, é crucial para preservar os recursos naturais e garantir segurança alimentar. Somente esse equilíbrio permitirá sistemas agrícolas resilientes e sustentáveis a longo prazo.

PALAVRAS-CHAVE: Contaminação, ecossistemas, agricultura.

1. INTRODUÇÃO

O setor agrícola, essencial para a segurança alimentar global, enfrenta o paradoxo de precisar aumentar sua produção enquanto minimiza os impactos ambientais. Esse desafio torna-se ainda mais complexo quando consideramos que o uso de pesticidas atingiu a marca alarmante de 4,1 milhões de toneladas em 2019 (FAO, 2022), com os países em desenvolvimento sendo particularmente afetados pelo crescimento descontrolado no uso desses químicos (SILVA et al., 2022).

Os impactos desse uso indiscriminado são profundamente preocupantes. Estudos revelam que aproximadamente 99% dos pesticidas aplicados atingem organismos não-alvo (PIMENTEL, 2005), persistindo no ambiente por décadas e contaminando solos (SHAFIQ et al., 2024), recursos hídricos (SILVA et al., 2022) e até áreas remotas através

da deriva atmosférica. Essa contaminação generalizada tem consequências diretas para a saúde humana, especialmente entre trabalhadores rurais e comunidades vizinhas a áreas de cultivo, que sofrem com exposição crônica associada a doenças neurológicas, diversos tipos de câncer e desregulação endócrina (WANG et al., 2024). O problema tende a se agravar, considerando a previsão de conversão de extensas áreas de ecossistemas naturais para uso agrícola até 2050 (TILMAN et al., 2001).

Diante desse cenário preocupante, a comunidade científica tem alertado para a necessidade urgente de regulamentações mais rigorosas e do desenvolvimento de alternativas menos nocivas (CHENG et al., 2024). Nesse contexto, práticas como o Manejo Integrado de Pragas (MIP), o uso de biopesticidas e a expansão da agricultura orgânica emergem como soluções promissoras para reduzir a dependência de agrotóxicos sintéticos (RAGASRUTHI et al., 2024). Essas medidas tornam-se ainda mais urgentes quando consideramos os riscos da contaminação na cadeia alimentar e o fenômeno de bioacumulação em organismos vivos (OROU-SEKO et al., 2024).

A complexidade desse desafio exige uma resposta global coordenada. A implementação de políticas eficazes demanda cooperação internacional (PURI et al., 2023), combinando avanços científicos com ações políticas concretas. É neste contexto que o presente estudo se insere, buscando: analisar criticamente os efeitos dos agrotóxicos na saúde e no meio ambiente; apresentar evidências científicas atualizadas; e propor alternativas para um modelo agrícola que harmonize produtividade com sustentabilidade ambiental e saúde pública.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para realizar esta investigação, adotou-se uma metodologia de revisão sistemática da literatura (SOUZA et al., 2010), abrangendo diversas fontes acadêmicas e técnicas. A pesquisa englobou análise crítica de artigos científicos indexados, obras especializadas, estudos de caso e documentos oficiais, com o objetivo de mapear informações e dados atuais sobre a temática proposta. A Figura 1 apresenta um diagrama esquemático do processo metodológico adotado na pesquisa, com representação gráfica das fases sequenciais que compõem o desenvolvimento do trabalho.



Figura 1. Representação esquemática do processo metodológico adotado na pesquisa. Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

De acordo com o fluxograma apresentado (Figura 1) iniciou-se pela definição do tema e objetivos específicos que nortearam toda a pesquisa. Foram consultadas as bases Scopus e Google Scholar, aplicando critérios rigorosos de seleção (ano, metodologia e relevância) para identificar publicações científicas pertinentes. Os artigos coletados passaram por triagem minuciosa (análise de títulos, resumos e conteúdo completo), resultando em uma seleção final que foi submetida à análise comparativa de metodologias e resultados, extração de dados relevantes e síntese crítica do conhecimento. O processo culminou na organização lógica do trabalho e na redação final, garantindo abrangência, profundidade analítica e alinhamento com os objetivos propostos.

Os dados obtidos foram sistematicamente categorizados e estruturados em eixos temáticos estratégicos, diretamente vinculados aos objetivos da pesquisa. Esta

organização seguiu os seguintes parâmetros conceituais: Conceituação e tipos de agrotóxicos; Uso de agrotóxicos na agricultura; e Impactos na saúde humana e no meio ambiente; Inovações tecnológicas como alternativas ao uso de agrotóxicos; e considerações que fundamentaram as conclusões do trabalho.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Conceituação e tipos de agrotóxicos

Agrotóxicos, também chamados de pesticidas ou agroquímicos, são substâncias utilizadas para controlar insetos, doenças e plantas invasoras na agricultura, garantindo maior produtividade (ABUBAKAR et al., 2020). Eles são classificados conforme seu alvo, incluindo inseticidas (contra insetos), herbicidas (ervas daninhas), fungicidas (fungos), rodenticidas (roedores), acaricidas (ácaros), nematicidas (nematóides) e bactericidas (bactérias) (CHEN et al., 2022). Alguns agrotóxicos são sistêmicos, sendo absorvidos pelas plantas e distribuídos em seus tecidos, o que os torna altamente eficazes (LI et al., 2024).

O metabolismo dos agrotóxicos envolve processos bioquímicos que modificam sua estrutura, influenciando sua eficácia e toxicidade. Essas transformações ocorrem em três fases: funcionalização, conjugação e armazenamento, mediadas por enzimas como o citocromo P450 e reguladas por mecanismos epigenéticos (MA et al., 2019). A excreção desses compostos, tanto em insetos (via túbulos de Malpighi) quanto em humanos, é monitorada por biomarcadores, auxiliando na avaliação da exposição e dos riscos associados (HODGSON, 2012).

A toxicidade e a fotoestabilidade são aspectos críticos no desenvolvimento de agrotóxicos. Testes de genotoxicidade, carcinogenicidade e ecotoxicidade avaliam seus efeitos em organismos não-alvo (CASTRO et al., 2024). Além disso, a resistência à luz é essencial para sua eficácia, com compostos como a floxina B (FB) destacando-se por sua ativação fotodinâmica, que gera espécies reativas de oxigênio letais, degradando-se em resíduos não tóxicos (YIN et al., 2020). Essas características são fundamentais para o desenvolvimento de pesticidas mais seguros.

3.2. Uso de agrotóxicos na agricultura

O uso de agrotóxicos na agricultura ajuda a combater perdas de 20% a 40% da produção global causadas por insetos e patógenos, especialmente em um cenário de mudanças climáticas que intensifica essas ameaças (LYKOGIANNI et al., 2021). No entanto, a aplicação excessiva e inadequada desses produtos tem levado a impactos ambientais graves (BASSET; LAMARRE, 2019; ZIKANKUBA et al., 2019). A falta de regulamentação eficaz em países em desenvolvimento e o comércio de pesticidas falsificados agravam esses problemas, expondo agricultores e consumidores a substâncias perigosas (BALAYIANNIS et al., 2014).

Paradoxalmente, apesar do aumento significativo no consumo de agrotóxicos nas últimas décadas, com a intensidade de uso chegando a ser 20 vezes maior em algumas regiões, as perdas nas colheitas não diminuíram proporcionalmente, evidenciando a necessidade de adoção de estratégias mais eficientes (TUDI et al., 2021). A capacitação dos agricultores e a colaboração entre governos, instituições de pesquisa e sociedade civil são essenciais para equilibrar produtividade e sustentabilidade (SHARIFZADEH; ABDOLLAHZADEH, 2021).

3.3. Impactos na saúde humana e no meio ambiente

Os agrotóxicos são utilizados para proteger cultivos de insetos considerados pragas e aumentar a produtividade agrícola, mas seu uso inadequado tem gerado sérios impactos na saúde humana. A exposição ocorre por ingestão de alimentos ou água contaminados, inalação durante a aplicação ou contato direto com resíduos, afetando tanto trabalhadores rurais (mais vulneráveis) quanto consumidores urbanos (RODRIGUES et al., 2024; VASCONCELOS, 2018). A falta de equipamentos de proteção, armazenamento inadequado e descarte irregular agravam os riscos, contaminando o ambiente e expondo comunidades próximas (REIS; PREDEIRO, 2023; FONSECA et al., 2019). Os efeitos incluem intoxicações agudas (náuseas, convulsões e até morte) e doenças crônicas, com crianças e adolescentes sendo particularmente vulneráveis devido à menor capacidade de metabolizar toxinas (PRUNZEL et al., 2023; DUTRA; SOUZA, 2017).

Esse cenário de impactos negativos não é diferente nos ecossistemas. O uso intensivo de agrotóxicos na agricultura gera graves impactos ambientais, incluindo contaminação do solo e dos recursos hídricos. Esses produtos se acumulam na terra, reduzindo sua fertilidade e sendo carregados por lixiviação para rios e lençóis freáticos, poluindo a água e ameaçando a vida aquática (SEVERINO; SILVA, 2012). Além disso, afetam organismos não-alvo, como polinizadores (abelhas e borboletas) e predadores naturais de insetos considerados pragas, desequilibrando ecossistemas e prejudicando a biodiversidade (BARNET et al., 2007; KHATOUNIAN, 2001).

A degradação causada pelos agrotóxicos também altera a microbiota do solo, reduzindo sua capacidade de decompor matéria orgânica e fixar nutrientes, o que aumenta a erosão e a dependência de mais insumos químicos (FREITAS et al., 2009). Esse ciclo insustentável contribui para as mudanças climáticas, devido às emissões de gases de efeito estufa associadas à produção e aplicação desses produtos (VECHIA et al., 2016). Assim, o uso indiscriminado de agrotóxicos compromete não apenas os ecossistemas, mas também a sustentabilidade da própria agricultura.

3.4. Inovações tecnológicas como alternativas ao uso de agrotóxicos

Diante dos impactos negativos dos agrotóxicos, estratégias como o Manejo Integrado de Pragas (MIP) surgem como soluções eficazes, combinando monitoramento de insetos, controle biológico (como predadores naturais) e práticas culturais (rotação de culturas e variedades resistentes) para reduzir a dependência de químicos sintéticos (FARIAS et al., 2001). O controle biológico, que utiliza insetos benéficos (ex.: joaninhas contra pulgões) e microrganismos (fungos e bactérias entomopatogênicos), explora interações ecológicas para suprimir insetos sem danos ambientais (FONSECA et al., 2020). Além disso, bioinsumos como biopesticidas e biofertilizantes oferecem alternativas naturais para fortalecer plantas e solos, alinhando-se à agroecologia e à agricultura orgânica (ABREU et al., 2022).

Práticas culturais, como consórcio de culturas, cobertura vegetal e adubação verde, também promovem biodiversidade e saúde do solo, reduzindo a incidência de insetos, considerados pragas, e melhorando a resiliência dos agroecossistemas (MORAES et al., 2015). A agroecologia integra conhecimentos científicos e tradicionais para desenvolver sistemas produtivos sustentáveis, enquanto políticas públicas como incentivos à pesquisa e capacitação de agricultores são essenciais para ampliar essas alternativas (CRESTANA; FRAGALLE, 2012). A transição para modelos menos dependentes de agrotóxicos exige

a combinação dessas estratégias, garantindo produtividade com menor impacto ambiental e social (MORAES; ROSSI, 2010).

4. CONCLUSÕES

Diante dos desafios relatados, fica evidente a urgência de uma estratégia multidisciplinar e cooperativa que harmonize produtividade agrícola, saúde pública e sustentabilidade ambiental. A integração de conhecimentos científicos, políticas públicas eficientes e práticas agrícolas inovadoras é fundamental para desenvolver sistemas alimentares que garantam segurança nutricional sem esgotar os recursos naturais ou prejudicar a saúde humana. O futuro da agricultura depende da adoção de métodos regenerativos, como agroecologia, controle biológico e manejo integrado, que preservem solos, águas e biodiversidade, assegurando a resiliência dos ecossistemas.

REFERÊNCIAS

- ABREU, L. D. P. S. et al. Alternativa sustentável de uso da *Bacillus amyloliquefaciens* no biocontrole de fungos fitopatogênicos: uma revisão. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 16 n. p. 1-12. 2022.
- ABUBAKAR, Y. et al. Natural Remedies for Pest, Disease and Weed Control. In: ABUBAKAR, Y.; TIJANI, H.; EGBUNA, C.; ADETUNJI, C. O.; KALA, S.; KRYEZIU, T. L.; IFEMEJE, J. C.; PATRICK-IWUANYANWU, K. C. **Pesticides, History, and Classification**. 1. ed. Londres: Academic Press, Cap. 3, p. 29-42, 2020.
- BALAYIANNIS, G.; KARASALI, H.; AMBRUS, A. The problem of counterfeit plant protection products. **Quality Assurance and Safety of Crops & Foods**, v. 6, n. 1, 15-22, 2014.
- BARNETT, E. A.; CHARLTON, E. J.; FLETCHER, M. R. Incidents of bee poisoning with pesticides in the United Kingdom, 1989-2003. **Pest Management Science**, v. 63, p. 1051–1057. 2007.
- BASSET, Y.; LAMARRE, G. P. A. Toward a world that values insects. **Science**, v. 364, n. 6447, p. 1230–1231, 2019.
- CASTRO, M. S. et al. Impacts of warming and acidification on pesticide toxicity in continental aquatic environments: a scientometric and systematic map. **Environmental Pollution**, p. e125384, 2024.
- CHEN, D.; HAO, G.; SONG, B. Finding the Missing Property Concepts in Pesticide-Likeness. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 70, n. 33, p. 10090–10099, 2022.
- CHENG, Z.; ZHU, M.; CAI, J. Reducing fertilizer and pesticide application through mandatory agri-environmental regulation: Insights from “Two Zero” policy in China. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 110, p. 107716–107716, 2024.

CRESTANA, S.; FRAGALLE, E. P. A trilha da quinta potência: um primeiro ensaio sobre ciência e inovação, agricultura e instrumentação agropecuária brasileiras. **Revista Eixo**, v. 1, n. 1, p. 6-27. 2012.

DUTRA, R. M. S.; SOUZA, S. M. M. Impactos negativos do uso de agrotóxicos à saúde humana. **Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, p. 127-140. 2017.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). **World Food and Agriculture - Statistical Yearbook 2022**. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/cc2211en>. Acesso em 11 de mar de 2025.

FARIAS, P. R. S.; BARBOSA, J. C.; BUSOLI, A. C. Amostragem sequencial (presença-ausência) para *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) na cultura do milho. **Neotropical Entomology**, v. 30, n. 4, p. 691-695. 2001.

FONSECA A. S. et al. Extratos vegetais do gênero capsicum com potencial atividade antifúngica contra *Rhizoctonia solani* e *Sclerotium rolfsii*. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 1, p. 88-9, 2020.

FONSECA, J. et al. Poluição da água e solo por agrotóxicos. **Revista Científica e-Locução**. v.1, n.15, p.25. 2019.

HODGSON, E. **Pesticide Excretion**. Elsevier eBooks, p. 179–193, 1 jan. 2012.

KHATOUNIAN, C. A. **A reconstrução ecológica da agricultura**. Botucatu, Agroecológica, 348 p., 2001.

LI, G. et al. Selective wetting and transport of systemic pesticides on bionic stomatal surface regulated by host–guest interaction. **Chemical Engineering Journal**, v. 488, p. e150878, 2024.

LYKOGIANNI, M. et al. Do pesticides promote or hinder sustainability in agriculture? The challenge of sustainable use of pesticides in modern agriculture. **Science of The Total Environment**, v. 795, p. 148625, 2021.

MA, L. Y. et al. Uptake of atrazine in a paddy crop activates an epigenetic mechanism for degrading the pesticide in plants and environment. **Environment International**, v. 131, p. e105014, 2019.

MORAES, A. et al. Research on integrated crop-livestock systems in Brazil. **Revista Ciência Agronômica**. v. 45, p. 1024-1031, 2014.

MORAES, P. V. D.; ROSSI, P. Comportamento ambiental do glifosato. **Scientia Agraria Paranaensis**. v. 9, n. 3, p. 22-35, 2010.

OROU-SEKO, M. et al. Bioaccumulation of pesticides in the food chain: Human health risks and mitigation strategies. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 31, n. 8, p. 11245-11263, 2024.

PIMENTEL, D. Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. **Environment, Development and Sustainability**, v. 7, p. 229-252, 2005.

- PRUNZEL, J. J.; LIMA, T. F.; DA SILVA, H. S. Agrotóxicos no aspecto da saúde pública: uma revisão histórico-literária. **REVISTA FOCO**, v.16, n.11, p. e.3387, 2023.
- PURI, M.; GANDHI, K.; KUMAR, M. S. Emerging environmental contaminants: A global perspective on policies and regulations. **Journal of Environmental Management**, v. 332, p. 117344, 2023.
- RAGASRUTHI, M. et al. *Bacillus thuringiensis* (Bt)-based biopesticide: Navigating success, challenges, and future horizons in sustainable pest control. **The Science of The Total Environment**, v. 954, p. 176594–176594, 2024.
- REIS, R. B. S.; PEDREIRO, M. R. M. A importância do uso de equipamento de proteção individual (epi) na prevenção de acidentes. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v.9, n.9, p.4769–4788. 2023.
- RODRIGUES, S. V. et al. Impactos do uso de agrotóxicos na saúde humana e ambiental. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v.9, p.1-12. 2024.
- SEVERINO, M. D. R.; SILVA, M. D. Taxa de degradação de ametrina em quatro solos brasileiros: indicativo do comportamento ambiental. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. p. 1023-1030, 2012.
- SHAFIQ, M. et al. Ecological consequences of antimicrobial residues and bioactive chemicals on antimicrobial resistance in agroecosystems. **Journal of Advanced Research**, v. 2024, 2024.
- SHARIFZADEH, M. S.; ABDOLLAHZADEH, G. The impact of different education strategies on rice farmers' knowledge, attitude and practice (KAP) about pesticide use. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 2021, 2021.
- SILVA, V. et al. Environmental and human health at risk—Scenarios to achieve the Farm to Fork 50% pesticide reduction goals. **Environment international**, v. 165, p. 107296, 2022.
- SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Revista Eletrônica de Enfermagem**, v. 18, p. e1173, 2010.
- TILMAN, D. et al. Forecasting Agriculturally Driven Global Environmental Change. **Science**, v. 292, n. 5515, p. 281–284, 2001.
- TUDI, M. et al. Agriculture Development, Pesticide Application and Its Impact on the Environment. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 3, 2021.
- VASCONCELOS, Y. Agrotóxicos na Berlinda. **Revista Pesquisa Fapesp**, [s.l.], p.1-10. 2018.
- VECHIA, J. F. D. et al. Macrophyte bioassay applications for monitoring pesticides in the aquatic environment. **Planta Daninha**, v. 34, n. 3, p. 587-603. 2016.
- WANG, F. et al. Unveiling the development trends of environmental and human health concerns for pesticides: Integrating an intelligent approach and data mining across diverse databases. **Science of The Total Environment**, v. 954, p. 176477, 2024.
- YIN, Y. et al. A sodium alginate-based nano-pesticide delivery system for enhanced in vitro photostability and insecticidal efficacy of phloxine B. **Carbohydrate Polymers**, v. 247, p. 116677–116677, 2020.

ZIKANKUBA, V. L. et al. Pesticide regulations and their malpractice implications on food and environment safety. **Cogent Food & Agriculture**, v. 5, n. 1, 2019.

QUALIDADE DO LEITE E SEGURANÇA ALIMENTAR: REFLEXÕES SOBRE O *DIPPING* SUSTENTÁVEL NA SANIDADE DO ÚBERE

Elizabeth Simões do Amaral Alves¹, João Manoel da Silva², Elizabeth Sampaio de Medeiros¹

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Campus sede, Recife - PE, e-mail: elizabetamaral@hotmail.com

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas – IFAL, Campus Santana do Ipanema, Santana do Ipanema - AL

RESUMO

A mastite é um dos principais desafios da indústria leiteira, impactando a qualidade do leite e trazendo riscos à saúde pública, e por ser um alimento essencial, sua qualidade impacta na segurança alimentar. Desta forma, o *dipping* sustentável surge como alternativa ao controle da mastite, reduzindo impactos ambientais e melhorando a sanidade do úbere. Este estudo aborda a qualidade do leite e a segurança alimentar, com foco na sanidade do úbere e no uso de práticas sustentáveis para o controle da mastite, trazendo reflexões sobre o uso do *dipping* sustentável, como uma prática higiênico-sanitária na ordenha e na implementação de alternativas naturais para o controle da mastite. Foi realizada uma abordagem bibliográfica sobre a produção de leite, segurança alimentar, saúde pública e práticas sustentáveis no controle da mastite, como o uso de antissépticos naturais, homeopatia e fitoterapia. Nesse sentido, foi enaltecido que embora o *dipping* convencional seja amplamente utilizado, práticas mais sustentáveis têm ganhado destaque, sendo aceitas positivamente pelos consumidores e contribuindo para a saúde pública com a redução de resíduos no leite e resistência bacteriana. Além disso, os produtos naturais para o controle de mastite minimizam os impactos ambientais e garantem a qualidade do leite e a segurança alimentar. Conclui-se que a implementação de práticas sustentáveis no manejo da ordenha é fundamental para melhorar a saúde do úbere, aumentar a qualidade do leite e garantir a segurança alimentar, promovendo um modelo de produção mais ecologicamente responsável e menos dependente de produtos químicos.

PALAVRAS-CHAVE: Mastite, Bovinocultura leiteira, Antimicrobiano.

1. INTRODUÇÃO

A qualidade do leite está diretamente relacionada à segurança alimentar e à sustentabilidade da produção pecuária. O leite e seus derivados representam uma fonte essencial de nutrientes, sendo amplamente consumidos pela população mundial. No entanto, a contaminação microbiológica e a presença de resíduos químicos podem comprometer a inocuidade do produto, impactando a saúde pública e a economia do setor lácteo. Diante desse cenário, medidas eficazes de controle sanitário são fundamentais para garantir a qualidade do leite e mitigar riscos associados ao consumo (Winter; Ritter; Lanzarin, 2024).

Entre as principais estratégias de controle, destaca-se o manejo adequado na ordenha para a sanidade do úbere, prevenindo doenças como a mastite bovina, que afeta diretamente a qualidade e a segurança do leite. Nesse contexto, a prática do dipping, que consiste na aplicação de substâncias antissépticas nos tetos das vacas antes e após a ordenha, desempenha um papel crucial na redução da carga microbiana e na prevenção de infecções (Rangel Junior et al., 2025).

Contudo, o uso de produtos sintéticos para o dipping tem gerado preocupações ambientais e de saúde, devido aos potenciais resíduos químicos no leite e ao impacto negativo sobre o meio ambiente. Assim, surge a necessidade de desenvolver alternativas sustentáveis, como o dipping à base de compostos naturais, que possam oferecer eficiência na sanidade do úbere sem comprometer a segurança alimentar e a qualidade do produto final (Alves et al., 2025).

O desenvolvimento de estratégias sustentáveis para a produção de leite está alinhado às tendências globais que buscam reduzir o impacto ambiental e garantir a segurança dos alimentos. A adoção de boas práticas agropecuárias, aliada à pesquisa de novas formulações de dipping, pode contribuir significativamente para a manutenção da qualidade do leite, atendendo às demandas do mercado consumidor e à legislação sanitária (Frossard et al., 2025).

Diante desse panorama, este capítulo tem como objetivo elucidar a relação entre qualidade do leite e segurança alimentar, com ênfase no uso do dipping sustentável na sanidade do úbere. Além disso, serão apresentadas reflexões sobre a produção leiteira sob uma perspectiva mais ecológica e responsável, abordando soluções viáveis para minimizar os impactos ambientais sem comprometer a eficácia sanitária e a qualidade microbiológica do leite.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Qualidade do Leite e Segurança Alimentar

O leite é um dos alimentos naturais mais nutritivos, essencial para mamíferos na fase de lactação, crianças e animais em desenvolvimento devido à sua composição completa. Sua qualidade é determinada por fatores relacionados à composição e higiene, que, por sua vez, dependem das práticas impostas no manejo genético, na saúde e na alimentação do rebanho, nos cuidados durante a obtenção e conservação do leite cru (Pisa et al., 2024). Segundo o Regulamento e Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA), define-se por leite, o produto oriundo da ordenha completa, ininterrupta, em condições de higiene, de vacas sadias, bem alimentadas e descansadas (Brasil, 2017).

Logo, o leite é composto por diversos elementos sintetizados na glândula mamária a partir de precursores obtidos pela alimentação e pelo metabolismo dos animais. Sua estrutura consiste em uma emulsão de glóbulos de gordura e micelas de caseína, formada por caseína, cálcio e fósforo, dispersa em uma fase aquosa que contém lactose, proteínas do soro, minerais e leucócitos. Sua composição química inclui aproximadamente 87% de água, 3,8% de gordura, 3,5% de proteínas, 4,9% de lactose e 0,8% de sais minerais. O leite também contém pigmentos como riboflavina e caroteno, enzimas como lactoperoxidase, lipase, catalase, fosfatase e redutase, vitaminas hidrossolúveis e lipossolúveis, proteínas de alto valor biológico e gorduras de fácil digestão (Pereira; Scussel, 2017).

Devido à sua alta concentração de nutrientes, o leite é um meio propício tanto para o crescimento de microrganismos desejáveis quanto indesejáveis. Por esse motivo, a avaliação de parâmetros de qualidade é essencial para garantir sua identidade, qualidade e inocuidade. Essa análise inclui aspectos físico-químicos (estabilidade ao alizarol, acidez titulável, densidade relativa, índice crioscópico), parâmetros de composição (gordura, proteína, extrato seco desengordurado) além de critérios higiênico-sanitários (contagem total bacteriana, contagem de células somáticas, detecção de resíduos de antibióticos) (Sandoval; Ribeiro, 2021).

Por certo, a qualidade do leite constitui um aspecto crucial para garantir a segurança alimentar, pois as propriedades nutricionais do produto devem estar de acordo com os padrões exigidos pelos órgãos regulatórios, indústrias e até mesmo consumidores, evitando o comprometimento de um alimento seguro por meio de perigos biológicos, físicos e químicos (Santos et al., 2025).

Esses perigos representam desafios significativos para a cadeia de produção do leite. Os perigos biológicos incluem microrganismos como bactérias, vírus, fungos e parasitas, que podem causar doenças severas e podem estar presentes no leite devido à contaminação cruzada, higiene inadequada ou armazenamento impróprio ao longo da cadeia produtiva. Já os perigos físicos referem-se à presença de materiais indesejáveis, introduzidos durante a produção, transporte ou armazenamento, oferecendo riscos à saúde. Os perigos químicos, por sua vez, estão relacionados à contaminação do leite por substâncias químicas, que podem ser oriundas da adição inadequada de aditivos, do uso impróprio de produtos químicos na produção e da presença de resíduos de medicamentos veterinários (Lima e Silva; Damy-Benedetti, 2025).

Sobre o uso de medicamentos veterinários, principalmente os antimicrobianos em vacas leiteiras, seja para tratamento, controle ou prevenção de infecções, pode resultar na presença de resíduos no leite, levantando preocupações quanto à segurança do consumo e ao desenvolvimento da resistência bacteriana. Assim, práticas como a administração de antibióticos durante o período de secagem de vacas com mastite subclínica ou o uso metafilático, no qual todo o rebanho recebe tratamento diante da presença de alguns animais doentes, são estratégias com impacto direto na cadeia produtiva do leite. Além disso, o uso de antimicrobianos como aditivos para melhorar o crescimento e a conversão alimentar tem sido alvo de críticas devido ao seu potencial de contribuir para o aumento da resistência bacteriana, representando um risco adicional à saúde pública (Pereira; Scussel, 2017).

Entre os perigos químicos, que foram citados, cabe destacar que o leite que contém resíduos de antimicrobianos em concentrações acima do limite máximo (LMR) permitido por regulamentação ou substâncias ilícitas é classificado como adulterado e inadequado para o consumo. Essa contaminação pode causar prejuízos à saúde pública, comprometer processos tecnológicos na indústria de laticínios e comprometer a segurança alimentar (Lobato; de Los Santos, 2019).

Desta forma, para assegurar a qualidade e a segurança alimentar, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) implementou as normas sanitárias e tecnológicas para garantir a segurança do leite e derivados, especialmente por meio das Instruções Normativas (IN) nº 76 e nº 77, publicadas em 2018, que substituíram a IN nº 62 de 2011 (Brasil, 2018).

2.2. *Dipping* Sustentável na Sanidade do Úbere

A qualidade e a segurança alimentar do leite estão diretamente ligadas à saúde do úbere em animais leiteiros. Para garantir um leite seguro, é essencial que todo o processo, desde a ordenha até o seu beneficiamento na indústria, seja executado com rigorosos cuidados higiênico-sanitários (Câmara et al., 2024). Nesse contexto, doenças do animal, falta de higiene durante o processo de produção, temperatura inadequada de armazenamento do leite e principalmente as infecções no úbere (mastites) são pontos cruciais que podem favorecer o aumento da carga bacteriana, comprometendo sua qualidade e segurança alimentar (Mota; Vieira, 2025).

A mastite representa um dos principais desafios para a indústria leiteira, pois compromete as características físico-químicas do leite, impactando negativamente seu aproveitamento na indústria de laticínios. Além disso, constitui um problema de saúde pública, uma vez que microrganismos presentes no leite de animais acometidos podem causar infecções ou toxinfecções alimentares, devido à produção de toxinas termoestáveis, que não são eliminadas pelos processos de pasteurização (Massote et al., 2019). A implementação de rigorosas medidas higiênico-sanitárias durante a ordenha é essencial para reduzir a disseminação dos agentes etiológicos da mastite e preservar a qualidade microbiológica do leite. Nesse contexto, a adoção de boas práticas de manejo torna-se indispensável para manter a saúde da glândula mamária e garantir a inocuidade da matéria-prima (Fernandes; Domenico; Motta 2025).

Dentre as boas práticas de manejo na ordenha, a higienização dos tetos com produtos antissépticos através do dipping, é muito eficaz para prevenir a mastite, sendo de grande importância na redução de microrganismos patogênicos. Com isso, a aplicação do dipping é imprescindível para a manutenção da sanidade do úbere, pois é uma etapa essencial na rotina de ordenha que garante a desinfecção dos tetos antes e depois do processo. O pré-dipping tem como objetivo reduzir a carga bacteriana nos tetos antes da ordenha, minimizando o risco de contaminação do leite. Já o pós-dipping é fundamental para eliminar resíduos de leite que permanecem nos tetos após a retirada do conjunto de ordenha, além de atuar na prevenção de infecções no canal do teto (mastite), contribuindo na saúde da glândula mamária (Silva et al., 2024).

Acontece que, a imersão dos tetos em soluções desinfetantes convencionais (dipping) pode não proporcionar uma proteção eficaz contra a ampla variedade de bactérias responsáveis pelas mastites. Além disso, é importante salientar que a principal causa para os resíduos de antibióticos no leite envolve o uso contínuo e indiscriminado de antibióticos para tratamento, controle e profilaxia das mastites e o uso frequente desses produtos pode favorecer o desenvolvimento de resistência bacteriana, incluindo determinados antissépticos químicos utilizados na profilaxia das mastites por meio do dipping, que também deixa resíduos no leite, o que pode representar um risco à qualidade e segurança do produto (Soares et al., 2024).

Sob essa ótica, como alternativa a essa abordagem, métodos diferenciados de controle e prevenção da mastite têm sido estudados, incluindo o uso de produtos homeopáticos e fitoterápicos. Essa estratégia se destaca por reduzir ou até eliminar a necessidade de antibióticos, promovendo um modelo de criação mais sustentável. Além disso, a homeopatia e a fitoterapia apresentam vantagens como menor custo, fácil aplicação e a ausência de resíduos no leite, tornando o produto final mais seguro para o consumo e com menor impacto ambiental (Silva et al., 2024).

O uso da homeopatia e da fitoterapia no controle da mastite tem ganhado grande relevância na produção leiteira, especialmente na pecuária orgânica, onde a demanda por

leite e derivados livres de resíduos está em constante crescimento. Diante dessa tendência, tanto pequenos quanto grandes produtores vêm reduzindo o uso de antibióticos no tratamento de animais infectados, adotando alternativas homeopáticas como uma opção mais sustentável e segura para a saúde animal e a qualidade do leite (Souza et al., 2024).

Nesse viés, a ascensão econômica do mercado de lácteos tem impulsionado a demanda por estudos voltados à segurança alimentar e à produção sustentável. Nesse contexto, o uso de produtos naturais surge como uma alternativa promissora às drogas sintéticas, visto que, a formulação de antissépticos naturais para tetos, como estratégia para o controle da mastite, ganha destaque devido à sua aceitação pelo mercado consumidor cada vez mais preocupado com a sustentabilidade do planeta. Além disso, essa abordagem representa uma alternativa terapêutica alinhada às tendências futuras, com possíveis implicações na produção sustentável, na qualidade do leite, na segurança alimentar e na saúde pública (Alves et al., 2025).

2.3. Reflexões Sobre a Produção de Leite Sustentável

O termo sustentabilidade tem origem no Latim “sustinere” (sus-, de baixo + tenere, segurar), sugere apoio indefinido e permanência, cuja abordagem direcionada para a pecuária, refere-se a sistemas de produção que sejam capazes de manterem sua produtividade e utilidade para a sociedade, preservando os recursos naturais, sendo economicamente competitivos, socialmente justos, e ecologicamente saudáveis. Logo, o conceito de sustentabilidade aplicado à atividade pecuária engloba quatro aspectos interligados da atividade humana: ecologia (ambiente), economia, política e cultura (Arcuri; Berndt, 2015).

Acontece que, a agropecuária, devido ao seu potencial impacto ambiental, é frequentemente apontada como uma das principais atividades responsáveis por danos ao meio ambiente. Diante desse contexto, independentemente do porte da propriedade, do nível tecnológico desenvolvido ou do tipo de produção, torna-se essencial que os produtores adotem práticas de gestão que conciliem a geração de lucro com o uso sustentável dos recursos naturais, garantindo o equilíbrio entre a atividade agropecuária e a preservação ambiental (Abrahão; Natel, 2022).

Sobre essa ótica, o escalonamento da produção leiteira deve sempre garantir a segurança alimentar, preservando os recursos naturais, sem comprometer as gerações futuras. Para isso, é fundamental investir em pesquisas científicas que forneçam suporte a adequação às leis ambientais e às metodologias de manejo sustentáveis, para a obtenção de resultados técnicos e econômicos viáveis, a fim de manter a atividade leiteira em funcionamento, com responsabilidade social e ambiental, garantindo o bem-estar humano e animal (Paiva; Lima, 2024).

Contudo, apesar da crescente preocupação com a sustentabilidade, a adoção de práticas produtivas sustentáveis na cadeia leiteira ainda é limitada. Os sistemas de produção convencionais continuam intensificando os impactos ambientais, gerando questionamentos sobre a previsão dessas práticas a longo prazo. Entre os principais impactos da produção leiteira estão a contaminação do solo, dos recursos hídricos, emissão de gases de efeito estufa, a resistência microbiana e resíduos de antibióticos. Além disso, desafios com a saúde do úbere e o bem-estar dos animais, bem como as implicações econômicas e sociais, também são considerados (Silva; Gameiro, 2021).

Embora os desafios persistam, eles não representam um obstáculo intransponível para o desenvolvimento da atividade. Com a implementação de políticas públicas e a aplicação do conhecimento técnico-científico, é possível criar condições adequadas para

o aumento da produtividade dos rebanhos, tornando a produção mais competitiva e sustentável, sem comprometer os aspectos ambientais, econômicos e sociais. Apesar dessas dificuldades, a pecuária desempenha um papel fundamental no crescimento socioeconômico do país, contribuindo para a geração de emprego e renda para milhares de famílias (Paiva; Campos, 2024).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da crescente demanda por leite de alta qualidade e produzido de forma sustentável, torna-se essencial adotar práticas que assegurem a sanidade do úbere e a segurança alimentar. O *dipping* sustentável surge como uma alternativa promissora, contribuindo para a redução da mastite bovina sem comprometer a qualidade do leite e minimizando impactos ambientais. Além disso, a substituição de substâncias sintéticas por compostos naturais reforça o compromisso com a saúde dos consumidores e a preservação dos recursos naturais. Assim, a implementação de soluções inovadoras e sustentáveis na cadeia produtiva do leite deve ser incentivada, promovendo uma produção mais responsável e alinhada às exigências do mercado atual.

REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, J. A.; NATEL, A. S. Indicadores de sustentabilidade ambientais na pecuária leiteira: revisão sistemática. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, p. 1-10, 2022.
- ALVES, E. S. A.; MORAES, M. L. A.; MEDEIROS, E. S.; CADENA, P. G. Prospecção tecnológica das terapêuticas veterinárias em mamites subclínicas por meio de busca em base de patentes. **Revista observatório de la economia latinoamericana**, v. 23, n. 1, p. 01-19. 2025.
- ARCURI, P. B.; BERNDT, A. Uma visão internacional da sustentabilidade na pecuária leiteira. In: MARTINS, P. C.; PICCININI, G. A.; KRUG, E. E. B.; MARTINS, C. E.; LOPES, F. C. F. (Org.). **Sustentabilidade ambiental, social e econômica da cadeia produtiva do leite: Desafios e perspectivas**. 1ed. Brasília: EMBRAPA, v. 1, p. 169, 2015.
- BRASIL. Decreto Nº 9.013, de 29 de março de 2017. Regulamenta a Lei Nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei Nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. **Diário Oficial da União**. 30 março, 2017.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução Normativa nº 76, de 26 de novembro de 2018. Regulamenta os critérios de qualidade do leite cru refrigerado. **Diário Oficial da União**. 26 de novembro, 2018.
- CÂMARA, L. R. de A.; SILVA, G. A.; SILVA M. M. C.; MILLAN, R. N. Indicadores higiênico-sanitários de qualidade do leite bovino em propriedades rurais da microrregião de Frutal/MG. **Revista Ciência et Praxis**, v.19, n.34, p. 83-98, 2024.
- FERNANDES F. M.; DOMENICO V. D.; MOTTA A. S. M. Sanidade da glândula mamária e monitoramento da qualidade do leite de búfala produzido na Estação Experimental Agrônômica da UFRGS. **Veterinária e Zootecnia**, v. 32, p. 1-16, 2025.

FROSSARD, V. M.; CASTRO, A. L.; MARCHIORI, B. A.; FERREIRA, D.; CORREA, K.; WILSON JÚNIOR; TEODORO, V. A. M. Perspectivas para o setor de leite e derivados: desafios e oportunidades. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 1, n. 4, p. 183-188, 2025.

LIMA E SILVA, Breno; DE CARVALHO DAMY-BENEDETTI, Patrícia. Análises de perigos e pontos críticos de controle na produção de leite. **Revista Científica Unilago**, v. 1, n. 1, 2025.

LOBATO, C. L. D. S.; DE LOS SANTOS, J. R. G. Resíduos de antibióticos no leite: causas e impactos para a Indústria e saúde pública. **Science and Animal Health**, v.7, n.3, p. 232-250, 2019.

MASSOTE, V. P.; ZANATELI, B. M.; ALVES, G. V.; GONÇALVES, E. S.; GUEDES, E. Diagnóstico e controle de mastite bovina: uma revisão de literatura. **Revista Agroveterinária do Sul de Minas**, v. 1, n. 1, p. 41–54, 2019.

MOTA, P. V. M.; VIEIRA, S. M. O efeito da assistência técnica na qualidade do leite de produtores na região do triângulo mineiro. **Revista Foco**, v. 18, n. 2, p. 1-16, 2025.

PAIVA, E. C.; CAMPOS, K. C. Índice de sustentabilidade da produção da pecuária leiteira nas mesorregiões do Brasil. **Economia e Região**, v.12, n.1, p.47-72, 2024.

PAIVA, E. C.; LIMA, F. A. X. Índice de sustentabilidade da produção pecuária leiteira nos municípios do Ceará. **Colóquio - Revista do Desenvolvimento Regional**, v. 21, n. 3, p. ,252-277, 2024.

PEREIRA, M. N.; SCUSSEL, V. M. Resíduos de antimicrobianos em leite bovino: fonte de contaminação, impactos e controle. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.16, n.2, p.170-182, 2017.

PISA, F. M.; DALFRÉ, L. S.; TENPONI, G.P.; ALMEIDA, K. M.; GOMES, M. S.; ANDRADE, M. L. Contaminantes no leite de vaca no Brasil - uma revisão integrativa de literatura. **Revista Agrária Acadêmica**, v. 7, n. 5, p. 109-117, 2024.

RANGEL JUNIOR, N. C.; RESENDE, A. L. S. S.; SOUSA, D. M.; GALINDO, E. L. O.; LEMOS, M. J.; CUSTÓDIO, J. G. M. Levantamento de casos de mastite clínica bovina em uma fazenda leiteira do estado do Paraná. **Revista DELOS**, v. 18, n. 64, p. 01-20, 2025.

SANDOVAL, V. L.; RIBEIRO, L. F. Qualidade do leite: sua influência no processamento, requisitos obrigatórios e sua importância para o produto final. **GETEC**, v.10, n.28, p.41-49, 2021.

SANTOS, T. Q.; SÁ, A. D. F.; XAVIER, L. E.; ARAÚJO, A. F.; GONZAGA, M. S. B.; MEDEIROS, U. K. L. Análise comparativa dos indicadores de qualidade e conformidade regulatória do leite em diferentes propriedades rurais no município de Aparecida, estado da Paraíba (PB), Brasil. **Research, Society and Development**, v. 14, n. 3, p. 1-9, 2025.

SILVA, J. B.; ANJOS, J. A.; SILVA, Á. B.; SILVA, R. B. V.; OLIVEIRA, N. M.; GARCIA, J. A. D.; OLIVEIRA, C. M.; ANDRADE, F. B.; VILELA, Á. N. Manejo de ordenha e tratamento homeopático sobre a qualidade microbiológica do leite. **Revista caderno pedagógico**, v.21, n.9, p. 01-27. 2024.

SILVA, M. F.; GAMEIRO, A. H. Indicadores de sustentabilidade para a produção de leite: uma revisão de literatura. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, v. 6, n. 5, p. 208-237, 2021.

SOARES, K. D. A.; ALVES, E. S. A.; SILVA, J. M.; ROLIM, M. B. Q.; MOURA, A. P. B. L.; SILVEIRA, A. V. M.; SHINOHARA, N. K. S.; SILVA, D. D.; MEDEIROS, E. S. Ação de desinfetantes utilizados na ordenha sobre biofilmes em formação e consolidado de *Staphylococcus aureus* obtidos do leite de vacas com mastite subclínica. **Revista observatorio de la economia latinoamericana**, v. 22, n. 7, p. 01-16, 2024.

SOUZA, M. M. S.; BENTO, H. J.; CAMPOS, L. N. B.; VIEIRA, R. L. A.; ARAÚJO, T. G.; PIRES, T. B. Uso de homeopatia no tratamento de mastite em vacas leiteiras – estudo de caso. **MAGISTRA**, v. 34, 2024.

WINTER, H. L.; RITTER, D. O.; LANZARIN, M. Qualidade Microbiológica e Físico-Química de leite pasteurizado tipo A. **PesquisAgro**, v. 8, n. 1, p. 62–72, 2025.

ANÁLISE DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM GARANHUNS - PE: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA EM CONFORMIDADE COM A POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Carla Renata da Silva Xavier ¹, José Robson Alves Ferreira da Silva ¹, Taize Calvacante Santana ¹, Glaudemir Santos Leite ², Aymê Fernanda de Almeida Melo de Lima ¹, Ricardo Brauer Vigoderis ¹, Edivan Rodrigues da Silva ¹

¹Universidade Federal do Agreste de Pernambuco – UFAPE, Garanhuns-PE, e-mail: carlarenatax@gmail.com

²Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Recife-PE

RESUMO

A crescente produção de resíduos sólidos urbanos tem gerado diversos problemas para a população em geral, incluindo o aumento de doenças, o impacto negativo no meio ambiente e a redução da qualidade de vida. Esta pesquisa teve como objetivo analisar a gestão dos resíduos urbanos na cidade de Garanhuns – PE, por meio de uma revisão documental e bibliográfica, comparando os documentos municipais com as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A pesquisa possui natureza aplicada e foi caracterizada como exploratória e descritiva, baseada em uma abordagem que envolve tanto a pesquisa bibliográfica quanto a pesquisa documental. Inicialmente, foram examinados os princípios e diretrizes da PNRS, seguidos pela análise de documentos municipais relacionados à gestão de resíduos sólidos, visando identificar o alinhamento com a legislação nacional. Constatou-se que Garanhuns não possui um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos atualizado, utilizando ainda o Plano Diretor Participativo de 2008, que aborda de forma limitada o gerenciamento de resíduos. Embora o município atenda parcialmente às exigências legais com a implantação de um aterro sanitário, ainda há a necessidade de avançar em soluções mais completas, como a criação de centros de triagem para garantir a destinação adequada dos resíduos. Dessa forma, a elaboração de um plano específico de gestão de resíduos sólidos é considerada urgente para minimizar os problemas ambientais e de saúde pública, assegurando o cumprimento das exigências legais e contribuindo para um desenvolvimento urbano mais sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: Desenvolvimento sustentável, aterro sanitário, resíduos sólidos

1. INTRODUÇÃO

A problemática relacionada aos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) tem se agravado consideravelmente ao longo do tempo, principalmente por causa do aumento do consumo não consciente. A falta de preocupação com o destino final das embalagens, e com o ciclo de vida desses materiais, aliada ao alto consumo de produtos sem a devida necessidade de aquisição, têm resultado em dados alarmantes de geração de resíduos. Esse cenário é ainda mais agravado pelo crescimento populacional e pelo planejamento inadequado na gestão desses resíduos (LOPES; PERTEL, 2021).

Os resíduos sólidos são todos e qualquer material ou substância que, resultante de alguma atividade humana, foi descartada, que se encontra nos estados sólido, gasoso ou líquido, que não podem ser lançados direto em esgotos urbanos. Assim, entende-se que

são sobras que não serão utilizadas pelo indivíduo inicial, se tornando um subproduto que é visto como desnecessário para uso da atividade atual (BRASIL, 2010).

A geração e o acúmulo de RSU configuram um dos maiores desafios enfrentados pelos municípios em todo o Brasil. A complexidade desse problema está associada não apenas ao crescente volume de resíduos produzidos, mas também à necessidade de implementar políticas eficazes para seu gerenciamento. Muitos municípios ainda enfrentam dificuldades relacionadas à falta de informações precisas, escassez de recursos financeiros e deficiências em diretrizes normativas, fatores essenciais para a elaboração e execução dos Planos de Gestão de Resíduos Sólidos (LOPES; PERTEL, 2021).

Em 2022, o Brasil gerou aproximadamente 81,8 milhões de toneladas de RSU, o que corresponde a uma média diária de 224 mil toneladas. Esse volume indica que cada habitante produziu, em média, 1,043 kg de resíduos por dia (ABRELPE, 2022). As projeções indicam uma tendência de agravamento desse cenário. Estima-se que até o ano de 2050, os países mais desenvolvidos apresentem um aumento de 19% na geração desses RSU, enquanto os países de menor renda, poderão chegar a um aumento de 40% na produção desses resíduos (MASSUGA et. al., 2023).

A crescente produção dos resíduos sólidos urbanos tem gerado diversos problemas para a população em geral, causando doenças, prejudicando o meio ambiente e diminuindo a qualidade de vida. Pode-se citar como exemplo o ano de 2018, quando o Brasil gerou cerca de 80 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos. Desses, 92% foram coletados no local de produção, mas apenas 59,6% foram corretamente destinados aos aterros sanitários. (ABRELPE, 2025).

No Brasil, em média 2% de todos os RSU que são gerados seguem para cooperativas de triagem. Em comparação, países como a Alemanha destinam quase 68% dos seus resíduos para reciclagem ou compostagem. Quanto ao aproveitamento dos RSU para geração de energia, a Europa possui cerca de 500 instalações que transformam os resíduos em energia, enquanto no Brasil, em 2017 não existia nenhuma dessas instalações (SILVESTRE, 2022).

Com o aumento da população, proporcionalmente também se aumenta a quantidade de resíduos produzidos, o que resulta em uma poluição ambiental, que pode ser de ordem indireta ou direta. Esse cenário causa desequilíbrios no meio ambiente, afeta a saúde humana e interfere negativamente nos ecossistemas. (AMARE et. al., 2022).

Dessa forma, observa-se que a problemática dos Resíduos Sólidos Urbanos tende a se agravar, considerando as dificuldades enfrentadas para a reciclagem e reutilização desses materiais. Práticas inadequadas, como a mistura de resíduos diversos, o descarte em aterros sanitários ou lixões e a incineração a céu aberto, continuam a ser prevalentes. Além disso, há a escassez de espaços apropriados nas vias públicas para o descarte desses resíduos (MASSUGA, 2023).

É evidente que a raiz do problema encontra-se na mentalidade consumista de cada indivíduo, que muitas vezes não leva em conta a escolha de produtos e serviços que utilizem menos recursos naturais para sua produção, ou que sejam facilmente reaproveitados ou reciclados.

A reutilização e a reciclagem são conceitos diretamente ligados à gestão dos resíduos, sendo fundamentais para alcançar a sustentabilidade. Embora tenham abordagens distintas, ambos desempenham papéis essenciais na redução do impacto ambiental e no uso mais eficiente dos recursos. A reutilização consiste no uso repetido de um produto, após simples processos de limpeza ou lavagem, sem a necessidade de transformações complexas. Esse material pode ser reaproveitado na mesma função original ou em uma nova finalidade, sem alterar significativamente suas características

físicas ou químicas. Por outro lado, a reciclagem envolve a transformação de materiais descartados, permitindo seu reuso em novos produtos, seja para a mesma finalidade original ou para outras funções. Esse processo contribui para a economia de recursos naturais e para a diminuição do volume de resíduos destinados a aterros sanitários (OLIVEIRA, 2004).

De forma prática, a reutilização consiste em reaproveitar materiais que iriam para seu destino final, reinserindo-os no ciclo de produção. Um exemplo comum é o uso de garrafas pets que podem ser utilizadas para confecção de vasos. Da mesma forma, algo que não tem mais utilidade para uma pessoa, pode servir como matéria prima para outras finalidades. Outro exemplo, é a água usada na lavagem de roupas, que pode ser reutilizada para a limpeza de ambientes. A reutilização contribui tanto para a economia de recursos quanto para a redução dos impactos ambientais, pois diminui a extração de matéria-prima e o desperdício de recursos naturais na produção de novos bens de consumo (TELLES, 2022).

Nessa perspectiva, objetivou-se por meio desta pesquisa realizar uma revisão documental e bibliográfica para analisar a gestão dos resíduos urbanos na cidade de Garanhuns – PE, comparando os documentos municipais com as diretrizes estabelecidas na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa desenvolvida caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, voltada para a geração de conhecimentos com aplicação prática, direcionada à solução de problemas específicos e envolvendo contextos e interesses locais (PRODANOV; FREITAS, 2013). Neste caso, o objetivo foi analisar como o município de Garanhuns tem lidado com o problema do manejo dos resíduos sólidos à luz das diretrizes estabelecidas na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

Devido à necessidade de levantar informações sobre a gestão de resíduos na cidade de Garanhuns, esta pesquisa também se classifica como exploratória. Segundo Gil (2022), a pesquisa exploratória visa proporcionar maior familiaridade com o problema, buscando torná-lo mais explícito ou construir hipóteses. Esse tipo de pesquisa envolve levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado e análise de exemplos que favorecem a compreensão. Geralmente, assume as formas de Pesquisas Bibliográficas e Estudos de Caso.

Ademais, a pesquisa foi considerada descritiva, pois buscou registrar e descrever os fatos observados sem interferir neles (PRODANOV; FREITAS, 2013). Primeiramente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica que, segundo Gil (2022), consiste em uma investigação baseada em material já publicado, incluindo livros, artigos de periódicos e materiais disponibilizados na Internet.

Inicialmente, foi analisada a Política Nacional de Resíduos Sólidos, buscando compreender seus princípios, objetivos e diretrizes. Posteriormente, foram consultados documentos do acervo municipal relacionados à gestão de resíduos sólidos, com o objetivo de verificar se as políticas e práticas locais estavam alinhadas aos preceitos estabelecidos na legislação nacional.

O presente estudo também foi classificado como pesquisa documental. Nessa tipologia, os documentos são divididos em dois principais tipos: fontes de primeira mão e fontes de segunda mão. Essa abordagem permitiu uma análise detalhada dos documentos municipais e sua conformidade com as diretrizes da PNRS, alinhando-se ao objetivo central da pesquisa.

3. RESULTADOS

A reciclagem é um processo fundamental para o tratamento de Resíduos Sólidos (RS), envolvendo materiais como plástico, vidro, metal e papel, além de alguns rejeitos de origem orgânica. Esses resíduos podem ser destinados a diferentes processos, como aterro sanitário, incineração e biogestão, que também representam formas de reciclagem ao permitir o reaproveitamento de energia ou nutrientes (CAMPOS, 2021). Um exemplo clássico de reciclagem é o reaproveitamento de pneus. Em 2007, o país encontrou novas destinações para pneus usados que já não serviam ao seu propósito original. Esses pneus passaram a ser utilizados na construção de asfalto com borracha triturada, na fabricação de solas de calçados, tapetes para automóveis, diversos tipos de pisos, entre outras aplicações. (TELLES, 2022).

No entanto, o caminho para a reciclagem ainda enfrenta diversos obstáculos. Em alguns casos, o custo de reciclar determinados tipos de matéria-prima é mais alto do que o de extrair novos recursos da natureza. Além disso, a falta de uma gestão eficaz de resíduos, que assegure a destinação correta, o transporte e o manejo adequados, assim como a ausência de políticas públicas que apoiem e ofereçam incentivos financeiros, também dificultam o avanço desse processo. Dados indicam que apenas 13% de todo o resíduo urbano produzido no Brasil é destinado à reciclagem. Além disso, somente 16% dos municípios brasileiros possuem um sistema de coleta seletiva e, mesmo nesses locais, apenas 28% dos moradores são beneficiados por esse serviço (ROCHA; DIOGO; CALBINO, 2021).

Pesquisas recentes mostram que o índice de reciclagem em alguns países ainda é muito pequeno. Um estudo que foi realizado na região MENA (Médio Oriente e Norte da África) revelou que países como Egito, Argélia, Jordânia e Marrocos apresentam porcentagens de reciclagem inferiores a 2%. Nestes locais, o setor de metais ferrosos se destaca como o mais relevante e com maior quantidade de materiais reciclados (HEMIDAT. et. al., 2022).

Nas próprias indústrias, resíduos de diversos materiais como metal, papel, plástico e vidro já são reutilizados no próprio processo produtivo, servindo como matéria-prima para a fabricação de novos produtos, seja para fins semelhantes ou para seu uso original (REIS, 2022).

Após se esgotarem todas as formas de reciclagem e reutilização de um produto, o que resta desse processo é classificado como rejeito, definido, portanto, como material que já não tem mais nenhuma possibilidade de reaproveitamento, deve ser encaminhado para o destino correto (FRANÇA, 2015).

Os Resíduos Sólidos podem ser classificados de duas formas: pela sua origem e pela sua periculosidade. Em relação à origem, incluem-se resíduos de limpeza urbana, domiciliares, industriais, de estabelecimentos comerciais, de serviços de saneamento público, de saúde, da construção civil, de transportes, da mineração e dos sistemas agrossilvipastoris. Quanto à periculosidade, são categorizados como perigosos ou não perigosos (BRASIL, 2010). A dinâmica entre trabalho e produção na sociedade tem provocado a destruição de ecossistemas, uma vez que os recursos naturais são extraídos e transformados em produtos para o consumo humano. Ao retornarem à natureza como resíduos, esses materiais causam significativas poluições e degradações ambientais. Entre os impactos observados, destacam-se as mudanças climáticas, a extinção em massa de espécies, a alteração de habitats e diversos tipos de poluição, tanto terrestre quanto hídrica (COTEC PORTUGAL, 2020).

3.1 Política Nacional dos Resíduos Sólidos – PNRS

Após uma discussão de mais de 20 anos sobre a problemática dos RSU, em 2010, foi implantada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), por meio da lei nº 12.305/10. Essa legislação apresenta ferramentas significativas para promover o desenvolvimento do país em aspectos ambientais, econômicos e sociais, especialmente no que tange à gestão dos resíduos sólidos (BRASIL, 2025).

O objetivo principal da PNRS é estabelecer medidas para reduzir a geração de resíduos sólidos e incentivar o consumo consciente, promovendo o desenvolvimento sustentável. A lei também propõe ferramentas para estimular a reutilização e a reciclagem, além de apresentar soluções adequadas para o descarte de rejeitos.

Nesse sentido, a PNRS estabelece princípios, objetivos e instrumentos para a gestão eficiente dos resíduos sólidos, além de oferecer diretrizes que servem de base para que estados e municípios elaborem seus planos públicos de gerenciamento de resíduos. O não cumprimento dessas diretrizes pode resultar na suspensão de incentivos financeiros provenientes da União (SILVA; TAGLIAFERRO; OLIVEIRA, 2021).

A lei prevê a responsabilidade compartilhada entre geradores do poder público e estabelece uma ordem prioritária para manejo adequado de resíduos (Figura 1). com o objetivo de erradicar lixões e estabelecer instrumentos para os planos nacionais, estaduais e municipais. Também estabelece a forma que os municípios devem criar seus Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, desenvolvendo planos de acordo com suas realidades específicas. Na seção IV, que trata dos planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos, enfatiza-se que o acesso aos recursos da União destinados à limpeza urbana, incentivos ou financiamentos federais será priorizado para municípios que implementarem soluções intermunicipais para a gestão de resíduos, incluindo a elaboração e implementação de um plano intermunicipal. A lei especifica ações que devem ser incluídas nos planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos, destacando a coleta seletiva, especialmente por meio de cooperativas, associações de catadores ou outras organizações que empregam pessoas de baixa renda (BRASIL, 2010).



Figura 1 – Ordem prioritária no manejo de resíduos.
Fonte: Brasil (2010).

O PGRS, descrito na Seção V, define quem está sujeito à elaboração do plano, estabelecendo que todos os resíduos de origem urbana, incluindo os domiciliares e de

limpeza urbana, devem ser contemplados. O município é o responsável pela sua elaboração (BRASIL, 2010).

Dessa forma, esse plano deve conter requisitos mínimos, como a contextualização da atividade, a origem, o volume e a caracterização dos resíduos gerados, além de prever ações corretivas para o descarte inadequado. No âmbito da responsabilidade, o PNRS destaca que cabe ao poder público, ao setor empresarial e à coletividade obedecer e zelar pelas diretrizes da lei, instituindo a responsabilidade compartilhada por todo o ciclo de vida dos produtos.

3.2 Gerenciamento de resíduos sólidos no município de Garanhuns-PE

Atualmente a cidade de Garanhuns não possui um Plano de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos próprio da cidade, conforme recomendado pela PNRS. Em vez disso, o município utiliza o Plano Diretor Participativo, instrumento de política urbana e ambiental instituído em 2008. A seguir, será apresentada uma análise dos pontos em que os resíduos sólidos são tratados neste documento.

Na subseção III do Plano Diretor, que aborda a Política de Urbanização, Habitação e Regularização Fundiária, o inciso “g” menciona a implementação de infraestrutura de saneamento ambiental, incluindo a coleta e o tratamento de resíduos sólidos. O artigo 18, que regula a prestação de serviços públicos de saneamento, determina que o setor municipal deve criar um Programa Setorial de Saneamento Ambiental, abrangendo a coleta e o tratamento de resíduos sólidos. No capítulo III, sobre o ordenamento territorial, a coleta e o tratamento de resíduos sólidos são considerados parte da infraestrutura necessária para a execução da política urbana e ambiental do município (GARANHUNS, 2008). Observa-se, entretanto, que o Plano Diretor de Garanhuns não possui uma legislação específica e detalhada para o gerenciamento de resíduos sólidos, tratando apenas da necessidade de regulamentação.

Na lei Orgânica nº 2.436 do município, são abordadas as competências do município, a limpeza de vias e ruas públicas e a destinação correta de resíduos domiciliares e outros tipos de resíduos. Contudo, assim como no Plano Diretor, não estabelece diretrizes detalhadas para o gerenciamento de resíduos sólidos. (GARANHUNS, 1990)

O aterro sanitário de Garanhuns, está localizado na BR-424 - São Pedro (Figura 2), atende além de Garanhuns, mais seis municípios que são: Lagoa do Ouro, Capoeira, Caetés, São João, Brejão e Correntes. Em 2019, o aterro recebia em média 5.219 toneladas de resíduos sólidos anualmente. Em 2023, essa média já subiu para 6.721. Para aumentar a vida útil do aterro e atender às normas técnicas definidas pelos órgãos ambientais, uma nova célula de 1 hectare foi construída em 2019. Com essa modernização, Garanhuns buscava se qualificar para receber o ICMS Ecológico, conforme a Lei Estadual 11.899/00, que estabelece critérios para o repasse de verbas do ICMS para municípios que promovem a conservação ambiental e melhorias nos setores de educação e saúde (GARANHUNS, 2025). A seguir uma imagem da localização do atual aterro sanitário de Garanhuns.

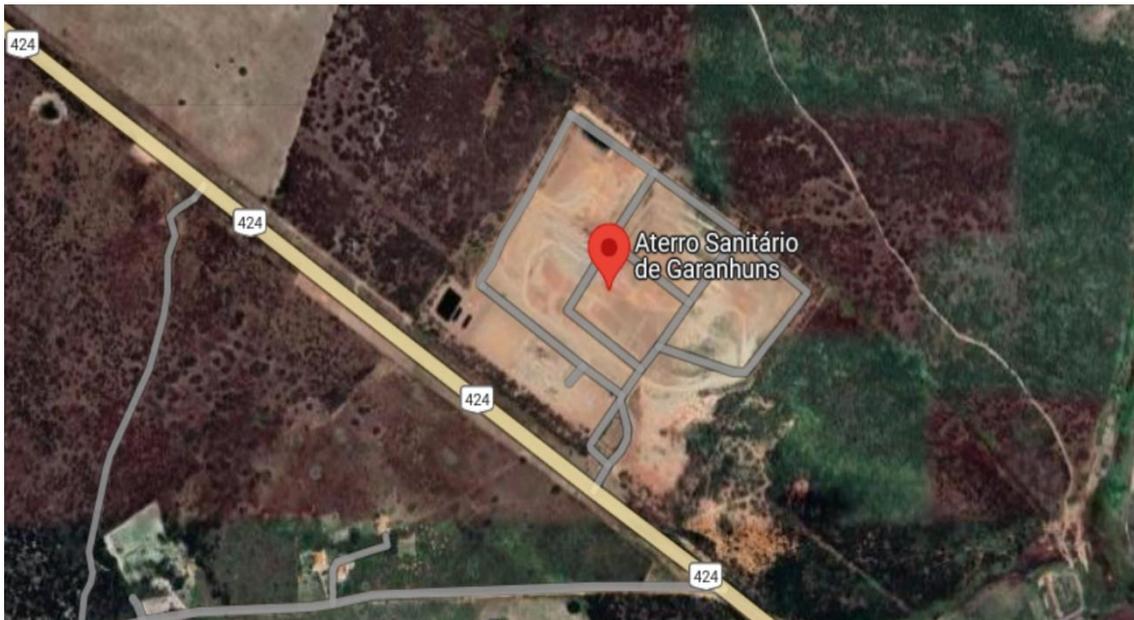


Figura 2 – Localização do aterro sanitário de Garanhuns – PE.
Fonte: Google Maps, 2025.

Os aterros sanitários podem ser conceituados como uma opção mais prática e de menor custo financeiro, para o descarte de RSU e de indústrias, sabendo-se também, que até alguns resíduos que poderiam ser reciclados, são dispostos nesses aterros. Levando em consideração que todo aterro possui uma vida útil de utilização, mais uma vez, pode-se perceber a importância dos planos de gerenciamento dos resíduos para um município. Os aterros sanitários são considerados uma opção mais prática e de menor custo financeiro para o descarte de resíduos sólidos urbanos e industriais. No entanto, é importante destacar que, em muitos casos, resíduos potencialmente recicláveis também acabam sendo destinados a esses aterros. Além disso, considerando que todo aterro possui uma vida útil limitada, reforça-se a relevância dos planos de gerenciamento de resíduos para a gestão municipal.

4. CONCLUSÃO

Atualmente, a cidade de Garanhuns não conta com um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PMGIRS) que atenda plenamente aos requisitos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Em função dessa lacuna, o município ainda utiliza seu Plano Diretor Participativo, elaborado em 2008, que, além de desatualizado, trata de forma limitada as questões relacionadas ao gerenciamento de resíduos sólidos.

Observa-se que Garanhuns enfrenta desafios significativos para se adequar plenamente às diretrizes estabelecidas pela PNRS. O primeiro passo essencial é a elaboração do PMGIRS, documento que permitirá diagnosticar a situação atual do município e nortear a implementação de soluções voltadas à preservação ambiental e à saúde pública, garantindo uma gestão mais eficiente dos resíduos sólidos urbanos.

Apesar de o município atender parcialmente a algumas exigências legais com a implantação do aterro sanitário, há a necessidade de avançar no cumprimento integral da legislação vigente. Nesse sentido, a criação de um centro de triagem, uma cooperativa ou

um centro de catadores é fundamental para garantir a destinação adequada dos resíduos, além de promover inclusão social e valorização do trabalho dos catadores.

Portanto, a elaboração do PMGIRS em Garanhuns é urgente e indispensável. Esse instrumento não apenas minimizará os principais problemas relacionados à gestão de resíduos, mas também assegurará o cumprimento das exigências legais e ambientais, contribuindo para um desenvolvimento urbano mais sustentável e inclusivo.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019**. Disponível em: <https://www.migalhas.com.br/arquivos/2020/1/492DD855EA0272_Panorama_Abrelpe_-2018_2019.pdf>. Acesso em: 22 de março de 2025.

ABRELPE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2022**, 2022.

AMARE, N.; AL-BHADLY, O.; BIRHAN, M.; HAMID, S.; MOHAMAD, A. The Practices of solid waste utility and thriving conditions of logistics (a case of Tepi Town): a study to treat the healthy environment. **Journal of Environmental and Public Health**, vol. 2022, p. 1-5, 2022.

BRASIL. **Política Nacional dos Resíduos sólidos (PNRS)**. Ministério do meio ambiente (MMA). Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos.html>. Acesso em: 22 de março de 2025.

BRASIL. Lei no 12.305 de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília: Presidência da República, Departamento da Casa Civil., 2010

CAMPOS, A. de; GOULART, V. D. G. **Rede Logística de Retorno (RLR)**. Disponível em: Minha Biblioteca, Editora Saraiva, 2021.

COTEC PORTUGAL. **Economia circular: Preservar, otimizar e assegurar recursos essenciais para o nosso futuro**. 2020. Disponível em: https://cotecportugal.pt/wp-content/uploads/2020/02/20161122_EC_Booklet_Exposi%C3%A7%C3%A3o-1.pdf. Acesso em 22 mar. 2025.

DE FRANÇA, E.; CHAVES, A.; DE SOUZA, S. Resíduos sólidos e a não transgressão da legislação ambiental: um estudo no município de Garanhuns-PE. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, p. 281-291, 2015.

GARANHUNS. Assessoria de Comunicação Social e Imprensa-(ACSI) (Org.). **Nova célula do aterro sanitário está sendo construída em Garanhuns**. 2019. Disponível em: <http://garanhuns.pe.gov.br/nova-celula-do-aterro-sanitario-esta-sendo-construida-em-garanhuns/>. Acesso em: 22 mar. 2025.

GARANHUNS. 2008. **Plano Diretor Participativo do Município de Garanhuns-PE**. Lei nº 3620 de 2008. Secretaria Planejamento. Garanhuns.

GARANHUNS. **Lei Orgânica de nº 2.436, de 04 de abril de 1990**. Lei Orgânica Do Município De Garanhuns. Garanhuns: Câmara Municipal, [1990].

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. Disponível em: Minha Biblioteca, (7th edição). Grupo GEN, 2022.

HEMIDAT, S.; ACHOURI, O.; EL FELS, L.; ELAGROUDY, S.; HAFIDI, M.; CHAOUKI, B.; AHMED, M.; HODGKINSON, I.; GUO, J. Solid Waste Management in the Context of a Circular Economy in the MENA Region. **Sustainability**. v. 14, n. 1, p. 480, 2022.

LOPES, A. B.; PERTEL, M. Alternativas para Redução do Impacto Ambiental Causado pelos Resíduos da Construção Civil. **NPPG: Boletim do Gerenciamento**, Rio de Janeiro, v.22, n. 22, p. 20-31, 2021.

MASSUGA, F. et al. **A Gestão Municipal dos Resíduos Sólidos Urbanos em um Município da Região Sudeste do Estado do Paraná: Implicações para a Sustentabilidade**. Revista de Administração, Ciências Contábeis e Sustentabilidade, 13, 2023.

OLIVEIRA, L. B. **Potencial de aproveitamento energético de lixo e de biodiesel de insumos residuais no Brasil**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico - Métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2 ed. – Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

REIS, S. S. M. **O papel da educação ambiental na gestão dos resíduos sólidos urbanos e resíduos de plástico - o caso da Cidade da Praia**. Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico de Bragança. Bragança, 2022.

ROCHA, S. R.; DIOGO, P. R.; CALBINO, D. **Limites e desafios das organizações de catadores: uma análise da ASMARE**. Interações. Campo Grande. 2021.

DE OLIVEIRA, I. S.; TAGLIAFERRO, E. R.; DE OLIVEIRA, A. J. Gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares no município de Jales–SP e sua relação para com a política nacional de resíduos sólidos (PNRS). **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 11475-11499, 2021.

SILVESTREIM, E. G.; RIVAS, A. A. F.; VIEIRA, M. R. S.; SANTANA, G. P. **A reciclagem dos resíduos plásticos de Manaus (AM): O caso das entidades de catadores**. Research, Society and Development, [S. l.], v. 11, n. 2, p. e45111225902, 2022.

TELLES, D. D. **Resíduos sólidos: gestão responsável e sustentável**. Disponível em: Minha Biblioteca, Editora Blucher, 2022.

GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM EMPREENDIMENTOS URBANOS COM O USO DE MODELAGEM

Glaudemir Santos Leite ¹, Ricardo Brauer Vigoderis ², Aymê Fernanda de Almeida Melo de Lima ², José Robson Alves Ferreira da Silva ², Taize Calvacante Santana ², Santana, Edivan Rodrigues da Silva ², Werônica Meira de Souza ²

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Recife-PE, e-mail:
glaudemirsantos88@gmail.com

²Universidade Federal do Agreste de Pernambuco – UFAPE, Garanhuns-PE

RESUMO

Avaliar o uso da tecnologia BIM na estimativa do RCC (Resíduo da construção civil) na fase de projeto de residências. Referencial O BIM (Building Information Modeling) tem sido considerada uma tecnologia essencial e vem adquirindo notoriedade no cenário mundial na área de gestão de resíduos de construção e demolição devido à sua compatibilidade com outras tecnologias avançadas. Se apresenta como uma alternativa viável para reduzir gastos e desperdícios nos conglomerados de construção por aumentar a transparência no ciclo de vida dos projetos para construção civil. No desenvolvimento deste estudo foi utilizada a estrutura metodológica com características de estudo de caso. O estudo foi classificado como descritivo em função da necessidade de levantar informações sobre indicadores de perda de matérias relacionadas ao RCC e métodos de utilização do BIM com a finalidade de estimar a quantidade de resíduos de construção civil. Quanto aos procedimentos metodológicos caracterizou-se como bibliográfico e de simulação. A modelagem BIM se mostrou eficiente em se fazer uma previsão inicial do volume de resíduos gerados na etapa de construção das unidades unifamiliares. Sendo assim, indiscutivelmente é uma ferramenta útil para engenheiros, técnicos e gestores para que se pense adequadamente na gestão de resíduos sólidos. Futuramente, é necessário que pesquisadores, representantes da sociedade civil, órgãos públicos e indústria se unam para que os empreendimentos imobiliários sejam implementados seguindo o tripé da sustentabilidade, como preconizam os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU.

PALAVRAS-CHAVE: BIM, Política Nacional de Resíduos Sólidos, Planejamento Urbano, Minha Casa Minha Vida

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, tem crescido a preocupação por transformar o globo terrestre em um local ambientalmente equilibrado. Nesse sentido, surgiram ações globais que refletem essa preocupação, como a Agenda 21 (BRASIL, 1992) e a Agenda 2030 (BRASIL, 2023). Elas têm em comum o fato de serem propostas para política se ações, em curto prazo, voltadas ao desenvolvimento humano em bases ambientalmente sustentáveis e no marco da promoção de direitos humanos. Esses instrumentos auxiliam o planejamento, desenvolvimento e construção de uma sociedade sustentável, o consumo e produção responsáveis, aliados à inovação e ao crescimento econômico. Paralelamente, ações que visam mitigar as mudanças climáticas ganham atenção e mobilizam a

sociedade. Ademais, a sustentabilidade tem se tornado o foco para o desenvolvimento de todas as nações. Um dos setores que mais gera impactos ao meio ambiente é a construção civil. Esse dos setores variados problemas em decorrência de sua atividade fim, tais como: uso maciço de recursos naturais, descarte incorreto, emissões de CO₂, mão de obra artesanal, evolução lenta e resistência às mudanças, indústria pouco mecanizada, dentre outros (TZORTZOPOULOS, 1999; PINTO, 1999). Dessa forma o setor da construção civil precisa explorar alternativas que diminuam esse impacto já na etapa de planejamento (WON; CHENG, 2017). Por outro lado, a construção civil representa um dos principais setores que ajudam no desenvolvimento econômico no Brasil. Em 2019, o setor foi responsável por 6,7 milhões de vagas de trabalho, ou seja, cerca de 7,3% de todos os empregos no país (MARCOCCI, 2020), além de ser responsável por 3,7% de todo Produto Interno Bruto (PIB) gerado no ano (DIEESE, 2022). O BIM (Building Information Modeling) tem sido considerada uma tecnologia essencial e vem adquirindo notoriedade no cenário mundial na área de gestão de resíduos de construção e demolição devido à sua compatibilidade com outras tecnologias avançadas (GUPTA, JHA & VYAS, 2020). Por exemplo, essa tecnologia oferece um grande potencial para fornecer informações de material de estoque para futuras atividades de demolição e gerência adequadamente as informações relacionadas à demolição (RAŠKOVIĆ et al., 2020). Também se apresenta como uma alternativa viável para reduzir gastos e desperdícios nos conglomerados de construção por aumentar a transparência no ciclo de vida dos projetos para construção civil. Oliveira (2020) afirma que dentre os benefícios do uso de tecnologia BIM pode-se incluir aprimoramento de simulação e análise, coordenação e comunicação para trabalho colaborativo, avaliação e gerenciamento de informações de ciclo de vida e projeto sustentável em todos os estágios que compõem o ciclo de vida do projeto. Apesar disso, o nível de implementação ainda não está difundido no setor da construção civil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no município de Garanhuns, que está situado na região Nordeste do Brasil, no Agreste Meridional de Pernambuco, entre as latitudes 08° 50' 0''S e longitude 36° 40' 0''W, englobando uma área total de 458,552km². Está localizado no Planalto da Borborema, onde se destaca a diferenciação do sistema climático de seu entorno. (Azambuja & Correia, 2015). No desenvolvimento desta pesquisa foi utilizada estrutura metodológica com características de estudo de caso, que segundo Gil (2022), consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou mais objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento. A pesquisa foi classificada em descritiva em função da necessidade de levantar informações sobre indicadores de perdas de matérias relacionadas ao resíduo de construção civil (RCC) e métodos de utilização do BIM com a finalidade de estimar a quantidade de resíduos de construção civil. Quanto aos procedimentos metodológicos a pesquisa caracterizou-se como bibliográfica e de simulação, devido à elaboração da revisão sistemática da literatura (RSL) seguindo as diretrizes propostas por Conforto, Amaral e Silva (2011), com o objetivo de buscar evidências na literatura que sirvam de base para o desenvolvimento do tema da pesquisa, e avaliar um procedimento para quantificar os RCC através de simulações, utilizando-se, para isso, um software BIM.

Uma vez apresentados os conceitos metodológicos e os procedimentos utilizados para a realização desta pesquisa, serão apresentados os passos que permitiram que a pesquisa fosse operacionalizada (Figura 1).

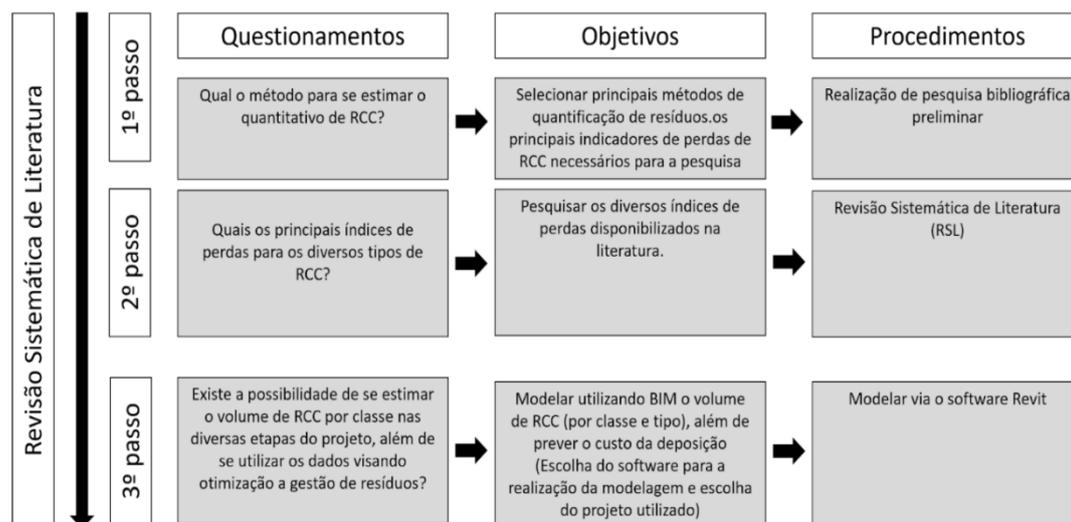


Figura 1 - Delineamento geral da pesquisa.

Uma vez levantados os índices de perdas, a estimativa de geração de resíduos foi obtida por meio da Equação 1. (MIARA, 2020):

$$W = P \times IP \quad (1)$$

Onde:

W = Quantidade de resíduos gerados (kg ou m³);

P = Quantidade de material especificado no projeto (kg ou m³);

IP = Índice de perdas dos materiais por atividade/aplicação em %

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como mostrado na Figura 1, a pergunta de pesquisa que conduziu à realização desta etapa foi: “Qual o método para se estimar o quantitativo de RCC?”. A partir daí, foi proposto o objetivo "Selecionar os principais métodos de quantificação de resíduos". Como explicado anteriormente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica por meio de uma revisão sistemática de literatura e foram selecionados 8 artigos que utilizaram em seus métodos a modelagem BIM para estimar os RCCs. Nos trabalhos selecionados foram utilizados métodos relacionados com a modelagem BIM, e outras informações relevantes como o software utilizado, além das suas aplicações e estágios do ciclo de vida do projeto. Dos oito artigos analisados, sete utilizaram o software Revit® como ferramenta para a realização de suas modelagens. Desta forma, para o desenvolvimento deste trabalho, o Software Revit® foi escolhido, porque além de oferecer as ferramentas necessárias é disponibilizada uma licença gratuita para estudantes. Após a escolha do software, o próximo passo foi responder ao questionamento: “Quais os principais índices de perdas para os diversos tipos de RCC?”, e como feito anteriormente traçou-se o seguinte objetivo específico: "Pesquisar os diversos índices de perdas na disponibilizados na literatura". Para tanto, foi realizado um levantamento bibliográfico preliminar e posteriormente da revisão sistemática da literatura. Nesta pesquisa buscou-se artigos que apresentaram em suas pesquisas índices de perdas de materiais relacionados ao Resíduo da construção Civil. Uma vez escolhido o empreendimento, o autor teve acesso a planta baixa da

unidade habitacional unifamiliar utilizada como modelo, formada por dois quartos, sala, cozinha, banheiro, pátio de serviço e garagem. De posse da planta baixa e de informações contidas no memorial, o modelo foi desenvolvido no software escolhido. Uma vez o projeto estando no software Revit®, o próximo passo foi gerar as tabelas com os quantitativos e áreas para os pisos e paredes, ambos confeccionados de concreto. As especificações podem ser visualizadas na Tabela 1.

Tabela 1. Elementos da unidade unifamiliar e suas especificações.

Elemento	Especificação
Pisos	Cerâmica esmaltada
Paredes	Parede de concreto revestida com gesso

Fonte: Elaborado pelo Autor

O software forneceu diretamente os parâmetros dimensionais para os materiais que compõem os pisos e as alvenarias. Os valores disponíveis referem-se às áreas do piso e parede e à família/tipo do material. Portanto, a estimativa da quantidade de resíduos ocorreu por meio da multiplicação do quantitativo apresentado pelo Revit® pelo índice de perdas definido previamente, conforme exposto na Equação 1 apresentada na metodologia. Tais valores foram exportados para o Google planilhas, assim como os índices de perdas encontrados na etapa anterior. Como o objetivo deste trabalho avaliar a funcionalidade do método, assim como fazer uma estimativa inicial, foram escolhidos, para tanto, os elementos confeccionados de concreto para estrutura. Ademais, para *Hernandes & Vilar (2004)* os materiais mais presentes nos entulhos extraídos de canteiros de obras foram aqueles pertencentes à Classe A (argamassa, concreto, solos, areia e cerâmica vermelha). Após a conclusão do processo de modelagem e extração dos dados necessários, foi acessada a planilha complementar para o procedimento dos cálculos. Os valores consolidados podem ser visualizados na Tabela 2. A classificação dos materiais que originam os resíduos teve como fundamentação os critérios estabelecidos pela Resolução CONAMA no 307/2002.

Tabela 2 - Quantificação dos materiais e estimativa da geração de resíduos para uma unidade unifamiliar.

Elemento construtivo	Material	Classificação	Quantidade de material incorporado à edificação	Estimativa da quantidade de resíduos
Serviço executado do qual são gerados os resíduos da construção (Categorias do modelo digital)	Especificação dos materiais requeridos para cada serviço ou Categoria	Classe do resíduo gerado conforme parâmetros estabelecidos pelo CONAMA (2002)	Quantidade de material necessário para execução do serviço	Quantidade prevista de resíduos gerados devido à execução do serviço da construção
Paredes (100mm)	concreto	A	8,976 m ³	0,809 m ³
Pisos (5mm)	concreto	A	2,845 m ³	0,256 m ³
Pisos (10mm)	concreto	A	5,319 m ³	0,479 m ³
Pisos (15mm)	concreto	A	20,432 m ³	1,839 m ³

Fonte: Elaborado pelos autores.

Estimativas automatizadas, rápidas e precisas também podem ser observadas nos estudos desenvolvidos por Oliveira et al. (2020) e Kim et al. (2017). Ambos usaram estratégias semelhantes às desenvolvidas neste trabalho, utilizando o Revit® para obter o quantitativo de materiais para a execução dos serviços. Segundo informação obtida junto à construtora, a proposta inicial era a construção de 533 casas. Desta forma, a estimativa da geração de resíduos para os elementos construtivos escolhidos se encontra na Tabela 3.

Tabela 3. Estimativa da geração de resíduos no processo de construção das unidades familiares.

Quantidade total de resíduos da Classe A	Número de unidades unifamiliares	Total
0,383 m ³	533	1.803,139 m ³

Fonte: Elaborado pelos autores.

Segundo Santos (2022), os resíduos da classe A deverão ser reutilizados ou reciclados na maneira de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos classe A de reservação de material para usos futuros. Porém, o município de Garanhuns ainda não possui um Plano de Gerenciamento dos resíduos sólidos próprio, o que não está de acordo com o que preconiza a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Caso não sigam as recomendações, poderão ficar sem incentivos financeiros advindos da União (SILVA et al., 2021). Apenas considerando dois elementos construtivos, infere-se que o valor de resíduo gerado é expressivo. Importante ressaltar que não foram levados em consideração nesse estudo os resíduos gerados nas etapas de terraplanagem, cortes, aterros, construção de áreas de lazer, pavimentação entre outros. Diante de todas as leis, resoluções e normas é evidente a preocupação atual com administração e destinação final dos resíduos provenientes da construção civil, no entanto, o ideal seria a diminuição dos resíduos na fonte geradora. O setor da construção civil, embora use elevadas quantidades de recursos naturais não renováveis, possui amplo potencial para reutilizar os resíduos produzidos nos canteiros de obras, por meio da incorporação dos rejeitos na confecção de novos materiais construtivos (KOCHEM & POSSAN, 2016). Desta forma, visando a diminuição dos resíduos da construção, a modelagem BIM se apresenta como uma ferramenta comprovadamente benéfica para a gestão de resíduos. Quando o BIM é utilizado para a redução de resíduos nas fases iniciais de um projeto, como de planejamento, design e até mesmo na gestão da construção, as mudanças são maiores que quando aplicado diretamente à operação da obra já construída, uma vez que os materiais excedentes vêm desde as fases preliminares (GNECCO, 2018). Liu et al. (2017) também propuseram um sistema BIM visando calcular automaticamente o potencial de geração de resíduos de uma obra, com a geração de gráficos, como o de setores, para que os projetistas pudessem avaliar as soluções de projeto mais viáveis econômica, técnica e ambientalmente.

4. CONCLUSÕES

A modelagem BIM se mostrou eficiente em se fazer uma previsão inicial do volume de resíduo gerado na etapa de construção das unidades unifamiliares. Sendo assim, indiscutivelmente é uma ferramenta útil para engenheiros, técnicos e gestores para que se pense adequadamente na gestão de resíduos sólidos. Futuramente, é necessário que pesquisadores, representantes da sociedade civil, órgãos públicos e indústria se unam para que os empreendimentos imobiliários sejam implementados seguindo o tripé da

sustentabilidade, como preconizam os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas (ODS/ONU).

REFERÊNCIAS

AZAMBUJA, R. N.; CORREIA, A. C. B. Geomorfologia e áreas de expansão urbana do município de Garanhuns-PE: Uma abordagem espaço-temporal dos eventos morfodinâmicos para o planejamento territorial. **Geo UERJ**, 27, 202-233, 2015.

BARROS, B. P. & HOCHLEITNER, H. D. **Criação de um plug-in aliado a tecnologia BIM para quantificação de resíduos de construção em uma habitação unifamiliar**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente –**Agenda 21 Global**. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global.html>>. Acesso em: 24 de setembro de 2022, 1992.

BRASIL. **Agenda 2030**. Disponível em: <https://www.idis.org.br/o-que-sao-ods-e-o-que-eles-tem-a-ver-com-impacto-social/?gclid=CjwKCAjwzuqgBhAcEiwAdj5dRlzeHf8RZ2rznu7Bh5V1QtyLfyOTgbnKTDcmdJzh1gY0QE6LbkAYAhOCNrUQAvD_BwE>. Acesso em: 22 de março de 2023, 2023.

CHENG, J. C. P. & LAUREN, Y. H. M. A BIM-Based System for Demolition and Renovation Waste Estimation and Planning. **Waste Manag.**, v. 33, n. 6, p. 1539-1551, 2013.

CONFORTO, E. C., AMARAL, D. C. & SILVA, L. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: Aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. In: Instituto de Gestão de Desenvolvimento do Produto, **Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto—CBGDP** (12p.). Porto Alegre: IBGDP, 2011.

DIEESE – Departamento Intersindical de Estatística e estudos socioeconômicos. **A construção Civil e os Trabalhadores: panorama dos anos recentes**. In: Estudos e pesquisas, nº 95 – 08 de julho de 2020. Disponível em <https://www.dieese.org.br/estudosepesquisas/2020/estPesq95trabconstrucaocivil/index.html?page=1>. Acesso em 19 de dezembro de 2022.

GNECCO, V. M. **BIM para gestão de resíduos na construção civil: estudo de caso na obra do CRAS do município de Biguaçu/SC**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. –Barueri: Atlas, 2022. 208p.

GUERRA, B. C., LEITE, F. & FAUST, K. M. 4D-BIM to enhance construction waste reuse and recycle planning: Case studies on concrete and drywall waste streams. **Waste Manage.** 116, 79-90. 2020.

GUERRA, B. C., BAKCHAN, A., LEITE, F. & FAUST, K. M. BIM-based Automated Construction Waste Estimation Algorithms: The case of Concrete and Drywall Waste Streams. **Waste Manage.** 87, 825-832. 2019.

GUPTA, S., JHA, K.N. & VYAS, G. Proposing building information modeling-based theoretical framework for construction and demolition waste management: strategies and tools. **Int. J. Construct. Manage.**, 1,1-11, 2020.

- LIU, Z., OSMANI, M., DEMIAN, P. & BALDWIN, A. A BIM-aided construction waste minimization framework. **Autom. Constr.**, 59, 1-23, 2015.
- KIM, Y. C., HONW, W. H., PARK, J. W. & CHA, G. W. An estimation framework for building information modelin (BIM)-based demolition waste by type. **Waste Manag. Res.**,35,1285-1295, 2017.
- KOCHEM, K. & POSSAN, E. Diagnóstico do Gerenciamento de Resíduo de Construção e Demolição nos 20 maiores Municípios Geradores do Estado do Paraná. In: **III SIMPÓSIO SOBRE SISTEMAS SUSTENTÁVEIS**, 2, 2016, Porto Alegre. Anais...Porto Alegre, 2016.
- HERNANDES, R. & VILAR, O. M. (2004). Utilização de resíduo de construção e demolição nas obras de ampliação e rebaixamento da calha do rio Tietê. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE JOVENS GEOTÉCNICOS**, 1., 2004, São Carlos. Anais [...]. São Carlos: EESC-USP/ABMS, 2004.
- MARCOCCI, C. **Construção Civil: a importância do setor no país e novas tecnologias para o seu desenvolvimento.** 2020. Disponível em: <<https://certificacaoiso.com.br/construcaocivil-a-importancia-do-setor-no-pais-e-novas-tecnologias-para-o-seu-desenvolvimento/>>. Acesso em: 07 de dezembro de 2022, 2020.
- MIARA, R. D. & SCHEER, S. S. Optimization of Construction Waste Management Through an Integrated Bim API. **Iberoam. J. Ind. Eng.**, v. 11, n. 22, p. 110-122, 2019.
- OLIVEIRA, F., MAUÉS, L. M. F., ROSA, C. C. N., SANTOS, D. G. & SEIXAS, R. M. Previsão da geração de resíduos na construção civil por meio da modelagem BIM. **Amb. Const.**, v. 20, n. 4, p. 157-176, 2020.
- PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.
- RASKOVIC, M., RAGOSSNIG, A.M., KONDRACKI, K. & RAGOSING-ANGST, M. Clean constructionand demolition waste material cycles through optimised pre-demolition waste audit documentation: A review on building material assessment tools.**Waste Manage. Res.**, v. 38, n. 9, p. 923-941, 2020.
- SANTOS, V. E. S., MELO, W. O. & FONTGALLAND, I. L. Políticas públicas como ferramentas da gestão ambiental dos resíduos da construção civil. **Braz. J. Anim. Environ. Res.**, v. 5, n. 4, p. 4159-4174. 2022.
- SILVA, I. O., TAGLIAFERRO, E. R. & OLIVEIRA, A. J. Gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares no município de Jales –SP e sua relação para com a política nacional de resíduos sólidos (PNRS). **Braz. J. Develop.**, v. 7, n. 1, p. 11475-11499, 2021.
- TZORTZOPOULOS, P. **Contribuições para o desenvolvimento de um modelo do processo de projeto de edificações em empresas construtoras incorporadoras de pequeno porte.** Dissertação de Mestrado em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999.
- WON, J. & CHENG, J. C. P. Identifying potential opportunities of building information modeling for construction and demolition waste management and minimization. **Aut. Constr.**, v. 79, p. 3-18, 2017.

POTENCIAL HIDROLÓGICO SUSTENTÁVEL DOS TELHADOS VERDES EM AMBIENTES URBANOS

Taize Calvacante Santana ¹, Cristiane Guiselini ², Ricardo Brauer Vigoderis ¹, Nicolay Farias Gomes ³, Aymê Fernanda de Almeida Melo de Lima ¹, José Robson Alves Ferreira da Silva ¹, Glaudemir Santos Leite ²

¹Universidade Federal do Agreste de Pernambuco – UFAPE, Garanhuns-PE,

²Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Recife-PE

³Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE/UAST, Serra Talhada-PE

RESUMO

O presente capítulo analisa o potencial hidrológico sustentável dos telhados verdes em áreas urbanas, a partir da avaliação da qualidade da água pluvial coletada em diferentes pontos de um sistema instalado na cidade de Recife-PE. Foram coletadas amostras nos pontos de chuva (CH), irrigação (IR) e drenagem (DR), e analisados parâmetros físico-químicos e microbiológicos, conforme os limites estabelecidos pela NBR 15527/2007. A água drenada apresentou os maiores valores de turbidez, condutividade elétrica, cor aparente e contagem de bactérias heterotróficas, indicando maior carga orgânica e presença de contaminantes. Já a água de chuva apresentou os menores valores médios para todos os parâmetros. A presença de coliformes totais e termotolerantes foi detectada em maior frequência nas amostras dos pontos IR e DR. Foi aplicada uma Análise de Componentes Principais (ACP), que permitiu identificar agrupamentos de variáveis e a correlação entre os pontos de coleta. Os resultados mostram que, embora a água proveniente dos telhados verdes possa ser uma fonte alternativa para usos não potáveis, é necessário o uso de sistemas de tratamento e monitoramento constante para garantir sua qualidade. Conclui-se que os telhados verdes contribuem para a sustentabilidade hídrica urbana, desde que integrados a critérios técnicos e ambientais adequados.

PALAVRAS-CHAVE: reaproveitamento hídrico, infraestrutura ecológica, gestão ambiental urbana.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado das áreas urbanas tem intensificado os desafios relacionados à gestão das águas pluviais, à impermeabilização do solo e à degradação da qualidade ambiental. Nesse contexto, os telhados verdes surgem como uma solução baseada na natureza que integra infraestrutura urbana e sustentabilidade hídrica, promovendo múltiplos benefícios ecológicos, sociais e econômicos. Entre suas principais funções, destacam-se a mitigação do escoamento superficial, a redução de ilhas de calor urbanas, o aumento da biodiversidade e a melhoria da qualidade da água pluvial.

Estudos recentes demonstram a eficácia dos telhados verdes na retenção e no retardamento do escoamento de águas pluviais. Em Lodz, na Polônia, por exemplo, a implantação de um telhado verde resultou em uma redução de até 91% no volume de escoamento, com variações positivas na carga de poluentes quando comparado a superfícies convencionais (SAKSON, 2023). De modo similar, Raimondi et al. (2020) desenvolveram um modelo analítico para estimar a performance de telhados verdes diante

de eventos pluviométricos consecutivos, confirmando sua capacidade de contribuir para o equilíbrio hidrológico urbano.

Além do controle do volume, a qualidade da água escoada a partir desses sistemas tem sido objeto de crescente atenção científica. Revisões recentes destacam que características como o tipo de vegetação, a profundidade do substrato e os materiais utilizados influenciam significativamente a carga de nutrientes e contaminantes na água coletada (SANTOS; MONTEIRO, 2022). Embora alguns estudos revelem concentrações elevadas de determinados poluentes como metais pesados e fósforo, a carga total costuma ser inferior àquela observada em telhados convencionais (SUCHERAN; SUCHERAN, 2021).

Avanços mais recentes incluem o conceito de telhados “blue-green”, que combinam vegetação e armazenamento de água, ampliando os benefícios já conhecidos da cobertura verde tradicional. Além de aumentar a capacidade de retenção hídrica, essas estruturas podem ser utilizadas para cultivo de alimentos em áreas urbanas, promovendo segurança alimentar e resiliência climática (MAI, 2022).

Dessa forma, este estudo busca apresentar e discutir os aspectos técnicos, hidrológicos e ambientais relacionados à qualidade da água pluvial proveniente de telhados verdes em ambientes urbanos. A partir da caracterização físico-química e microbiológica da água coletada em um sistema instalado na cidade do Recife/PE, pretende-se avaliar o potencial dessas estruturas como soluções sustentáveis de manejo hídrico e identificar seus desafios e oportunidades frente às necessidades das cidades tropicais brasileiras.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Edifício Garagem do Empresarial Charles Darwin, pertencente à construtora Rio Ave Empreendimentos, situado na cidade do Recife, estado de Pernambuco (latitude $-8,05^\circ$, longitude $-34,89^\circ$). A região apresenta clima tropical úmido (As'), segundo a classificação de Köppen-Geiger (SANTANA et al., 2022). A estação chuvosa concentra-se entre os meses de maio à agosto. A média anual de precipitação é de 2.204,3 mm, enquanto a temperatura média anual é de $25,9^\circ\text{C}$, com máximas de $29,5^\circ\text{C}$ e mínimas de $22,3^\circ\text{C}$. A umidade relativa média do ar é de 78,3% (INMET, 2019).

O sistema de telhado verde avaliado é classificado como extensivo, com área total de 2.800 m². A cobertura vegetal é composta por gramínea da espécie *Zoysia* japônica, estabelecida sobre um substrato de lodo de esgoto tratado, com espessura de 7,5 cm. A estrutura de drenagem é formada por uma camada de material granular reciclado, oriundo de resíduos de concreto, com 2,5 cm de espessura, encapsulada entre duas mantas geotêxteis (bidim) dispostas nas superfícies superior e inferior. A impermeabilização da laje é assegurada por manta asfáltica. O sistema dispõe de irrigação automatizada por aspersores escamoteáveis, com aplicação média diária de 9,2 mm de lâmina d'água, e reservatório com capacidade volumétrica de 380 m³, destinado ao armazenamento da água captada.

Foi realizada uma análise química do lodo de esgoto tratado utilizado como substrato no telhado verde, avaliando parâmetros físico-químicos, conforme metodologia do Standard Methods (APHA, 2017). As coletas da água foram realizadas em três pontos: chuva (CH), por meio de pluviômetro próximo à estação meteorológica; irrigação (IR), obtida de um reservatório com água drenada, residuária de ar-condicionado e abastecimento público; e drenagem (DR), coletada por torneira na tubulação hidráulica,

composta pela água da chuva e irrigação após percolação pelo telhado verde. Os parâmetros de qualidade das amostras foram comparados com os limites da NBR 15527 (ABNT, 2007) para usos não potáveis (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritos não potáveis.

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 mL
Cloro residual livre ^(a)	Mensal	0,5 a 3,0 mg.L ⁻¹
Turbidez	Mensal	< 2,0 uT ^(b) , para usos menos restritivos < 5,0 uT
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante, ou antes da sua utilização)	Mensal	< 15 uH ^(c)
Deve se ajustar o pH para a proteção das redes de distribuição, caso necessário	Mensal	pH de 6,0 a 8,0 no caso de aço carbono ou galvanizado

Fonte: NBR 15527 (2007). Nota: podem ser usados outros processos de desinfecção além do cloro a aplicação de raio ultravioleta e aplicação de ozônio. ^(a) no caso de serem usados compostos de cloro para desinfecção; ^(b) uT é a unidade de turbidez; ^(c) uH é a unidade Hazen.

Além dos parâmetros estabelecidos pela NBR 15527/2007, foram também analisados a condutividade elétrica (CE) e a contagem padrão de bactérias heterotróficas (BH) nas amostras coletadas.

Os dados experimentais foram submetidos à análise estatística descritiva, com cálculo da média, mediana e coeficiente de variação (CV). A classificação do CV seguiu a metodologia proposta por Warrick e Nielsen (1980), sendo categorizado como: baixo (CV < 12%), médio (12% ≤ CV < 24%) e alto (CV ≥ 24%).

Realizou-se uma Análise de Componentes Principais (ACP) considerando cinco variáveis e três pontos de coleta. A partir das componentes principais (CPs), foi calculada a matriz de covariância para extração dos autovalores, os quais deram origem aos respectivos autovetores. A identificação das variáveis correlacionadas foi feita com base no critério de Kaiser, que considera autovalores superiores a 1 como indicativos de componentes relevantes, por conterem uma proporção significativa da variância dos dados originais (KAISER, 1958).

Os índices pluviométricos utilizados foram obtidos por meio de uma estação meteorológica instalada no edifício garagem do Empresarial Charles Darwin, complementados com dados da base do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Todas as análises estatísticas foram conduzidas no software R, versão 3.6.1 (R Core Team, 2020).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta a comparação entre os índices de precipitação registrados durante o período experimental e a média histórica correspondente.

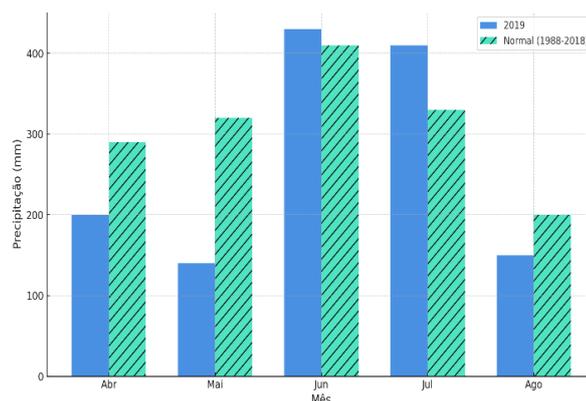


Figura 1. Precipitação mensal acumulada durante o período experimental (2019) e média histórica (1988–2018) para a cidade do Recife. Normal P: normal climatológica da precipitação para o período de referência (1988–2018). **Fonte:** Autor (2020).

Durante o período experimental, a precipitação pluviométrica acumulada totalizou 1.289,70 mm, representando uma redução de 16,15% em relação à média histórica do mesmo intervalo (1538,20 mm). Os meses de abril, maio e agosto registraram volumes inferiores à média, enquanto junho e julho apresentaram os maiores índices pluviométricos, com 412,40 mm e 406,30 mm, respectivamente. O mês de junho concentrou 31,5% do total precipitado no período, evidenciando seu destaque na sazonalidade local. Em contraste, agosto apresentou o menor volume de chuvas, com 133,50 mm, equivalente a apenas 10,35% da precipitação acumulada.

A caracterização química do lodo de esgoto tratado utilizado como substrato no telhado verde demonstrou conformidade com os limites máximos permitidos para aplicação agrícola, conforme estabelecido pela Resolução nº 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2006), em consonância com as diretrizes do Ministério do Meio Ambiente.

A Tabela 2 apresenta a estatística descritiva das análises de qualidade da água, incluindo média, desvio padrão (DP), coeficiente de variação (CV), valores mínimo, mediano e máximo. Observa-se que todas as variáveis apresentaram maiores médias no ponto de coleta de drenagem (DR), seguido pelos pontos de irrigação (IR) e chuva (CH). A contagem de bactérias heterotróficas (BH) foi elevada em todos os pontos (930 a 57.000 UFC/mL), com destaque para o ponto DR, cuja média alcançou 36.340 UFC/mL. Essas bactérias integram a microbiota aquática natural, e sua alta concentração está associada ao aumento de matéria orgânica na água (ARAUJO et al., 2015).

Tabela 2. Estatística descritiva das análises de qualidade da água nos 3 pontos de coleta.

Ponto de coleta	Variável	Média	DP	CV	Mínimo	Mediana	Máximo
Chuva	BH	10936.00	6085.00	55.64	930.00	12400.00	15800.00
	pH	5.32	0.33	6.25	5.01	5.14	5.78
	CA	3.23	1.29	40.08	1.20	3.40	4.80
	TBD	0.78	0.34	43.33	0.26	0.78	1.15
	CE	0.04	0.02	43.41	0.02	0.04	0.06
	CRL	0.08	0.05	59.57	0.04	0.06	0.15
Irrigação	BH	27450.00	19599.00	71.40	6700.00	27450.00	57000.00
	pH	6.47	0.34	5.31	6.00	6.50	6.90
	CA	24.88	12.88	51.79	15.40	17.90	45.20

	TBD	2.55	1.16	45.49	1.48	2.12	4.34
	CE	0.25	0.04	16.02	0.21	0.23	0.30
	CRL	0.11	0.05	43.60	0.06	0.10	0.16
Drenagem	BH	36340.00	19118.00	52.61	18700.00	27400.00	57000.00
	pH	7.32	0.29	3.95	7.04	7.20	7.65
	CA	82.80	25.10	30.36	44.50	100.00	100.00
	TBD	278.00	273.00	98.11	56.00	229.00	743.00
	CE	0.73	0.17	22.62	0.53	0.74	0.93
	CRL	0.73	0.17	22.62	0.53	0.74	0.93

Fonte: Autora. BH: Bactérias Heterotróficas (UFC mL⁻¹); pH: Potencial Hidrogeniônico; CA: Cor Aparente (uH); CRL: Cloro Residual Livre (mg L⁻¹); TBD: Turbidez (uT) e CE: Condutividade Elétrica (dS m⁻¹); DP: Desvio Padrão; CV: Coeficiente de Variação (%).

A qualidade da água coletada nos diferentes pontos de amostragem – chuva (CH), irrigação (IR) e drenagem (DR) – apresentou variações significativas em função das características intrínsecas a cada origem. Em geral, os valores mais elevados para os parâmetros analisados foram observados nas amostras de drenagem, seguidas por irrigação e chuva, respectivamente.

A contagem de bactérias heterotróficas (BH) apresentou concentrações elevadas, especialmente no ponto DR (média de 36.340 UFC/mL), indicando possível presença de matéria orgânica no sistema, conforme também observado por Araujo et al. (2015). Esses valores são consistentes com os achados de estudos recentes que relatam aumentos de carga biológica em águas drenadas de telhados verdes em função da decomposição de matéria orgânica no substrato (SÁ et al., 2022). O pH aumentou progressivamente de CH (5,32) para IR (6,47) e DR (7,32), sugerindo neutralização da água da chuva ácida pelo substrato, como também evidenciado por Lim, Segovia e Ziegler (2021), que relataram comportamento semelhante em telhados verdes tropicais.

A cor aparente (CA) e a turbidez (TBD) apresentaram maior concentração nas amostras de drenagem, indicando enriquecimento da água após percolação pelo substrato. A elevada turbidez (278 uT) pode estar associada à mobilização de partículas finas, potencializada pela atividade microbiológica do lodo de esgoto tratado, como discutido por Novotný et al. (2024). A condutividade elétrica (CE) também foi maior em DR (0,73 dS/m-1), reforçando a hipótese de lixiviação de sais e nutrientes do substrato. Estudos como os de Vavrinová et al. (2024) apontam que o uso de lodo de esgoto tratado, pode afetar a condutividade e a liberação de nutrientes na água drenada. O cloro residual livre (CRL), embora em concentrações baixas, foi superior em DR, o que pode indicar reações entre a matéria orgânica e compostos clorados presentes na água de irrigação (MARÍN; EL BACHAWATI; PÉREZ, 2023).

A avaliação dos parâmetros de qualidade da água nos três pontos de coleta chuva (CH), irrigação (IR) e drenagem (DR) revelou distintos níveis de conformidade com os limites estabelecidos pela NBR 15527/2007 para aproveitamento de água da chuva para fins não potáveis.

O pH apresentou médias de 5,32 (CH), 6,47 (IR) e 7,32 (DR). Somente os pontos IR e DR atenderam à faixa recomendada pela norma (6,0 a 8,0). A acidez da água de chuva (CH), inferior ao mínimo recomendado, é característica comum em precipitações atmosféricas, especialmente em regiões urbanas com presença de poluentes atmosféricos.

A cor aparente (CA) apresentou valores médios de 3,23 uH (CH), 24,88 uH (IR) e 82,80 uH (DR). A NBR 15527/2007 recomenda valores inferiores a 15 uH, sendo assim,

apenas a água de chuva esteve dentro do padrão. Os valores elevados nos pontos IR e, principalmente, DR, podem estar associados à presença de matéria orgânica dissolvida e partículas em suspensão oriundas do substrato do telhado verde.

A turbidez (TBD) também apresentou conformidade nos pontos CH (0,78 uT) e IR (2,55 uT), ambos abaixo do limite de 5 uT. No entanto, a água drenada (DR) apresentou níveis extremamente elevados (média de 278,00 uT), com picos de até 743,00 uT, refletindo significativa presença de sólidos em suspensão após a percolação da água pelo sistema construtivo do telhado verde. O cloro residual livre (CRL) permaneceu abaixo do limite normativo (0,5 a 3,0 mg·L⁻¹) em todos os pontos, o que é coerente, dado que não houve aplicação de desinfetantes à base de cloro neste estudo.

Esses achados indicam que, embora a água da chuva e da irrigação apresentem qualidade razoável para fins não potáveis, a água drenada demanda tratamentos complementares, sobretudo para controle da turbidez e cor, como reforçado por estudos recentes sobre qualidade da água em sistemas de telhado verde (LIM et al., 2021; SÁ et al., 2021).

Os resultados das análises microbiológicas revelaram a presença de coliformes totais e termotolerantes (*E. coli*) nas amostras de água coletadas nos pontos de irrigação (IR) e drenagem (DR), em quase todos os meses do período experimental. A água da chuva (CH), embora tenha apresentado ausência de *E. coli* em alguns períodos (abril, julho e agosto), também apresentou episódios de contaminação, evidenciando a variabilidade da qualidade microbiológica mesmo em águas pluviais. Estudos recentes reforçam esses achados. Segundo Bae et al. (2019), telhados verdes podem conter concentrações significativas de *E. coli*, *Legionella* e adenovírus, mesmo em instalações novas. A presença desses patógenos é influenciada por fatores como o tipo de cobertura, a vegetação e a exposição a excrementos de aves ou poeira atmosférica. No Brasil, Sá et al. (2021) também encontraram altos índices de coliformes termotolerantes em águas coletadas de telhados verdes, apesar de os demais parâmetros físico-químicos atenderem às normas. Eles reforçam que a desinfecção é indispensável para garantir segurança em usos não potáveis.

A ACP demonstrou que os dois primeiros componentes explicam 86,22% da variabilidade dos dados. A água de drenagem (DR) foi associada a maiores valores de pH, condutividade elétrica (CE) e cor aparente (CA), indicando maior carga de sais e matéria orgânica. A água de irrigação (IR) apresentou variabilidade intermediária, enquanto a água de chuva (CH) mostrou os menores valores nos parâmetros analisados, refletindo melhor qualidade (Figura 2).

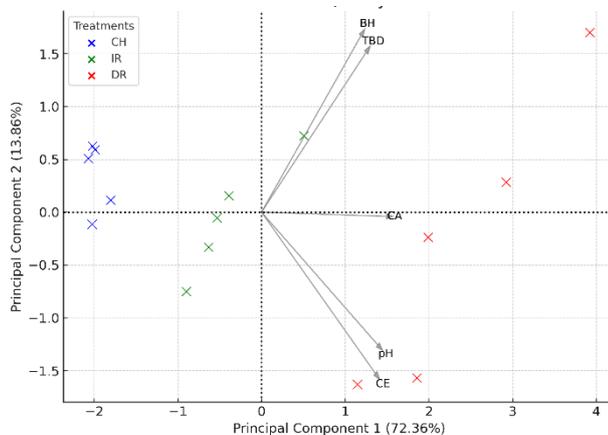


Figura 2. Componentes principais 1 e 2 referentes às correlações entre variáveis analisadas nos 3 pontos de coleta. CH: Chuva; IR: Irrigação e DR: Drenagem. **Fonte:** Autor (2020).

A análise evidenciou que o sistema de telhado verde influencia significativamente a qualidade da água, especialmente nos pontos de drenagem. Segundo Jati *et al.* (2024), a qualidade da água drenada depende fortemente do tipo de vegetação e do substrato utilizado, podendo reduzir ou agravar a contaminação por nitrogênio, fósforo e matéria orgânica, refletido na turbidez e condutividade. O agrupamento das variáveis BH e TBD junto aos pontos de drenagem indica maior presença de matéria orgânica e microrganismos, sugerindo processos de lixiviação e acúmulo no substrato, como também relatado por Buffam, Mitchell e Durtsche (2016), que apontaram variabilidade sazonal acentuada na liberação de nutrientes e microrganismos nos telhados verdes.

Assim, os resultados obtidos neste trabalho corroboram a literatura internacional, apontando a necessidade de medidas de tratamento e monitoramento contínuo para o uso seguro da água coletada em sistemas de telhado verde, mesmo quando destinada a fins não potáveis.

4. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo demonstram que os telhados verdes, além de contribuírem para a redução do escoamento superficial, também influenciam significativamente a qualidade da água coletada. Observou-se que a água de drenagem apresentou maiores concentrações de matéria orgânica, sólidos em suspensão e microrganismos, exigindo tratamentos complementares para uso não potável. A Análise de Componentes Principais reforçou que o tipo de cobertura vegetal e o substrato impactam diretamente nos parâmetros físico-químicos da água. Assim, os telhados verdes configuram-se como soluções promissoras para o manejo hídrico urbano, desde que acompanhados de monitoramento e estratégias de melhoria da qualidade da água.

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527: aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de Janeiro, **ABNT**, 2007.
- APHA. Standard methods for examination of water and wastewater. **American Public Health Association**, p. 1.1-9.215, 2017.
- ARAÚJO, F. V. de; VIEIRA, L.; JAYME, M. M. A.; NUNES, M. C.; CORTÊS, M. Avaliação da qualidade da água utilizada para irrigação na bacia do Córrego Sujo, Teresópolis, RJ. **Cadernos Saúde Coletiva**, v. 23, n. 4, p. 380–385, 2015.
- BAE, S.; MAESTRE, J. P.; KINNEY, K. A.; KIRISITS, M. J. An examination of the microbial community and occurrence of potential human pathogens in rainwater harvested from different roofing materials. **Water Research**, v. 159, p. 406–413, 2019.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). *Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006*. Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodo de esgoto gerado em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. **Diário Oficial da União: seção 1**, Brasília, DF, n. 169, p. 141–143, 2006.
- BUFFAM, I.; MITCHELL, M. E.; DURTSCHKE, R. D. Environmental drivers of seasonal variation in green roof runoff water quality. **Ecological Engineering**, v. 91, p. 506–514, 2016.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 16 jun. 2019.

JATI, A. C.; LUTHFI, A.; MAHENDRA, I. I. B.; PUWANTO, Y. A.; KURNIAWAN, A.; CHADIRIN, Y. Analysis of Rainwater and Runoff Water Quality on Vegetated and Unvegetated Green Roof. **BIO Web of Conferences**, v. 123, p. 04004, 2024.

KAISER, H. F. The Varimax Criterion for Analytic Rotation in Factor Analysis. **Psychometrika**, v. 23, n. 3, p. 187–200, 1958.

LIM, H. S.; SEGOVIA, E.; ZIEGLER, A. D. Water quality impacts of young green roofs in a tropical city: a case study from Singapore. **Blue-Green Systems**, v. 3, n. 1, p. 145–163, 2021.

MAI, K. V. Productive Blue-Green Roofs for Stormwater Management. **Green Energy and Environmental Technology**, v. 2022, p. 1–12, 2022.

MARÍN, C.; EL BACHAWATI, M.; PÉREZ, G. The impact of green roofs on urban runoff quality: A review. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 90, p. 128138, 2023.

NOVOTNÝ, M.; ŠÍPKA, M.; MIINO, M. C.; RAČEK, J.; CHORAZY, T.; PETREJE, M.; TOŠIĆ, I.; HLAVÍNEK, P.; MARKOVIĆ, M. Influence of different alternative organic substrates as fillings for green roofs on the quality of rainfall runoff. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 38, p. 101465, 2024.

R CORE TEAM. *R: a language and environment for statistical computing*. **Vienna: R Foundation for Statistical Computing**, 2020. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 18 mar. 2020.

RAIMONDI, A.; BECCIU, G.; SANFILIPPO, U.; MAMBRETTI, S. Green roof performance in sustainable cities. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, v. 243, p. 111–122, 2020.

SÁ, T. S. W.; NAJJAR, M. K.; HAMMAD, A. W. A.; VAZQUEZ, E.; HADDAD, A. Assessing rainwater quality treated via a green roof system. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 24, n. 2, p. 645–660, 2022.

SAKSON, G. Green roof impact on the quantity and quality of stormwater discharged from urban areas. **Journal of Water and Land Development**, v. 57, p. 91–97, 2023.

SANTANA, T. C.; GUISELINI, C.; CAVALCANTI, S. D. L.; SILVA, M. V. da; VIGODERIS, R. B.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; MORAES, A. S.; JARDIM, A. M. da R. F. Quality of rainwater drained by a green roof in the metropolitan region of Recife, Brazil. **Journal of Water Process Engineering**, v. 49, p. 102953, 2022.

SANTOS, C.; MONTEIRO, C. M. Green Roofs Influence on Stormwater Quantity and Quality: A Review. **Urban Green Spaces**, 2022.

SUCHERAN, A.; SUCHERAN, R. Green roofs and stormwater runoff quality in the urban landscape in South Africa/ **Appl. J. Envir. Eng. Sci.** v. 7, p. 176–196, 2021.

VAVRINCOVÁ, L.; PIPÍŠKA, M.; URBANOVÁ, J.; FRIŠTÁK, V.; HORNÍK, M.;

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physic properties in the field. **New York: Academic**, p. 655–675, 1980.

ORGANIZADORES

Valéria Fernandes de Oliveira Sousa

Possui graduação em Licenciatura Plena em Ciências Agrárias pela Universidade Estadual da Paraíba (2015), Mestrado em Horticultura Tropical pela Universidade Federal de Campina Grande (2017) e Doutorado em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba (2022). Tem experiência na área de Agronomia com destaque em Nutrição e Fisiologia Vegetal e desenvolve pesquisas que visam atenuação de estresses abióticos, dentre eles, déficit hídrico e salinidade em hortícolas.

João Manoel da Silva

Graduado em Agronomia - UFAL (2014) e Ciências Biológicas - UNICSUL (2021), Especialista em Docência na Educação Profissional - IFAL (2021) e Ecologia - Faculdade Metropolitana (2023), Mestre em Ciências (área de concentração Agricultura e Biodiversidade) - UFS (2016) e Doutor em Biotecnologia (Área de concentração em Biotecnologia Agropecuária) (Renorbio - UFAL) (2021). Tem experiência em Fitopatologia/Epidemiologia, Microbiologia, ecologia e bioquímica do solo, micologia e prospecção de micro-organismos de interesse agropecuário e industrial para desenvolvimento de bioprodutos de origem microbiana, Ciência do Solo, Ecologia Aplicada, Extensão Rural e Mudanças Sociais no campo e Agroecologia.

João Henrique Barbosa da Silva

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal da Paraíba (2022). Mestre (2024) e Doutorando em Agronomia (UFPB) na área de Agricultura Tropical, com linha de pesquisa em Ciência e Tecnologia da Produção de Culturas. Tem experiência e desenvolve pesquisas na área de Fitotecnia com foco na produção de grandes culturas e olerícolas.

Adriano Salviano Lopes

Possui graduação em Agroecologia pela Universidade Federal de Campina Grande (2018). Mestre em Agronomia na Universidade Federal da Paraíba (2022). Doutorando em Agronomia na Universidade Federal da Paraíba, foi aluno do programa de doutorado-sanduíche no Instituto Politécnico de Bragança (PT) (Bolsista CAPES-PDSE). Tem experiência na área de Agronomia com destaque em produção de olerícolas, nutrição, fisiologia vegetal, fitohormônio e tecnologia de sementes com ênfase em produção vegetal.

João Paulo de Oliveira Santos

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal da Paraíba (2017), Especialista em Desenvolvimento e Meio Ambiente pelo Instituto Federal da Paraíba (2023), Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2019) e Doutor em Agronomia (UFPB) (2023) na área de Agricultura Tropical, com linha de pesquisa em Ecologia, Manejo e Conservação de Recursos Naturais. Atua com pesquisas com foco em Produção Vegetal, Ecofisiologia, Gestão Ambiental e Recursos Hídricos.

editora
itacaiúnas[®]

