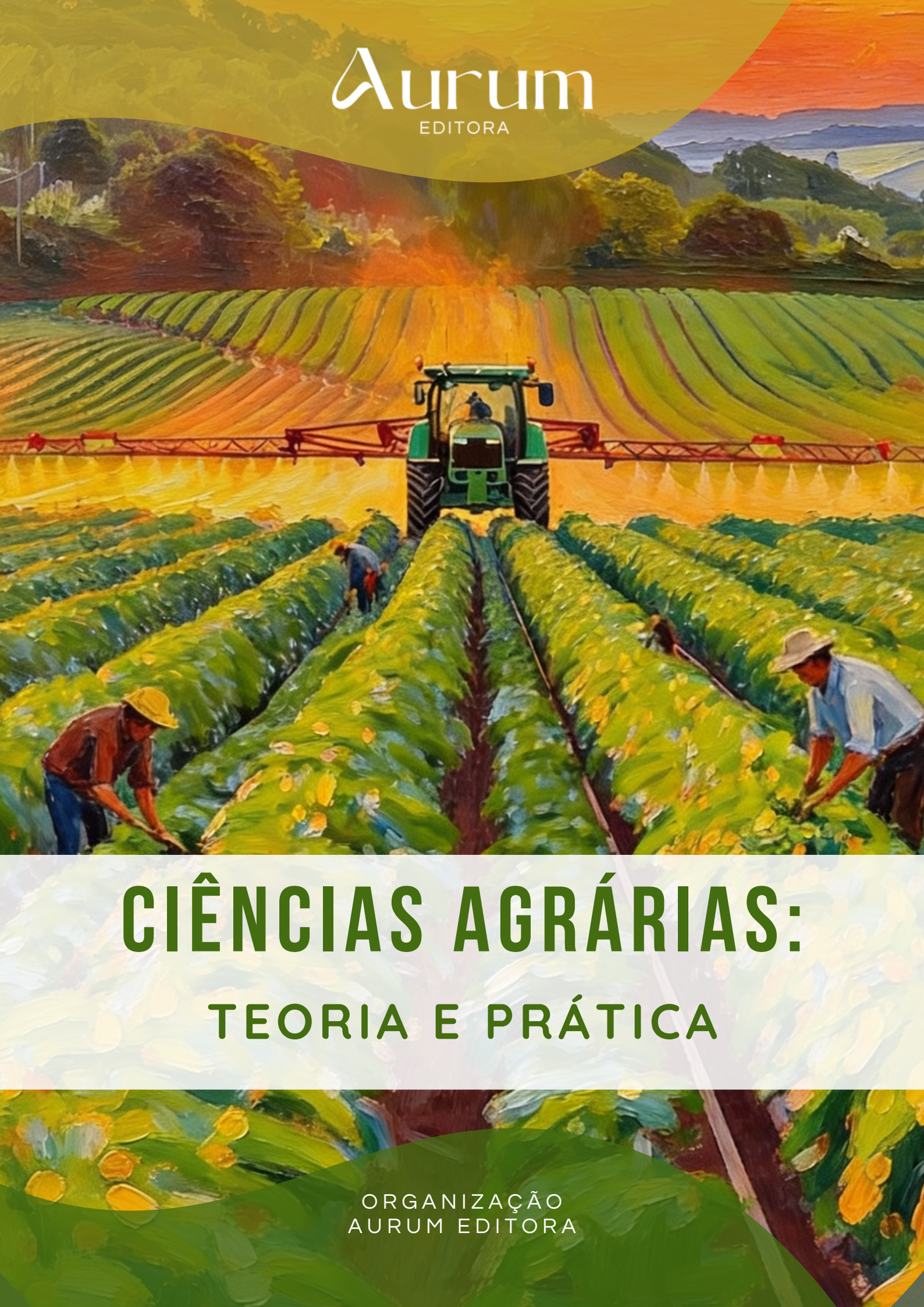




Aurum
EDITORA

CIÊNCIAS AGRÁRIAS:

TEORIA E PRÁTICA

ORGANIZAÇÃO
AURUM EDITORA



Aurum
EDITORA

CIÊNCIAS AGRÁRIAS:

TEORIA E PRÁTICA

ORGANIZAÇÃO
AURUM EDITORA

AURUM EDITORA LTDA - 2025
Curitiba – Paraná - Brasil

EDITOR CHEFE

Lucas Gabriel Vieira Ewers

ORGANIZADOR DO LIVRO

Aurum Editora Ltda

EDIÇÃO DE TEXTO

Stefanie Vitoria Garcia de Bastos

EDIÇÃO DE ARTE

Aurum Editora Ltda

IMAGENS DA CAPA

Freepik, Canva.

BIBLIOTECÁRIA

Aline Grazielle Benitez

ÁREA DE CONHECIMENTO

Ciências Agrárias

Copyright © Aurum Editora Ltda

Texto Copyright © 2025 Os Autores

Edição Copyright © 2025 Aurum Editora
Ltda



Este trabalho está licenciado sob uma
licença Creative Commons Attribution-
NonCommercial-NoDerivatives
4.0 International License.

A responsabilidade pelo conteúdo, precisão e veracidade dos dados apresentados neste texto é inteiramente do autor, não refletindo necessariamente a posição oficial da Editora. O trabalho pode ser baixado e compartilhado, desde que o crédito seja dado ao autor, mas não é permitida a modificação do conteúdo de qualquer forma ou seu uso para fins comerciais.

Todos os manuscritos passaram por uma avaliação cega por pares, realizada pelos membros do Conselho Editorial, e foram aprovados para publicação com base em critérios de imparcialidade e objetividade acadêmica.

A Aurum Editora se compromete a manter a integridade editorial em todas as fases do processo de publicação, prevenindo plágio, dados ou resultados fraudulentos, e assegurando que interesses financeiros não afetem os padrões éticos da publicação. Qualquer suspeita de má conduta científica será verificada com atenção aos princípios éticos e acadêmicos.

CORPO EDITORIAL

Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos - Doutor em Letras pela Universidade Federal da Paraíba

Adriano Rosa da Silva - Mestre em História Social pela Universidade Federal Fluminense

Alessandro Sathler Leal da Silva - Doutor em Educação pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Alex Lourenço dos Santos - Doutorando em Geografia pela Universidade Federal de Catalão

Alisson Vinicius Skroch de Araujo - Editor Independente - Graduado em Criminologia pelo Centro Universitário Curitiba

Alline Aparecida Pereira - Doutora em Psicologia pela Universidade Federal Fluminense

Allysson Barbosa Fernandes - Mestre em Comunicação, Linguagens e Cultura pela Universidade da Amazônia

Ayla de Jesus Moura - Mestra em Educação Física pela Universidade Federal do Vale do São Francisco

Blue Mariro - Doutorando em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Camila Aparecida da Silva Albach - Doutoranda em Ciências Sociais Aplicadas pela Universidade Estadual de Ponta Grossa

Carina Mandler Schmidmeier - Mestranda em Direito pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná

Carolline Nunes Lopes - Mestra em Psicologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro

Cristiane Sousa Santos - Mestra em Educação pela Universidade Estadual de Feira de Santana

Dandara Christine Alves de Amorim - Doutoranda em Direito pela Universidade do Oeste de Santa Catarina

Daniel da Rocha Silva - Mestre em Letras pela Universidade Federal de Sergipe

Daniel Rodrigues de Lima - Mestre em História pela Universidade Federal do Amazonas.

Edson Campos Furtado - Doutor em Psicologia - Área de Concentração: Estudos da Subjetividade pela Universidade Federal Fluminense, UFF, Brasil.

Elane da Silva Barbosa - Doutora em Educação pela Universidade Estadual do Ceará

Fabio José Antonio da Silva - Doutor em Educação Física pela Universidade Estadual de Londrina.

Fabricio do Nascimento Moreira - Doutorando em Administração pela Universidade Federal do Rio de Janeiro

Felipe Antônio da Silva - Graduado em Direito pelo Centro Universitário Unihorizontes

Felipe Martins Sousa - Mestrando em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal do Maranhão, UFMA, Brasil.

Francisco Welton Machado - Editor Independente - Graduado em Geografia pela Universidade Estadual do Piauí

Gabriela da Silva Dezidério - Doutoranda em Sociologia pela Universidade Federal Fluminense

Gabriella de Moraes - Doutora em Direito pela Universidade Federal de Minas Gerais

Gleyson Martins Magalhães Reymão - Mestre Profissional em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação pelo Instituto Federal do Pará

Gustavo Boni Minetto - Mestrando em Educação, Linguagens e Tecnologia pela Universidade Estadual de Goiás

Hygor Chaves da Silva - Doutorando em Ciência dos Materiais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, UFMS, Brasil.

Ítalo Rosário de Freitas - Doutorando em Biologia e Biotecnologia de Microrganismos pela Universidade Estadual de Santa Cruz

Itamar Victor de Lima Costa - Mestre em Desenvolvimento de Processos Ambientais pela Universidade Católica de Pernambuco

João Vitor Silva Almeida - Graduado em Gestão de Cooperativas pela Universidade Federal do Tocantins

José Bruno Martins Leão - Doutor em Sistema Constitucional de Garantia de Direitos pela Instituição Toledo de Ensino

José Cláudio da Silva Júnior - Mestrando em Ciências da Saúde pela Universidade de Pernambuco

José Leonardo Diniz de Melo Santos - Mestre em Educação, Culturas e Identidades pela Universidade Federal Rural de Pernambuco

José Marciel Araújo Porcino - Graduado em Pedagogia pela Universidade Federal da Paraíba, UFPB, Brasil.

José Neto de Oliveira Felipe - Doutorando em Ensino de Ciências Exatas - PPGECE - Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, UNIVATES, Brasil.

Júlio Panzera Gonçalves - Doutor em Ciências pela Universidade Federal de Minas Gerais

Luan Brenner da Costa - Editor Independente - Graduado em Enfermagem pela Fundação Herminio Ometto

Lucas Matheus Araujo Bicalho - Mestrando em Historia pela Universidade Estadual de Montes Claros, UNIMONTES, Brasil.

Lucas Pereira Gandra - Doutor em Educação em Ciências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Luciano Victor da Silva Santos - Mestrando em Hotelaria e Turismo pela Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Brasil.

Luís Paulo Souza e Souza - Doutor em Saúde Pública pela Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Brasil.

Luzia Eleonora Rohr Balaj - Doutoranda em Música pela Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

Magno Fernando Almeida Nazaré - Mestre em Educação Profissional e Tecnológica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão

Maickon Willian de Freitas - Mestre em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Maikon Luiz Mirkoski - Mestre Profissional em Matemática em Rede Nacional pela Universidade Estadual de Ponta Grossa

Mailson Moreira dos Santos Gama - Doutorando em História pela Universidade Federal de Minas Gerais

Marcela da Silva Melo - Mestre em Avaliação de Políticas Públicas pela Universidade Federal do Ceará

Marcos Scarpioni - Doutorando em Ciência da Religião pela Universidade Federal de Juiz de Fora

Marilha da Silva Bastos - Mestranda em Educação Brasileira pela Universidade Federal do Ceará

Mario Marcos Lopes - Doutorando em Educação pela Universidade Federal de São Carlos

Mateus Henrique Dias Guimarães - Mestre em Enfermagem na Atenção Primária à Saúde pela Universidade do Estado de Santa Catarina

Mirna Liz da Cruz - Editora Independente - Graduada em Odontologia pela Universidade Federal de Goiás

Newton Ataíde Meira - Mestrando em Desenvolvimento Social pela Universidade Estadual de Montes Claros

Osorio Vieira Borges Junior - Doutorando em História pela Universidade Federal de Minas Gerais

Pedro Carlos Refkalefsky Loureiro - Doutorando em Comunicação, Cultura e Amazônia pela Universidade Federal do Pará, UFPA, Brasil.

Plinio da Silva Andrade - Mestrando em Ciências da Educação pela Universidade Leonardo Da Vinci

Priscila da Silva de Souza Bertotti - Editora Independente - Graduada em Biomedicina pelo Centro Universitário UniOpet

Rafael José Kraisch - Doutorando em Neurociências pela Universidade Federal de Santa Catarina

Rita de Cássia de Almeida Rezende - Doutoranda em Educação pela Universidade Católica de Brasília

Rodrigo de Souza Pain - Doutor em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Rodrigo Oliveira Miranda - Doutor em Administração de Empresas pela Universidade de Fortaleza

Rogério de Melo Grillo - Doutor em Educação Física pela Universidade Estadual de Campinas

Ryan Dutra Rodrigues - Editor Independente - Graduado em Psicologia pelo Centro Universitário das Faculdades Metropolitanas Unidas

Salatíel Elias de Oliveira - Doutor em Apostilamento de Reconhecimento de Título pela Universidade do Oeste Paulista

Sebastião Lacerda de Lima Filho - Doutorando em Medicina Translacional pela Universidade Federal do Ceará

Silvio de Almeida Junior - Doutor em Promoção de Saúde pela Universidade de Franca

Swelen Freitas Gabarron Peralta - Doutoranda em Educação pela Universidade Tuiuti do Paraná

Talita Benedicta Santos Künast - Doutoranda em Biodiversidade e Biotecnologia pela Universidade Federal de Mato Grosso

Tályta Carine da Silva Saraiva - Mestra em Agronomia pela Universidade Federal do Piauí

Thiago Giordano de Souza Siqueira - Doutor em Ciência da Informação pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Thiago Silva Prado - Doutor em Educação pela Universidade Estadual de Maringá

Valquíria Velasco - Doutora em História Comparada pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Brasil.

Victor José Gumba Quibutamene - Mestrando em Letras pela Universidade Federal do Rio Grande, FURG, Brasil.

Vinicius Valim Pereira - Doutor em Zootecnia pela Universidade Estadual de Maringá, UEM, Brasil.

Wilson Moura - Doutor em Psicologia pela Christian Business School

Yohans de Oliveira Esteves - Doutor em Psicologia pela Universidade Salgado de Oliveira

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Ciências agrárias [livro eletrônico] : teoria e
prática / organização Aurum Editora. --
1. ed. -- Curitiba, PR : Aurum Editora, 2025.
PDF

Vários autores.
Bibliografia.
ISBN 978-65-83849-42-7

1. Ciências agrárias I. Editora Aurum.

25-326335.0

CDD-630

Índices para catálogo sistemático:

1. Ciências agrárias 630

Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

Aurum Editora Ltda
CNPJ: 589029480001-12
contato@aurumeditora.com
(41) 98792-9544
Curitiba - Paraná

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Aurum Editora DECLARA, para fins de direitos, obrigações e aspectos legais ou metodológicos, que:

Esta publicação representa apenas uma transferência temporária dos direitos autorais, conferindo o direito de publicação e reprodução dos materiais. A Editora não assume responsabilidade pela autoria dos manuscritos publicados, conforme as disposições da Lei de Direitos Autorais (Lei 9610/98), do art. 184 do Código Penal e do art. 927 do Código Civil. O(s) autor(es) são exclusivamente responsáveis por garantir a conformidade com as questões de direitos autorais e outros aspectos legais, isentando a Editora de quaisquer responsabilidades civis, administrativas ou criminais que possam ocorrer.

Autoriza-se a **DIVULGAÇÃO DO TRABALHO** pelo(s) autor(es) em palestras, cursos, eventos, programas de mídia e televisão, desde que o devido reconhecimento da autoria e edição seja dado, sem fins comerciais, e que os **CRÉDITOS** à Aurum Editora sejam devidamente apresentados. A omissão ou exclusão dessas informações será de responsabilidade do(s) autor(es) e da editora.

Todos os e-books são de acesso aberto, portanto, não devem ser vendidos em sites, plataformas de comércio eletrônico ou qualquer outro meio, seja virtual ou físico. Assim, não há transferência de direitos autorais para os autores, uma vez que o formato não gera outros direitos além dos usos didáticos e publicitários da obra, a qual pode ser acessada a qualquer momento.

Todos os membros do Conselho Editorial atuam de forma voluntária, sendo graduados ou pós-graduados em suas respectivas áreas.

A Aurum Editora não autoriza a venda ou compartilhamento dos nomes, e-mails e quaisquer outros dados pessoais dos autores, exceto para a divulgação desta obra, em conformidade com o Marco Civil da Internet, a Lei Geral de Proteção de Dados e a Constituição da República Federativa.

DECLARAÇÃO DO AUTOR

O autor deste trabalho DECLARA, para os fins seguintes, que:

Não possui nenhum interesse comercial que possa gerar conflito em relação ao conteúdo publicado;

Declara ter se envolvido ativamente na elaboração do manuscrito, preferencialmente nas seguintes etapas: Desenvolvimento do estudo, e/ou coleta de dados, e/ou análise e interpretação dos dados, redação do artigo ou revisão para garantir a relevância intelectual do material e aprovação final do manuscrito para envio;

Certifica que o texto publicado está completamente livre de dados falsificados ou resultados fraudulentos, bem como de falhas relacionadas à autoria;

Confirma que fez a citação correta e a devida referência a todos os dados e interpretações oriundas de outras pesquisas;

Reconhece que todas as fontes de financiamento que possam ter sido recebidas para a realização da pesquisa foram devidamente declaradas;

Autoriza a edição do trabalho, incluindo registros de catálogo, ISBN, DOI e outros indexadores, design gráfico e criação de capa, layout interno, além do lançamento e divulgação de acordo com os critérios estabelecidos pela Aurum Editora.

AUTORES

Alex Sandro Bezerra de Sousa
Aline Fernanda Souza Lima
Andrea Cecilia Broncano Maltese
Antônio José Plácido de Mello
Antônio José Plácido de Mello Junior
Beto Cherles Coral Rodrigues
Bianca Pazinato
Bruna de Jesus Souza
Bruno Henrique Figueiredo Saqueti
Calyne Bianca da Silva Lima
Carla Micaela Ripke Ferreira
Catharina Buranello
Cintia Stefhany Ripke Ferreira
Cristiane Matos da Silva
Damares dos Santos Sousa
Daniel Carlos Machado
Daniela Costa Batista
Daniele de Oliveira Lima
Deborah Heloise Fernandes Machado
Denilson Carvalho de Sousa
Elder Cunha Lira
Elinae da Silva Gomes
Emanuela Almeida Sobral
Equiton Lorengian Grégio
Evaldo dos Santos Felix
Gabrieli de França Tonhão
Graziele Oliveira da Silva
Guilherme Silva Rosa
Inacia dos Santos Moreira
Isadora Maria Melo Torres
Jackeline de Melo Carvalho

João Miguel Santos Dias
Jonathan dos Santos Viana
José Thyago Ayres Souza
Jucilene Silva Araújo
Julie Suzan da Silva
Kalyne Pereira Miranda Nascimento
Karyne Oliveira Coelho
Kele Sousa Pires Andrade
Lana Rouse Meneses Belizário
Laylles Costa Araújo
Leanne Teles Pereira
Lorrane Chagas Pereira
Luana Moraes Antonini
Lucas Eterno Francisco de Oliveira
Maria do Perpetuo Socorro Damasceno Costa
Mariany Cruz Alves da Silva
Marina Melliny Guimarães de Freitas
Marjorie Caroline Miura
Oscar Oliveira Santos
Patrícia Ferreira Cunha Sousa
Renato Pereira Lima
Ricardo Santana do Carmo
Rones Dias de Abreu
Ruth de Abreu Araújo
Silvanda de Melo Silva
Simone Maria Altoé Porto
Vanessa Nunes Andrér Lima
Victoria de Sousa Gaspar
Vitória Menezes Oliveira
Washington Benevenuto de Lima
Wilson Araújo da Silva

SUMÁRIO

Capítulo 1

ANÁLISE MULTITEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL NA APA SERRA DA MERUOCA (CE) POR MEIO DO ÍNDICE NDVI E IMAGENS SENTINEL-2

Calyne Bianca da Silva Lima, Denilson Carvalho de Sousa, Daniel Carlos Machado, Rones Dias de Abreu, Jackeline de Melo Carvalho, Leanne Teles Pereira, Ruth de Abreu Araújo, Wilson Araújo da Silva, Cristiane Matos da Silva, Patrícia Ferreira Cunha Sousa, Laylles Costa Araújo e Jonathan dos Santos Viana.

  <https://doi.org/10.63330/aurumpub.030-001>

1-10

Capítulo 2

PALMA COMO CULTURA ESTRATÉGICA DO SEMIÁRIDO: ORIGEM, ECOFISIOLOGIA, SISTEMAS DE PRODUÇÃO, MELHORAMENTO GENÉTICO E POTENCIAL ALIMENTÍCIO

Maria do Perpetuo Socorro Damasceno Costa, Daniela Costa Batista, Renato Pereira Lima, Evaldo dos Santos Felix, José Thyago Ayres Souza, Washington Benevenuto de Lima, Inacia dos Santos Moreira, Elder Cunha Lira e Jucilene Silva Araújo.

  <https://doi.org/10.63330/aurumpub.030-002>

11-29

Capítulo 3

QUALIDADE E TRANSLUCIDEZ DE INFRUTESCÊNCIAS DO ABACAXIZEIRO ‘PÉROLA’ CULTIVADO SOB ADUBAÇÃO NITROGENADA E POTÁSSICA

Renato Pereira Lima, Alex Sandro Bezerra de Sousa, Mariany Cruz Alves da Silva, Elder Cunha Lira, Maria do Perpetuo Socorro Damasceno Costa, Daniela Costa Batista, Evaldo dos Santos Felix, Jucilene Silva Araújo e Silvanda de Melo Silva.

  <https://doi.org/10.63330/aurumpub.030-003>

30-48

Capítulo 4

***Nigella sativa* L.: PRODUÇÃO AGRÁRIA, COMPOSTOS BIOATIVOS E APLICAÇÕES EM ALIMENTOS FUNCIONAIS COM ABORDAGEM DE EYE-TRACKING E EXPERIMENT BUILDER**

Elíenae da Silva Gomes, Andrea Cecilia Broncano Maltese, Bianca Pazinato, Deborah Heloíse Fernandes Machado, Gabrieli de França Tonhão, Isadora Maria Melo Torres, Julie Suzan da Silva, Luana Moraes Antonini e Simone Maria Altoé Porto.

  <https://doi.org/10.63330/aurumpub.030-004>

49-64

Capítulo 5

APLICAÇÕES BIOTECNOLÓGICAS E ALIMENTÍCIAS DO SORO DE LEITE

Lucas Eterno Francisco de Oliveira, Karyne Oliveira Coelho, Lana Rouse Meneses Belizário e Vitória Menezes Oliveira.

  <https://doi.org/10.63330/aurumpub.030-005>

65-74

Capítulo 6

DA REVOLUÇÃO VERDE À AGROECOLOGIA: DISPUTA DE PROJETOS E O FUTURO DA AGRICULTURA BRASILEIRA

Equiton Lorengian Grégio e Daniele de Oliveira Lima.

  <https://doi.org/10.63330/aurumpub.030-006>

75-84

Capítulo 7

CONSERVAÇÃO DA FAUNA SELVAGEM E MEDICINA VETERINÁRIA APLICADA

Beto Cherles Coral Rodrigues e Emanuela Almeida Sobral.

  <https://doi.org/10.63330/aurumpub.030-007>

85-91

Capítulo 8

INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE FIBRAS DE COCO (*Cocos nucifera* L.) NO DESEMPENHO MECÂNICO DE ADOBES

Dameres dos Santos Sousa, Grazielle Oliveira da Silva, Guilherme Silva Rosa, Kele Sousa Pires Andrade, Lorrane Chagas Pereira, Ricardo Santana do Carmo, Vanessa Nunes Andrér Lima, Daniel Carlos Machado, Wilson Araújo da Silva, Cristiane Matos da Silva, Laylles Costa Araújo, Leanne Teles Pereira, Kalyne Pereira Miranda Nascimento, João Miguel Santos Dias e Jonathan dos Santos Viana.

  <https://doi.org/10.63330/aurumpub.030-008>

92-103

Capítulo 9

CONTAMINA O EM AMBIENTES AQUÁTICOS E TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO

Bruna de Jesus Souza, Cintia Stefhany Ripke Ferreira, Marina Melliny Guimarães de Freitas, Bruno Henrique Figueiredo Saqueti, Catharina Buranello, Aline Fernanda Souza Lima, Carla Micaela Ripke Ferreira, Marjorie Caroline Miura, Victoria de Sousa Gaspar e Oscar Oliveira Santos.

  <https://doi.org/10.63330/aurumpub.030-009>

104-115

Capítulo 10

CONJUNTURA DA LEGISLA O BRASILEIRA PARA BIOINSUMOS ON FARM

Antônio José Plácido de Mello e Antônio José Plácido de Mello Junior.

  <https://doi.org/10.63330/aurumpub.030-010>

116-125

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL NA APA SERRA DA MERUOCA
(CE) POR MEIO DO ÍNDICE NDVI E IMAGENS SENTINEL-2**

**MULTITEMPORAL ANALYSIS OF VEGETATION COVER IN THE SERRA DA MERUOCA
APA (CE) USING THE NDVI INDEX AND SENTINEL-2 IMAGES**

 <https://doi.org/10.63330/aurumpub.030-001>

Calyne Bianca da Silva Lima

Graduanda em Engenharia Florestal
UEMASUL/CCA

E-mail: calyne.lima@uemasul.edu.br

Denilson Carvalho de Sousa

Graduando em Engenharia Agrônômica
UEMASUL/CCA

E-mail: denilsoncarvalho7@hotmail.com

Daniel Carlos Machado

Doutorando em Agronomia (Ciência do Solo)
UNESP/Campus Jaboticabal

E-mail: daniel.c.machado@unesp.br

Rones Dias de Abreu

Graduando em Geografia
UEMASUL/Amarante

E-mail: rones.abreu@uemasul.edu.br

Jackeline de Melo Carvalho

Graduanda em Geografia
UEMASUL/Amarante

E-mail: jackeline.carvalho@uemasul.edu.br

Leanne Teles Pereira

Mestre em Ciências Florestais e Ambientais
UEMASUL/CCA

E-mail: leanne.pereira@uemasul.edu.br

Ruth de Abreu Araújo

Doutora em Produção Vegetal
UEMASUL/CCA

E-mail: rutha.araujo@uemasul.edu.br

Wilson Araújo da Silva

Doutor em Agronomia
UEMASUL/Campus Imperatriz

E-mail: wilson@uemasul.edu.br

Cristiane Matos da Silva

Doutora em Ciência e Tecnologia Ambiental

UEMASUL/Campus Imperatriz

E-mail: cristiane.silva@uemasul.edu.br

Patrícia Ferreira Cunha Sousa

Doutora em Agronomia -Genética e Melhoramento de Plantas

UEAP/Campus Amapá

E-mail: patricia.sousa@uemasul.edu.br

Laylles Costa Araújo

Doutora em Zootecnia

UFRA/ Campus Capitão Poço

E-mail: laylles.araujo@ufra.edu.br

Jonathan dos Santos Viana

Doutor em Agronomia (Ciência do Solo)

UEMASUL/Campus Imperatriz

E-mail: jonathan.viana@uemasul.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4734-9843>

RESUMO

A aplicação de índices de vegetação derivados de sensoriamento remoto tem se destacado como ferramenta essencial para o monitoramento ambiental em Unidades de Conservação. Este trabalho analisou a variação espaço-temporal da cobertura vegetal na Área de Proteção Ambiental (APA) Serra da Meruoca-CE, entre os anos de 2021 e 2025, utilizando imagens do satélite Sentinel-2 e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). A análise quantitativa, realizada a partir de mapas de NDVI gerados no software QGIS, permitiu identificar mudanças significativas na densidade vegetativa. Os resultados indicam uma redução nas áreas classificadas como de alta densidade vegetal em 2025 quando comparadas a 2021. Tais alterações são potencialmente associadas a uma combinação de fatores, incluindo a variabilidade climática e pressões antrópicas, como o uso e ocupação do solo em setores da unidade. Conclui-se que o NDVI derivado de imagens Sentinel-2 constitui um indicador robusto e eficiente para o monitoramento contínuo da APA, reforçando a importância do sensoriamento remoto como subsídio para a gestão ambiental e tomada de decisão.

Palavras-chave: NDVI; Sentinel-2; Geoprocessamento; Área de proteção ambiental.

ABSTRACT

The application of vegetation indices derived from remote sensing has stood out as an essential tool for environmental monitoring in Conservation Units. This work analyzed the spatiotemporal variation of vegetation cover in the Serra da Meruoca Environmental Protection Area (APA-CE), between the years 2021 and 2025, using images from the Sentinel-2 satellite and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The quantitative analysis, performed from NDVI maps generated in the QGIS software, allowed to identify significant changes in vegetative density. The results indicate a reduction in areas classified as high vegetation density in 2025 when compared to 2021. Such changes are potentially associated with a combination of factors, including climatic variability and anthropogenic pressures, such as land use and occupation in sectors of the unit. It is concluded that the NDVI derived from Sentinel-2 images constitutes a robust and efficient indicator for the continuous monitoring of the APA, reinforcing the importance of remote sensing as a subsidy for environmental management and decision making.



Keywords: NDVI; Sentinel-2; Geoprocessing; Environmental protection area.

1 INTRODUÇÃO

A análise da cobertura vegetal por meio de índices espectrais constitui uma abordagem consolidada no campo do sensoriamento remoto e das geotecnologias. Sua proeminência advém da capacidade dos sensores orbitais em mensurar quantitativamente a resposta espectral da vegetação, permitindo o monitoramento de sua dinâmica temporal. Dentre estes, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) destaca-se como uma das métricas mais amplamente empregadas, em função de sua robusta sensibilidade para discriminar áreas com diferentes níveis de densidade de biomassa fotossinteticamente ativa. A eficácia do NDVI como indicador do vigor vegetativo foi corroborada por Silva Júnior et al. (2021), que demonstraram sua aplicabilidade em contextos de monitoramento ambiental.

A Área de Proteção Ambiental (APA) Serra da Meruoca, localizada na porção setentrional do estado do Ceará, configura-se como um enclave de exceção biogeográfica em meio ao domínio semiárido. Os condicionantes climáticos que governam a região foram investigados por Nascimento, Pinheiro e Sousa (2016), os quais evidenciaram o papel determinante do gradiente altimétrico na modulação de microclimas locais. Tais condições propiciam a ocorrência de fitofisionomias mais densas e úmidas em setores de maior altitude, em contraste com a matriz de vegetação xerófitica predominante no entorno.

Os fatores edáficos exercem, igualmente, um papel fundamental na dinâmica ecossistêmica da serra. Predominam na área solos litólicos, rasos e diretamente associados ao embasamento cristalino, o que impõe restrições à sua capacidade de retenção hídrica. Tal condição, analisada por Silva, Figueiredo e Souza (2024), foi correlacionada à variabilidade sazonal da resposta vegetativa, indicando que as limitações do perfil pedológico são um vetor explicativo para as flutuações fenológicas anuais.

Adicionalmente, a dinâmica da cobertura vegetal é influenciada por vetores de natureza socioantropológica. O uso e manejo de espécies nativas para fins alimentares, medicinais e de extração madeireira pelas comunidades locais, conforme documentado por Silva et al. (2024), introduz uma camada adicional de complexidade aos padrões observados. Essa interação histórica sociedade-natureza, embora não necessariamente sinônimo de degradação, constitui uma variável relevante na configuração da paisagem.

O monitoramento de tais dinâmicas complexas é viabilizado com elevada precisão espacial e temporal por meio de sensores como o *Multispectral Instrument* (MSI), a bordo da série de satélites Sentinel-2. A literatura recente, a exemplo de Tamasauskas et al. (2024), corrobora o elevado potencial desta plataforma para a detecção de alterações na cobertura e uso da terra. Paralelamente, a aplicação do NDVI em análises espaço-temporais tem sido validada em diversos biomas brasileiros, atestando sua robustez como ferramenta de monitoramento ambiental (TÔRRES SILVEIRA et al., 2022).

Neste contexto, o presente estudo objetiva quantificar e analisar a variação espaço-temporal do NDVI na APA Serra da Meruoca, utilizando uma série temporal de imagens do sensor Sentinel-2 para os

anos de 2021 e 2025. Busca-se, ainda, correlacionar as anomalias detectadas com potenciais vetores de mudança, sejam eles de natureza climática, edáfica ou antrópica, a fim de compreender as transformações em curso nesta importante unidade de conservação.

2 METODOLOGIA

2.1 ÁREA DE ESTUDO

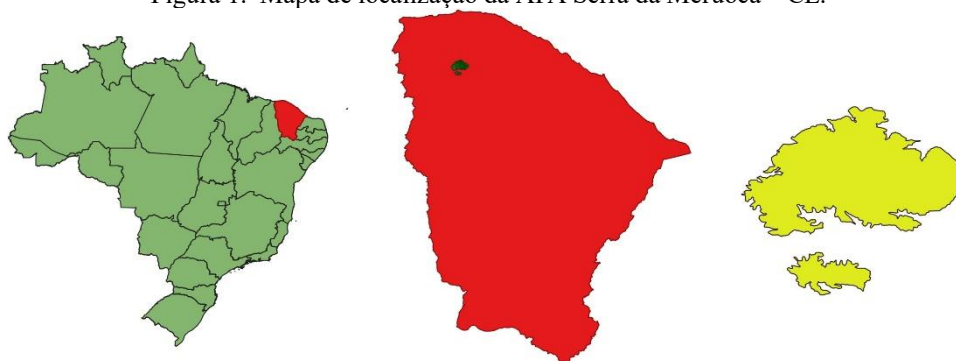
A APA Serra da Meruoca está localizada no noroeste do Ceará e integra o Maciço da Meruoca. A região possui altitudes elevadas que influenciam sua dinâmica climática. Essa influência, segundo Nascimento, Pinheiro e Sousa (2016), gera variações de temperatura e umidade que favorecem a presença de vegetação serrana e diferem significativamente do padrão semiárido circundante.

Os solos da área apresentam baixa profundidade e são desenvolvidos sobre o embasamento cristalino. Essa limitação edáfica dificulta a retenção de água no perfil do solo, como analisado por Silva, Figueiredo e Souza (2024). Esse fator é relevante para a interpretação das variações de NDVI observadas nas imagens utilizadas.

Quanto à vegetação, a serra é marcada por espécies utilizadas historicamente pelas comunidades rurais. Essa relação foi descrita por Silva et al. (2024), que destacam a importância do saber tradicional na utilização e manejo dessas plantas.

A APA Serra da Meruoca está situada no noroeste do Ceará e apresenta características geomorfológicas e climáticas próprias das formações serranas da região. A posição geográfica da área e seu contexto territorial podem ser observados no mapa de localização apresentado na Figura 1.

Figura 1. Mapa de localização da APA Serra da Meruoca – CE.



Fonte: Lima et al. (2025)

2.2 BASE DE DADOS

Foram utilizadas duas imagens Sentinel-2 MSI referentes aos anos de 2021 e 2025. Ambas foram selecionadas pela baixa presença de nuvens e qualidade das bandas espectrais necessárias ao cálculo do NDVI.

2.3 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

O processamento das imagens foi realizado no software QGIS. Primeiramente, foi realizado o recorte para o limite territorial da APA. Em seguida, as bandas espectrais foram organizadas para cálculo do NDVI, utilizando a fórmula:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Após cálculo, mapas temáticos foram produzidos para cada ano, permitindo a interpretação visual e estatística da cobertura vegetal.

2.4 CRITÉRIO DE INTERPRETAÇÃO

A análise dos dados considerou aspectos ambientais descritos na literatura. A resposta espectral da vegetação saudável foi fundamentada nas conclusões de Silva Júnior et al. (2021). O comportamento da vegetação em regiões semiáridas, que apresenta forte variação sazonal, foi interpretado à luz da análise feita por Tôrres Silveira et al. (2022). Fatores climáticos e atmosféricos da região serrana foram considerados conforme descrito por Nascimento, Pinheiro e Sousa (2016).

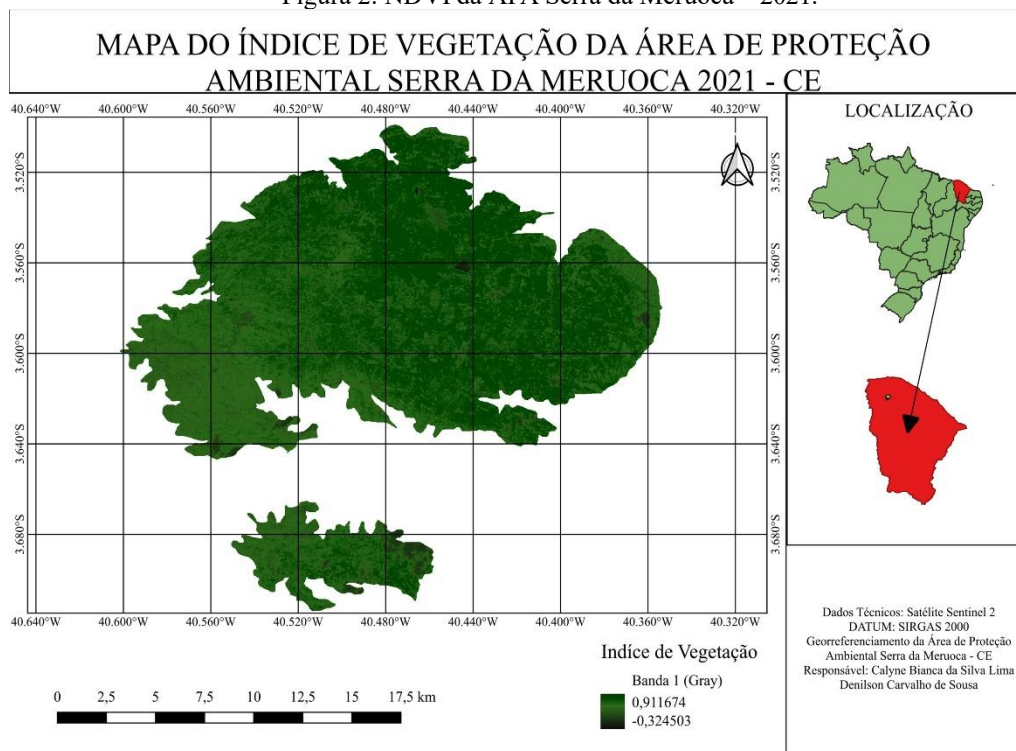
As características do solo que podem ter influenciado variações no vigor vegetativo foram examinadas com base em Silva, Figueiredo e Souza (2024). A interação das comunidades locais com a vegetação foi considerada conforme discutido por Silva et al. (2024). Por fim, o potencial tecnológico do Sentinel-2 na detecção de mudanças ambientais foi apoiado nas conclusões apresentadas por Tamasauskas et al. (2024).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CONDIÇÃO DA VEGETAÇÃO EM 2021

Os valores de NDVI obtidos para 2021 indicaram predominância de vegetação mais densa nas áreas de maior altitude, o que pode ser observado na Figura 2, que apresenta o mapa temático correspondente a esse ano. Esse comportamento está alinhado com a análise de Nascimento, Pinheiro e Sousa (2016), que destacaram o papel dos microclimas serranos na manutenção de vegetação mais vigorosa. A resposta espectral observada também condiz com os padrões de vegetação saudável discutidos por Silva Júnior et al. (2021).

Figura 2. NDVI da APA Serra da Meruoca – 2021.

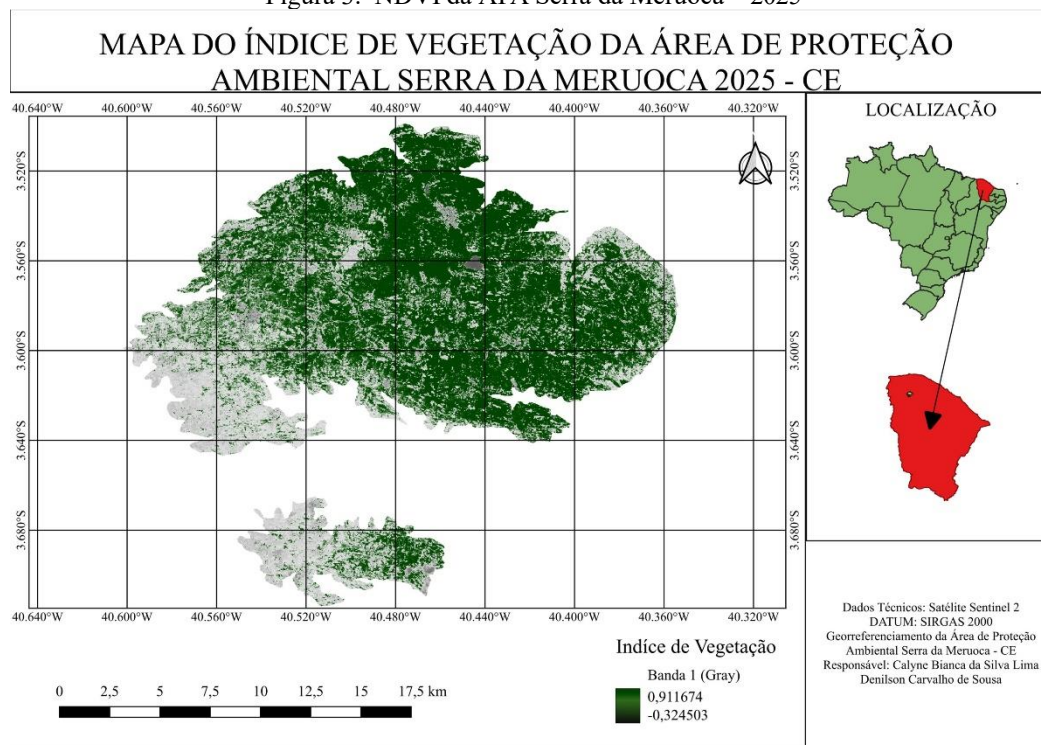


Fonte: Lima et al. (2025)

3.2 CONDIÇÃO DA VEGETAÇÃO NO PRIMEIRO SEMESTRE DE 2025

Em 2025, A distribuição dos valores de NDVI evidencia ampliação das áreas com vegetação rala e redução de regiões densamente vegetadas. Essa alteração é visualmente perceptível na Figura 3, que demonstra o comportamento do índice naquele ano. Essa mudança sugere uma possível redução no vigor da vegetação durante esse período. Parte dessa variação pode estar relacionada à limitação dos solos rasos, que possuem baixa capacidade de retenção hídrica, como discutido por Silva, Figueiredo e Souza (2024). A variação climática regional também pode ter influenciado a redução de vegetação densa, considerando que oscilações atmosféricas podem impactar diretamente o nível de umidade disponível na serra, conforme apontado por Nascimento, Pinheiro e Sousa (2016).

Figura 3. NDVI da APA Serra da Meruoca – 2025



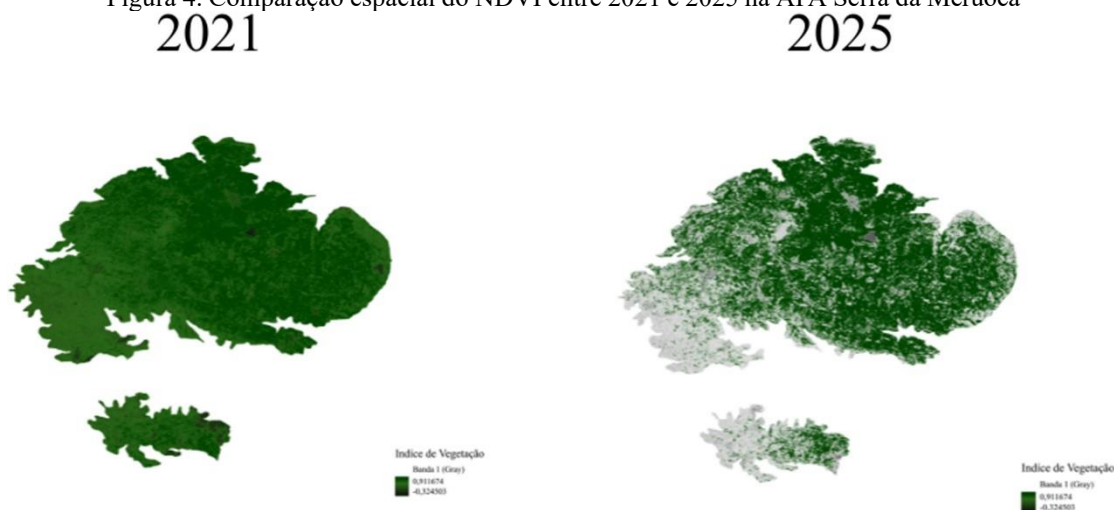
Fonte: Lima et al. (2025)

A interação humana com a vegetação, embora não predominante, pode exercer influência em algumas áreas. As práticas de coleta de espécies nativas descritas por Silva et al. (2024) podem, dependendo da intensidade, contribuir para alteração dos padrões vegetativos.

3.3 INTERPRETAÇÃO GERAL DAS MUDANÇAS

A variação temporal observada confirma que o NDVI é capaz de detectar alterações no vigor da vegetação ao longo do período analisado. Essa aplicabilidade é reforçada pelas observações de Silva Júnior et al. (2021), que destacaram a eficiência do índice para detectar mudanças mesmo em curtos intervalos temporais. A presença de declínio vegetativo em determinadas áreas também se aproxima de padrões identificados em regiões semiáridas, como discutido por Tôrres Silveira et al. (2022), que demonstram a forte influência da sazonalidade em mudanças no índice. A comparação entre os dois períodos analisados evidencia uma tendência de redução do vigor vegetativo em 2025 em relação a 2021. Essa diferença pode ser observada de forma integrada na Figura 4, que apresenta os dois mapas lado a lado.

Figura 4. Comparação espacial do NDVI entre 2021 e 2025 na APA Serra da Meruoca



Fonte: Lima et al. (2025)

3.4 RELEVÂNCIA TECNOLÓGICA E PERSPECTIVAS

A análise demonstrou que o Sentinel-2 é adequado para identificar variações sutis na cobertura vegetal da APA. Essa eficiência encontra respaldo no estudo de Tamasauskas et al. (2024), que evidenciaram o potencial tecnológico desse satélite para detecção de degradação ambiental. Tais avanços sugerem que futuros estudos podem incorporar métodos mais refinados, como redes neurais ou séries temporais mais amplas, visando maior compreensão da dinâmica ecológica da região.

4 CONCLUSÃO

A análise espaço-temporal do NDVI revelou tendência de redução do vigor vegetativo na APA Serra da Meruoca entre 2021 e 2025. Observou-se diminuição das áreas de vegetação densa e expansão das regiões com vegetação rala, indicando mudanças ambientais significativas no período analisado. A interpretação dos resultados mostra que fatores como clima, solo e práticas socioculturais locais desempenham papéis importantes na variação do índice. A capacidade do NDVI em captar essas mudanças confirma sua utilidade como ferramenta de monitoramento ambiental enquanto o uso de imagens Sentinel-2 reforça a importância das geotecnologias para compreender paisagens complexas, como a da serra.

Sugere-se que estudos futuros considerem séries temporais maiores, integração com variáveis meteorológicas e o uso de técnicas de inteligência artificial, ampliando a precisão e aplicabilidade das análises ambientais.

REFERÊNCIAS

- NASCIMENTO, E. B.; PINHEIRO, J. A. S.; SOUSA, F. J. A. Análise climática e biogeográfica da Serra do Rosário, Maciço Residual da Serra da Meruoca, Sobral, Ceará. *Revista Homem, Espaço e Tempo*, 2016. DOI: 10.21680/2447-3359.2016v2n0ID10516.
- SILVA, A. F. B.; FIGUEIREDO, M. F.; SOUZA, E. B. Os solos no contexto da paisagem da Serra da Meruoca, Ceará, Brasil. Zenodo, 2024. DOI: 10.5281/zenodo.12676617.
- SILVA JÚNIOR, U. J. et al. Sensibilidade espectral dos índices de vegetação: GNDVI, NDVI e EVI na mata ciliar do reservatório de Serrinha II – PE, Brasil. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 73, n. 1, p. 17–35, 2021. DOI: 10.14393/rbcv73n1-55252.
- SILVA, M. L. S. et al. Ethnobotany and non-formal education: building a teaching collection of native species used by the community of São Gonçalo – Meruoca – Ceará. 2024.
- TAMASAUSKAS, L. O. et al. Aplicação e otimização de redes neurais convolucionais para detecção de desmatamento em imagens de satélite Sentinel-2. *Anais ERIN*, 2024. DOI: 10.5753/erin.2024.4536.
- TÔRRES SILVEIRA, N. et al. Aplicação do NDVI para análise espaço-temporal da Bacia Hidrográfica do Rio Terra Nova – PE. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v. 3, n. 3, 2022.

PALMA COMO CULTURA ESTRATÉGICA DO SEMIÁRIDO: ORIGEM, ECOFISIOLOGIA, SISTEMAS DE PRODUÇÃO, MELHORAMENTO GENÉTICO E POTENCIAL ALIMENTÍCIO**FORAGE CACTUS AS A STRATEGIC CROP OF THE SEMI-ARID REGION: ORIGIN, ECOPHYSIOLOGY, PRODUCTION SYSTEMS, GENETIC IMPROVEMENT, AND FOOD POTENTIAL** <https://doi.org/10.63330/aurumpub.030-002>**Maria do Perpetuo Socorro Damasceno Costa**

Doutorado em Agronomia

E-mail: maria.damasceno@pesquisa.insa.gov.br

Daniela Batista da Costa

Doutorado em ciência do solo

E-mail: daniela.costa@pesquisa.insa.gov.br

Renato Pereira Lima

Doutorado em agronomia

E-mail: renato.lima@pesquisa.insa.gov.br

Evaldo dos Santos Felix

Mestre em ciência do solo

E-mail: evaldoengagro@gmail.com

José Thyago Ayres Souza

Doutorado em Agronomia

E-mail: thyago.agro@hotmail.com

Washington Benevenuto de Lima

Doutorado engenharia Agrícola

E-mail: washi_bene@yahoo.com.br

Inacia dos Santos Moreira

Doutorado engenharia agrícola

E-mail: inaciamoreira8@gmail.com

Elder Cunha Lira

Doutorado em ciência do solo

E-mail: elder.lira@hotmail.com

Jucilene Silva Araújo

Doutorado agronomia

E-mail: jucilene.araujo@insa.gov.br

RESUMO

A palma (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.), originária do México e amplamente adaptada a ambientes áridos, tornou-se uma das culturas mais importantes para o Semiárido brasileiro. Introduzida no país no século XIX, consolidou-se como fonte estratégica de alimento para os rebanhos devido ao alto teor de água dos cladódios, à elevada eficiência no uso da água (metabolismo CAM) e à capacidade de produzir mesmo sob seca severa. O Brasil possui a maior área cultivada do mundo, concentrada no Nordeste, onde diferentes cultivares apresentam elevada produtividade, boa palatabilidade e adaptação a condições de baixa pluviosidade. Nos últimos anos, avanços significativos ocorreram em melhoramento genético, manejo e ecofisiologia, com destaque para o desenvolvimento de cultivares resistentes à Cochonilha-do-carmim e para pesquisas conduzidas por instituições como o INSA. Paralelamente, cresce o interesse pela palma na alimentação humana, tanto pelo fruto (figo-da-índia) quanto pelos cladódios jovens, ricos em fibras, antioxidantes e compostos funcionais. Assim, a palma desponta como cultura estratégica para a segurança forrageira, alimentar e econômica do Semiárido, além de apresentar grande potencial para usos agroindustriais inovadores.

Palavras-chave: *Opuntia* spp.; Semiárido; Melhoramento genético; Segurança alimentar.

ABSTRACT

Cactus pear (*Opuntia* spp. and *Nopalea* spp.), native to Mexico and widely adapted to arid environments, has become one of the most important crops for the Brazilian Semi-Arid region. Introduced into the country in the nineteenth century, it has consolidated as a strategic feed source for livestock due to the high water content of its cladodes, high water-use efficiency (CAM metabolism), and capacity to produce even under severe drought conditions. Brazil has the largest cultivated area of cactus pear in the world, concentrated in the Northeast, where different cultivars show high productivity, good palatability, and adaptation to low rainfall conditions. In recent years, significant advances have been achieved in genetic improvement, crop management, and ecophysiology, particularly in the development of cultivars resistant to carmine cochineal and in research conducted by institutions such as the INSA. At the same time, interest in cactus pear for human consumption has increased, both for its fruit (prickly pear) and for young cladodes, which are rich in fiber, antioxidants, and functional compounds. Thus, cactus pear emerges as a strategic crop for forage, food, and economic security in the Semi-Arid region, with great potential for innovative agro-industrial applications.

Keywords: *Opuntia* spp.; Semi-Arid; Genetic improvement; Food security.

1 INTRODUÇÃO

1.1 ORIGEM, HISTÓRICO E ASPECTOS BOTÂNICOS DA PALMA

A palma é Originária do México, essa cultura tem se expandido para todo o continente americano também foi difundida pela Ásia, África, Europa e Oceania, adaptando-se a diferentes climas, sendo cultivada desde regiões áridas e semiáridas de todo o mundo. No mundo, existem 178 gêneros com 2.000 espécies distribuídas, mas os gêneros com maior importância econômica são o *Opuntia* e o *Nopalea* (MARQUES et al., 2017). No Brasil, a palma foi introduzida pelos portugueses na época da colonização, por volta de 1818, provavelmente trazida das ilhas Canárias para a cidade do Rio de Janeiro, visando a produção de corante vermelho produzido pela cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae*) que se desenvolvem em seus cladódios, usado na indústria (ROCHA, 2012).

A palma forrageira começou a ganhar destaque na região semiárida do Brasil a partir da década de 1980 (DOMINGUES, 2001). No entanto, em 2001, a palma forrageira foi infestada pela praga Cochonilha do Carmim (*Dactylopius opuntiae*) no semiárido nordestino, principalmente nos estados de Pernambuco e Paraíba. Isso resultou na devastação de diversas áreas de palma gigante, a variedade mais difundida e suscetível ao ataque da praga (MENEZES et al, 2005). Como consequência, houve insegurança na oferta forrageira e o descarte de animais, além da redução na produção de leite, carne e derivados. Após o declínio da produção da palma foram criados diversos programas e projetos com o objetivo de promover o cultivo da palma forrageira e melhorar sua produtividade e qualidade (EMBRAPA, 2015).

Recentemente, o Instituto Nacional do Semiárido (INSA) desenvolveu um projeto de revitalização da cultura da palma forrageira através da divulgação, pesquisa e inovação utilizando variedades resistentes à Cochonilha do Carmim. O projeto contemplou a implantação de 26 campos de pesquisa com essas variedades, visando restabelecer áreas de cultivo da palma e melhorar a produtividade da cultura na região. Além disso, O INSA com parceiras de outras instituições vem desenvolvendo projetos de pesquisa relacionados à palma forrageira, como melhoramento de palma forrageira visando a resistência de pragas e doenças, nutrição de plantas com o objetivo de desenvolver a tabela de recomendação de adubação mineral desta cultura. Esta instituição promove a capacitação de produtores e técnicos da área, visando disseminar boas práticas e tecnologias para o cultivo da palma na região. Essas ações têm contribuído para que a palma forrageira se mantenha como uma cultura importante e viável para o semiárido brasileiro, proporcionando uma alternativa econômica e sustentável para os produtores rurais da região.

A palma pertence à divisão Embryophyta, subdivisão Angiospermea, classe Dicotyledoneae, subclasse Archiclamideae, ordem Opuntiales e família das Cactáceas (SCHEINVAR, 2001). Botanicamente, estas plantas apresentam cladódios achatados e suculentos, responsáveis pela fotossíntese e armazenamento de água; espinhos e gloquídeos cuja densidade varia entre espécies; flores vistosas em

tons de amarelo, laranja ou vermelho; e frutos do tipo baga, popularmente conhecidos como figo-da-índia (INGLESE et al., 2005; FEUGANG et al., 2006).

2 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

A palma é central para a sustentabilidade da pecuária do Semiárido brasileiro, principalmente em sistemas de base familiar, devido ao alto teor de água dos cladódios (cerca de 85–90%) e ao seu papel como volumoso succulento, capaz de reduzir a necessidade de oferta de água animais e de garantir alimento em períodos críticos (SILVA et al., 2025a). Ensaios nutricionais apontam que a inclusão de palma em dietas de ovinos, caprinos e bovinos, associada a volumosos fibrosos (fenos, silagens, pastagens nativas), melhora o consumo voluntário, a digestibilidade de dietas à base de volumosos de menor qualidade e o desempenho produtivo e reprodutivo, além de aumentar a eficiência no uso da água (TEGEGNE et al., 2007., ANDRADE-MONTEMAYOR et al., 2011., DUTRA et al., 2024, TORQUATO et al., 2025).

Do ponto de vista econômico, a palma atua como um verdadeiro “seguro forrageiro”, permitindo a manutenção de rebanhos durante secas prolongadas e evitando a venda forçada de animais em momentos de colapso de outros recursos forrageiros. Em anos de pluviosidade próxima à média, a cultura cumpre função complementar; em anos de estiagem severa, torna-se, em muitas propriedades, o único volumoso disponível em quantidade suficiente (OLIVEIRA et al., 2010).

No contexto da alimentação humana, tanto os frutos quanto os cladódios jovens das espécies *Opuntia* spp. e *Nopalea* spp. têm sido amplamente utilizados. O fruto, conhecido no Brasil como figo-da-índia, pode ser consumido in natura ou processado, apresentando sabor doce-acidulado, elevada succulência e composição nutricional rica em vitaminas e minerais. Sua polpa contém entre 84% e 90% de água, açúcares redutores (10%–17%), proteínas (0,2%–1,6%), lipídios (0,09%–0,7%), fibras (0,2%–3,1%), cinzas (0,3%–1,0%) e baixo valor calórico, cerca de 50 kcal/100 g. Compostos orgânicos como ácidos cítrico e málico também são presentes, contribuindo para o sabor característico e a estabilidade bioquímica do fruto (SAPATA et al., 2018).

A composição mineral é igualmente expressiva, com destaque para cálcio (13–59 mg/100 g), fósforo (15–33 mg/100 g), magnésio (16–98 mg/100 g), potássio (90–217 mg/100 g), ferro (0,4–1,5 mg/100 g) e sódio (0,6–1,1 mg/100 g). Vitaminas do complexo C variam entre 20 e 80 mg/100 g, enquanto a vitamina A, na forma de β -caroteno, atinge até 0,53 mg/100 g (GALDINO et al., 2016). O fruto também é reconhecido por seu rico perfil fitoquímico, contendo flavonoides (quercetina, isoramnetina), betalaínas e outros antioxidantes associados à redução do estresse oxidativo, à melhora da resposta imune e à regulação metabólica (ROJAS et al., 2018; SILVA et al., 2024).

O crescente interesse pelo figo-da-índia tem impulsionado estudos voltados à valorização socioeconômica e à expansão do seu mercado. No cenário internacional, o fruto é considerado exótico e de

alto potencial comercial, especialmente nos setores de alimentos funcionais e fitoterápicos (FEUGANG et al., 2006; BARBA et al., 2017). Entretanto, a vida útil pós-colheita é relativamente curta — normalmente entre três e quatro semanas o que limita sua comercialização in natura. Assim, o processamento agroindustrial torna-se fundamental para ampliar o aproveitamento, reduzir perdas e agregar valor, permitindo a produção de polpas, geleias, doces, vinagres, licores, corantes naturais e produtos de maior tempo de prateleira e menor custo logístico (MARTINS et al., 2023; APARICIO-ORTUÑO et al., 2024).

Além dos frutos, os cladódios jovens, conhecidos como brotos ou *nopalito*, têm ganhado destaque como hortaliça funcional. Esses brotos apresentam tamanho semelhante ao da palma da mão de um adulto, coloração verde brilhante, ausência de espinhos e textura macia, quebrando-se facilmente quando dobrados (GUEDES et al., 2004). Do ponto de vista nutricional, são altamente succulentos (aprox. 92% de água) e contêm carboidratos (4%–6%), proteínas (1%–2%) e minerais, com destaque para cálcio e magnésio. Também apresentam teores moderados de vitamina C (10–15 mg/100 g) e β -caroteno (LOPES, 2007).

Pesquisas recentes reforçam o potencial dos *nopalitos* como ingrediente para produtos panificados, massas, bebidas fermentadas, alimentos funcionais e formulações com propriedades antioxidantes e prebióticas, ampliando o uso da palma para além do consumo tradicional (OLOWOOKERE et al., 2024).

3 PRODUÇÃO NACIONAL E DISTRIBUIÇÃO REGIONAL

No ano de 2017, no Brasil foi considerado o país com a maior área de cultivada de palma forrageira do mundo, com mais de 500 mil hectares plantados, concentrados na região nordeste. Além disso, neste mesmo ano foram produzidas 3.581,5 mil toneladas em 127 mil estabelecimentos, sendo a Bahia o maior estado produtor, responsável por 42% dessa produção, seguida da Paraíba, com 21% e o Pernambuco com 13% da produção brasileira (IBGE, 2017). A Tabela 1 demonstra os dez maiores estados produtores de palma forrageira no Brasil.

Tabela 1. Os estados mais produtores de palma forrageira no Brasil em 2017

Posição	Estado	Produção (t)
1º	Bahia	1.500.359,23
2º	Paraíba	742.981,605
3º	Pernambuco	481.931,869
4º	Sergipe	431.467,919
5º	Alagoas	304.806,758
6º	Rio Grande do Norte	83.433,385
7º	Ceará	21.105,279
8º	Minas gerais	11.719,863
9º	Mato Grosso	416,00
10º	São Paulo	348,685
	Brasil	3.581.500,000

Fonte: IBGE (2017)

4 ASPECTOS MORFOFISIOLÓGICOS E ECOFISIOLÓGICOS

As espécies do gênero *Opuntia* são cactáceas nativas de regiões áridas e semiáridas (BARBERA et al., 2001). Ao longo de sua evolução, desenvolveram um conjunto de características morfofisiológicas e ecofisiológicas altamente especializadas, permitindo elevada eficiência no uso da água e notável adaptação a ambientes de baixa umidade. Esses atributos explicam o amplo sucesso agroecológico da cultura, sobretudo em regiões do Semiárido onde a precipitação é irregular e frequentemente insuficiente.

Entre os principais mecanismos adaptativos destacam-se as estruturas anatômicas voltadas à conservação hídrica. A presença de cutículas espessas, baixa razão superfície/volume, grandes vacúolos, reduzida densidade estomática e câmaras subestomáticas minimiza a transpiração e mantém o turgor mesmo em condições extremas de seca. Os cladódios apresentam parênquima aquífero volumoso, tecido clorofiliano adaptado ao metabolismo CAM e células mucilaginosas — todas estruturas típicas de plantas xerófitas (AZEVEDO et al., 2013).

Os cladódios desempenham papel central na sobrevivência da planta, funcionando como grandes reservatórios internos, podendo conter até 90–95% de água (STINTZING; CARLE, 2005). A suculência, associada à mucilagem, contribui para manter processos metabólicos e garantir recuperação rápida após períodos prolongados de estiagem. Estruturas como cutícula espessa, parênquima aquífero e baixa densidade estomática reforçam esse potencial adaptativo (BOBICH; NOBEL, 2001; SILVA et al., 2010).

O sistema radicular, predominantemente superficial e altamente ramificado, é outro componente fundamental para a sobrevivência da palma no Semiárido. Raízes laterais carnosas desenvolvem-se a partir das raízes principais e são capazes de absorver água presente mesmo em baixos níveis de umidade, formando uma barreira natural que reduz a perda hídrica para o solo e previne danos radiculares. Em estresse severo, forma-se uma camada de cicatrização que protege o tecido vivo remanescente (BARBERA et al., 2001). Esse sistema permite que a planta aproveite rapidamente a água de chuvas leves e de curta duração, comuns em ambientes semiáridos (HILLS, 2001; NOBEL, 2002).

Essas adaptações explicam o desempenho produtivo da palma mesmo sob baixa pluviosidade. A cultura é capaz de produzir entre 20 e 30 t de matéria seca por hectare ao ano com apenas 200–300 mm de chuva, podendo ultrapassar 70 t/ha em condições mais favoráveis ou sob irrigação suplementar (LIRA et al., 2020; DUBEUX et al., 2015).

A eficiência ecofisiológica da palma forrageira decorre, sobretudo, do metabolismo fotossintético do tipo CAM. Nesse sistema, os estômatos se abrem predominantemente à noite, quando a temperatura é mais baixa e a umidade relativa é maior, possibilitando a captura de CO₂ com mínima perda de água. O CO₂ absorvido é convertido em ácidos orgânicos, como malato, e armazenado nos vacúolos. Durante o dia, com os estômatos fechados, ocorre a descarboxilação desses ácidos e o CO₂ liberado alimenta o ciclo de

Calvin, permitindo fotossíntese com máxima economia hídrica (NOBEL, 1995; LÜTTGE, 2004; TAIZ, ZEIGER, 2017).

Estudos recentes também indicam expressiva variabilidade entre genótipos de *Opuntia* e *Nopalea* quanto ao uso da água, regulação estomática, partição de energia e eficiência intrínseca no metabolismo CAM. Essas diferenças refletem distintas estratégias adaptativas e subsidiam recomendações mais precisas de materiais genéticos conforme o nível de severidade hídrica dos ambientes de cultivo (SOUZA et al., 2020; JARDIM et al., 2021).

5 EXIGÊNCIAS EDAFOCLIMÁTICAS E MANEJO

A palma forrageira apresenta melhor desempenho em condições de temperatura média entre 16 e 25 °C e precipitação anual entre 360 e 820 mm, embora seja capaz de sobreviver sob volumes de chuva inferiores, desde que haja manejo adequado do solo e conservação da umidade (ROCHA, 2012). A cultura tolera uma ampla gama de classes de solo, incluindo solos rasos e de baixa fertilidade, mas responde de forma marcante à melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo.

Na literatura evidencia que a produtividade da palma forrageira é fortemente influenciada pelo manejo nutricional, com incrementos expressivos na produção de matéria seca, no número de cladódios por planta e na concentração de nutrientes nos tecidos quando se adota a adubação orgânica e mineral (PESSOA et al., 2022; COSTA et al., 2024a). Em condições de sequeiro no Semiárido, a adubação mineral assume papel determinante no desempenho produtivo da cultura, destacando-se o nitrogênio como o nutriente de maior impacto no acúmulo de matéria seca, enquanto o potássio atua de forma complementar ao crescimento vegetativo. Nesse contexto, a calagem apresenta efeito relevante ao melhorar as condições químicas do solo, favorecendo o aumento do número de cladódios e da produtividade de matéria verde, especialmente nos primeiros anos de cultivo, além de potencializar a eficiência da adubação nitrogenada e potássica a partir do segundo ano (COSTA et al., 2024a).

Práticas de conservação do solo, como subsolagem, escarificação, uso de cobertura morta e terraceamento em áreas declivosas, favorecem a infiltração de água, reduzem perdas por escoamento superficial e melhoram o armazenamento hídrico no perfil (SOUZA, 2022). A incorporação de matéria orgânica também estimula a atividade microbiológica, contribuindo para sistemas mais resilientes (PESSOA et al., 2022).

A irrigação suplementar, quando tecnicamente e economicamente viável, constitui importante ferramenta de intensificação sustentável. Sistemas de irrigação localizada, especialmente por gotejamento, associados à aplicação de água em horários de menor demanda evaporativa (como o período noturno), têm mostrado alta eficiência hídrica e ganhos expressivos em produtividade e estabilidade de oferta de forragem (SANTOS, 2017; ARAÚJO JÚNIOR et al., 2024).

O manejo do espaçamento e da densidade de plantio também é determinante: arranjos mais adensados favorecem maior produção de matéria seca por área, porém exigem maior atenção à adubação, à ventilação do dossel e ao controle de pragas e doenças (RAMOS et al., 2017; LIRA et al., 2022).

Sistemas consorciados com sorgo e gramíneas adaptadas têm apresentado maior estabilidade produtiva, melhor retorno econômico e menor risco frente às variações climáticas, ao combinar diferentes arquiteturas vegetais, profundidades de sistema radicular e padrões de uso de água e nutrientes (JARDIM et al., 2021; LIRA et al., 2022; SILVA et al., 2025b). Pesquisas desenvolvidas em campo indicam que, em sistemas com adubação e, quando possível, irrigação suplementar, a produtividade de matéria seca por hectare pode ser significativamente superior às médias regionais, evidenciando grande potencial de intensificação sustentável ainda não plenamente explorado (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2024).

6 ESPÉCIES E CULTIVARES DE RELEVÂNCIA ECONÔMICA

A produção de palma forrageira no Semiárido brasileiro concentra-se em poucas espécies dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, que se destacam pela elevada adaptação às condições áridas, boa produtividade e importância para a segurança forrageira. Essas espécies apresentam diferenças marcantes em morfologia, tolerância ao estresse hídrico e valor nutricional, influenciando sua escolha em diferentes sistemas de produção. A seguir, são apresentadas as principais espécies cultivadas no Nordeste brasileiro:

6.1 *OPUNTIA STRICTA* (ORELHA-DE-ELEFANTE MEXICANA)

Esta espécie é menos exigente em fertilidade do solo e mais resistente à seca quando comparada com as variedades Miúda, Baiana e Orelha de Elefante Africana. Apresenta plantas de porte médio, mal conformadas, com raquetes ovoides de cor verde-cinza e com bastante pelos, além de bordas recortada. As raquetes são, em sua maioria, de tamanho médio à grande (LOPES e VASCONCELOS, 2012), atingindo 47 cm de comprimento com 34 cm de largura. Um ano após o plantio, as plantas atingem um número médio de 15 raquetes, com peso variando entre 0,6 kg a 1,5 kg (SILVA et al., 2015; JARDIM et al., 2020;).

Em relação à palma gigante, essa variedade é mais rica em proteína bruta, gordura, matéria orgânica, fibra em detergente neutro e matéria seca (ALBUQUERQUE, 2012). O rendimento médio obtido em pesquisa realizada pelo Instituto Nacional do Semiárido-INSa em 26 municípios paraibanos chegou a 192 t/ha de massa verde (Município de Parari-PB), quando adubado com esterco e com densidade de 20 mil plantas/ha, para um plantio de 2 anos (INSa, 2023).

6.2 *NOPALEA COCHENILLIFERA* (PALMA MIÚDA OU DOCE)

A palma Miúda, também conhecida como palma Doce, possui porte pequeno e caule ramificado, destacando-se pelos seus elevados teores de matéria seca e carboidratos. Suas raquetes são pequenas, com

tamanho variando entre 18 cm x 9 cm e 25 cm x 10 cm de comprimento e largura, respectivamente, e peso médio de 350 g. Produz, em média, 40 raquetes por planta no primeiro ano de cultivo, sem uso de irrigação. Em Bonito de Santa Fé-PB, 2 anos após o plantio, sua produtividade chegou a 299,8 t/ha de massa verde, com densidade de 20 mil plantas/ha. Esta variedade apresenta menor resistência à seca e é mais exigente em fertilidade do solo, sendo mais indicada para regiões de climas amenos. Nestas condições pode superar em produtividade a palma Baiana e a Orelha de Elefante Mexicana (INSA, 2023). Apresenta, contudo, menor tolerância a estiagens muito prolongadas, o que demanda manejo mais criterioso.

6.3 *OPUNTIA UNDULATA* (ORELHA DE ELEFANTE AFRICANA)

Esta variedade apresenta plantas de porte médio, mal conformadas, com raquetes ovóides de cor verde brilhante. Além disso, possui epiderme e cutícula espessas, que proporcionam uma barreira anatômica, conferindo maior resistência ao ataque de insetos. As raquetes são grandes, atingindo até 47 cm de comprimento com 41 cm de largura. Em condições experimentais e dois anos após o plantio, em Campina Grande/PB, produz aproximadamente 9 cladódios por planta e a produtividade chegou a 248 t de massa fresca/ha, com densidade de 12,5 mil plantas/ha e adubação orgânica com esterco bovino (40 t/ha/ano). Um aspecto interessante da Orelha de Elefante Africana é seu potencial frutífero, produzindo frutos doces e de coloração roxa, os quais podem alcançar mais de 100 g de massa fresca (INSA, 2023). Esse potencial amplia o uso da espécie para além da alimentação humana, inserindo-a também em cadeias produtivas voltadas à alimentação humana e à geração de valor agregado.

Do ponto de vista genético, *O. undulata* tem sido considerada material estratégico para programas de melhoramento, devido à sua rusticidade, estabilidade morfofisiológica e elevada resiliência. Estudos recentes apontam sua utilidade como parental em cruzamentos interespecíficos, visando a obtenção de híbridos com maior resistência à seca, maior teor de sólidos nos cladódios, tolerância a pragas (especialmente cochonilhas) e melhor desempenho tanto forrageiro quanto frutífero. Dessa forma, a espécie desponta como candidata promissora para diversificação de plantios, enriquecimento de bancos de germoplasma e ampliação das possibilidades produtivas da palma no Semiárido brasileiro (BATISTA et al., 2022; SOARES et al., 2024; FAO, 2022).

6.4 *NOPALEA COCHENILLIFERA* (BAIANA)

A Baiana também denominada Mão-de-Moça ou Ipa Sertânea apresenta plantas de porte médio, arquitetura bem conformada e elevada uniformidade estrutural, características desejáveis para sistemas de plantio adensado e para produção de forragem de alta qualidade (SILVA et al., 2015; JARDIM et al., 2020). Os cladódios possuem formato ovóide, coloração verde-claro, superfície lisa, ausência de tricomas e boa consistência estrutural. Suas dimensões variam entre 26 × 13 cm e 37 × 14 cm (comprimento × largura),

valores compatíveis com o padrão morfológico de variedades produtivas dentro da espécie *Nopalea cochenillifera* (INSA, 2023).

A produtividade é um dos principais destaques dessa cultivar. No primeiro ano após o plantio, a Palma Baiana pode produzir aproximadamente 15 cladódios por planta, com peso individual variando entre 0,5 kg e 1,5 kg. Essa elevada produção inicial demonstra a capacidade de rápido estabelecimento e vigor vegetativo da cultivar, mesmo em condições de sequeiro. Em experimentos realizados no município de Bonito de Santa Fé–PB, utilizando-se um sistema de fileiras duplas com espaçamento 1,5 m × 0,5 m × 0,5 m (20.000 plantas/ha), registrou-se rendimento médio bianual de 351 t/ha de massa verde quando se aplicou 1 kg de esterco bovino por planta. Esse desempenho está entre os mais elevados reportados para cultivares de *Nopalea*, reforçando a forte resposta dessa variedade ao manejo intensivo e à adubação orgânica (LIRA et al., 2021; SILVA et al., 2025c).

Além do excelente desempenho produtivo, a Palma Baiana é amplamente reconhecida por sua alta palatabilidade, teor expressivo de matéria seca digestível e bom equilíbrio entre carboidratos e minerais, sendo muito apreciada em sistemas de alimentação de bovinos, caprinos e ovinos (SOUZA et al., 2020). Sua boa capacidade de rebrota, aliada à elevada eficiência no uso da água, característica típica de plantas com metabolismo fotossintético CAM, reforça seu papel estratégico na segurança forrageira de regiões semiáridas.

A cultivar apresenta ainda excelente adaptabilidade às condições edafoclimáticas do Nordeste brasileiro, mantendo desempenho estável quando submetida a práticas como adubação orgânica, plantio adensado, manejo adequado de plantas invasoras e utilização de fileiras duplas (LIRA et al., 2022; SILVA et al., 2025c). Devido à combinação entre alto potencial de produção de biomassa, rusticidade moderada, aceitabilidade pelos animais e elevada eficiência fisiológica, a Palma Baiana figura entre as cultivares mais recomendadas para sistemas sustentáveis de produção animal no Semiárido brasileiro.

Nesta tabela reúne as características mais relevantes das cultivares, facilitando análises técnicas e apoiando decisões de manejo, recomendação e uso estratégico da cultura no Semiárido (Tabela 2).

Tabela 2. Quadro Comparativo das principais cultivares de Palma

Critério	<i>Opuntia stricta</i> (OEM)	<i>Nopalea cochenillifera</i> (Miúda)	<i>Opuntia undulata</i>	<i>Nopalea cochenillifera</i> (Baiana)
Porte e arquitetura	Porte médio, mal conformada	Porte pequeno, muito ramificada	Porte médio, cladódios grandes	Porte médio, bem conformada
Cladódios	Ovóides, 47×34 cm	Pequenos, 18–25 cm	Muito grandes, até 47×41 cm	Ovóides, 26–37 cm
Nº de cladódios	≈15/ano	≈40/ano	9/ano	≈15/ano
Peso dos cladódios	0,6–1,5 kg	≈350 g	1–2 kg	0,5–1,5 kg
Produtividade	192 t/ha (2 anos)	299,8 t/ha (2 anos)	248 t/ha (2 anos)	351 t/ha (2 anos)

7 AVANÇOS CIENTÍFICOS RECENTES

Nas últimas décadas, a palma a (*Opuntia* e *Nopalea*) tem sido objeto de intensificação das pesquisas científicas, impulsionada pela crescente necessidade de sistemas produtivos resilientes frente às mudanças climáticas, à irregularidade pluviométrica e à ampliação das demandas por segurança forrageira, alimentar e ambiental no Semiárido. Os avanços recentes refletem uma mudança significativa na abordagem científica da cultura, que passou de um manejo predominantemente empírico para uma perspectiva integrada, fundamentada em bases genéticas, ecofisiológicas, agronômicas.

7.1 MELHORAMENTO GENÉTICO DA PALMA FORRAGEIRA

O melhoramento genético da palma tem assumido papel estratégico no contexto do Semiárido brasileiro, especialmente diante da intensificação das mudanças climáticas, da recorrência de secas severas e da crescente demanda por sistemas produtivos mais resilientes. Embora a cultura apresente ampla adaptação edafoclimática e elevada eficiência no uso da água, associada ao metabolismo fotossintético do tipo CAM, a base genética das cultivares tradicionalmente utilizadas no país ainda é relativamente restrita, o que limita avanços mais expressivos em produtividade, resistência a pragas e diversificação de usos (ALMEIDA et al 2022; BATISTA et al., 2022).

Nesse cenário, programas de melhoramento conduzidos por instituições de pesquisa, com destaque para o Instituto Nacional do Semiárido (INSA/MCTI), têm concentrado esforços na caracterização, conservação e uso da variabilidade genética disponível em bancos ativos de germoplasma. Estudos recentes evidenciam ampla divergência genética entre acessos de *Opuntia* e *Nopalea*, identificada por meio de descritores morfoagronômicos e pela aplicação de análises estatísticas multivariadas, como a distância generalizada de Mahalanobis, o método de Tocher, as variáveis canônicas e o critério de Singh. Essas abordagens têm possibilitado a formação de grupos geneticamente distintos e a seleção de genótipos superiores para diferentes finalidades produtivas (JESUS et al., 2023; BEZERRA et al., 2022; PESSOA et al., 2025).

Além da caracterização fenotípica, aspectos reprodutivos passaram a ocupar posição central nos programas de melhoramento da palma. Pesquisas recentes demonstram que *Nopalea cochenillifera* apresenta elevada viabilidade polínica, adequada receptividade estigmática e capacidade de reprodução tanto por autofecundação quanto por fecundação cruzada, condições fundamentais para o sucesso de cruzamentos controlados e para a ampliação da recombinação genética (COSTA et al., 2024). Esses resultados reforçam o potencial da reprodução sexual como ferramenta estratégica no melhoramento da cultura, historicamente propagada de forma vegetativa.

Outro eixo relevante das pesquisas refere-se ao desenvolvimento de cultivares resistentes à cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae*), principal praga da palma forrageira no Nordeste brasileiro.

A identificação e validação de acessos resistentes ou tolerantes, associadas à avaliação do desempenho produtivo e de características anatômicas, permitiram a recomendação de cultivares como Orelha-de-Elefante Mexicana, Miúda e IPA Sertânia, amplamente utilizadas na reestruturação dos plantios após os surtos da praga (VASCONCELOS et al., 2009; GALDINO et al., 2016; REGO et al., 2022; BATISTA et al., 2022).

Os avanços decorrentes da integração entre diversidade genética, biologia reprodutiva, análises multivariadas e avaliações agronômicas têm possibilitado a geração de populações segregantes, como progênies S₁ e S₂, ampliando a base genética disponível e fortalecendo estratégias de seleção (PESSOA et al., 2025). Nesse contexto, o Instituto Nacional do Semiárido (INSA/MCTI), em parceria com instituições como SUDENE, UFPB, SEDAP, EMPARN e EMBRAPA, EMPAER tem desempenhado papel central no programa de melhoramento da Palma.

7.2 PALMA NA ALIMENTAÇÃO HUMANA

Nas últimas décadas, pesquisas científicas têm ampliado significativamente o conhecimento sobre o potencial da palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) como alimento para consumo humano, destacando seu valor nutricional, funcional e tecnológico. Estudos recentes mostram que cladódios e frutos apresentam altos teores de fibras solúveis e insolúveis, vitaminas, minerais, compostos antioxidantes e mucilagem, o que confere propriedades benéficas à saúde, incluindo melhora do trânsito intestinal, redução da glicemia e ação anti-inflamatória (FEUGANG et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2022).

Outro avanço expressivo está na utilização da palma como ingrediente funcional em produtos derivados. Pesquisas vêm demonstrando sua aplicação em pães, massas, biscoitos, geleias, molhos, sucos, compotas e produtos desidratados, agregando valor aos alimentos devido ao aumento de fibras e compostos bioativos. Estudos mostram que a incorporação de farinha de cladódios melhora a textura, a retenção de umidade, o teor de fibras e o potencial antioxidante dos produtos, ampliando sua aceitação sensorial (RAMOS-HERNÁNDEZ et al., 2021; SANTOS et al., 2023).

Além disso, a palma pode ser utilizada como alimento estratégico em políticas de segurança alimentar e nutricional, sobretudo em regiões semiáridas. Sua alta produtividade mesmo em condições de seca extrema, aliada ao baixo custo de cultivo e elevado valor nutritivo, posiciona a espécie como alternativa promissora para diversificar a dieta humana e mitigar impactos das mudanças climáticas (ARBA, 2020; NEUPANE et al., 2024).

De modo geral, os avanços científicos recentes comprovam que a palma forrageira é uma PANC de alto potencial alimentar, com aplicações crescentes na gastronomia, na indústria de alimentos. A expansão de pesquisas tem fortalecido seu reconhecimento como ingrediente sustentável, funcional e culturalmente relevante (SANTOS et al., 2023; OLIVEIRA et al., 2025; MORAGA-BABIANO., et al 2025).

8 CONCLUSÃO

A palma se configura, no contexto do Semiárido brasileiro, como uma cultura estratégica para a resiliência agropecuária, contribuindo de maneira decisiva para a segurança hídrica e forrageira dos rebanhos, para a estabilidade produtiva e para a sustentabilidade econômica de milhares de propriedades rurais. Sua capacidade de crescer em solos de baixa fertilidade, suportar longos períodos de seca e produzir biomassa de elevado valor nutritivo a coloca no centro das estratégias de convivência com o Semiárido

Nesse cenário, o papel de instituições como INSA, Embrapa, universidades e órgãos estaduais de pesquisa e extensão é fundamental, tanto na geração e validação de tecnologias quanto na formação de redes de produtores e técnicos capacitados para manejar a cultura de forma planejada, eficiente e ambientalmente responsável. Ampliar o cultivo de palma, diversificar o uso de seus produtos, consolidar cadeias produtivas associadas à cultura e fortalecer políticas públicas de apoio à agricultura familiar e à pecuária de base hídrica são caminhos promissores para o desenvolvimento sustentável do Semiárido e para a melhoria da qualidade de vida das populações que nele vivem.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. G. O sistema São Benedito como proposta de produção agroecológica no Semiárido brasileiro. 2012. 54 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2012.
- ALMEIDA, I. V. B. et al. Genetic improvement of *Opuntia* spp. for forage production in the Brazilian semi-arid region. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON CACTUS PEAR AND COCHINEAL, 10., 2022. Anais... (X International Congress on Cactus Pear and Cochineal: Cactus – the New Green Revolution in Drylands). v. 1343, p. 31–38.
- ANDRADE-MONTEMAYOR, H. M.; CORDOVA-TORRES, A. V.; GARCÍA-GASCA, T.; KAWAS, J. R. Alternative foods for small ruminants in semiarid zones: the case of mesquite (*Prosopis laevigata* spp.) and nopal (*Opuntia* spp.). *Small Ruminant Research*, v. 98, n. 1–3, p. 83–92, 2011.
- APARICIO-ORTUÑO, R. et al. Cladodes of *Opuntia ficus-indica* as a functional ingredient in the production of cookies: physical, antioxidant and sensory properties. *Sustainable Food Technology*, v. 2, n. 3, p. 816–825, 2024.
- ARAÚJO, J. S. et al. Cultivation of cactus pear forage propagated through the method of fractionation of cladode. *African Journal of Agricultural Research*, v. 14, p. 801–805, 2019.
- ARAÚJO JÚNIOR, G. N. et al. Growth dynamics and water-use efficiency of forage cactus under supplemental irrigation. *Journal of Arid Environments*, 2024.
- AZEVEDO, D. M. M. R. et al. Características estruturais de cladódios de cactáceas relacionadas à adaptação ao ambiente semiárido. *Revista Caatinga*, v. 26, n. 2, p. 56–65, 2013.
- BARBA, F. J. et al. Bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables after thermal and non-thermal processing. *Trends in Food Science & Technology*, v. 67, p. 195–206, 2017.
- BARBERA, G.; INGLESE, P.; PIMIENTA-BARRIOS, E. Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira. Roma: FAO; SEBRAE, 2001.
- BARBOSA, R. S. et al. Doenças da palma forrageira. In: LOPES, E. B. (Org.). *Palma forrageira: cultivo, uso atual e perspectivas de utilização no semiárido nordestino*. João Pessoa: EMEPA/FAEPA, 2012. p. 81–98.
- BATISTA, M. C. Production and selection of accessions of *Opuntia* spp. with resistance to false carmine cochineal. *Comunicata Scientiae*, v. 13, e3869, 2022.
- BEZERRA, J. D. et al. Genetic diversity and relationships among *Nopalea* sp. and *Opuntia* spp. accessions revealed by RAPD, ISSR and ITS molecular markers. *Molecular Biology Reports*, v. 49, n. 7, p. 6207–6213, 2022.
- BOBICH, E. G.; NOBEL, P. S. Biomechanics and anatomy of cladode junctions for two *Opuntia* (Cactaceae) species and their hybrid. *American Journal of Botany*, v. 88, n. 3, p. 391–400, 2001.
- BRITTON, W.; ROSE, J. N. *The Cactaceae: descriptions and illustrations of plants of the cactus family*. Washington: Carnegie Institution of Washington, 1919. 227 f.



CORIA-CAYUPÁN, Y. S.; OCHOA, M. J.; NAZARENO, M. A. Health-promoting substances and antioxidant properties of *Opuntia* sp. fruits: changes in bioactive-compound contents during ripening process. *Food Chemistry*, v. 126, n. 2, p. 514–519, 2011. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.11.033.

COSTA, M. P. S. D. et al. Pollen viability, stigma receptivity and reproduction mode of spineless cactus (*Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck) accessions. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, v. 17, n. 8, p. 1–17, 2024. DOI: 10.55905/revconv.17n.8-463.

COSTA, D. B. et al. Resposta da palma forrageira à adubação nitrogenada e potássica sob calagem. *Observatório da Economia Latinoamericana*, v. 22, n. 12, e8485, 2024.

DOMINGUES, O. Origem e introdução da palma forrageira no Nordeste. Recife; Instituto Joaquim Nabuco de Pesquisas Sociais. 1963. 76p

DUBEUX, J. C. B. Jr. et al. Productivity of cactus pear under different management strategies in semiarid regions. *Journal of Arid Environments*, v. 122, p. 1–10, 2015.

DUTRA, I. C. et al. Cacto forrageiro (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) (Cactaceae) como alternativa para alimentação de ruminantes. *Revista Brasileira de Ciência*, v. 3, n. 9, p. 33–41, 2024.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Palma forrageira: cultivo, manejo e uso na alimentação animal. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2015.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Cactus: a strategic crop for drylands. Rome: FAO, 2022.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Cactus pear: agro-ecology, cultivation and uses. Rome: FAO, 2001.

FEUGANG, J. M. et al. Nutritional and medicinal use of cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. *Frontiers in Bioscience*, v. 11, n. 1, p. 2574–2589, 2006.

GALDINO, P. O. et al. Stability of cactus-pear powder during storage. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 20, n. 2, p. 169–173, 2016.

GUEDES, C. C. et al. Broto de palma: sabor e nutrição. Recife: SEBRAE-PE; FAEPE, 2004. 48 p.

HILLS, S. F. Anatomy and morphology. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; PIMIENTA-BARRIOS, E. Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. Rome: FAO, 2001. p. 28–35. (FAO Plant Production and Protection Paper, 132).

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção agrícola municipal. Brasília: IBGE, 2017.

INGLESE, P. et al. Ecologia, cultivo e usos da pera espinhosa. Roma: FAO, 2017.

INGLESE, P.; BARBERA, G.; LA MANTIA, T. Research strategies for improving fruit quality and production of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). *Journal of Arid Environments*, v. 29, n. 4, p. 455–468, 1995.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO. Palma forrageira: plantio e manejo. ARAÚJO, J. S. et al. (Org.). Campina Grande: INSA, 2023.

JARDIM, A. M. R. F. et al. Gas exchange and photosynthetic efficiency in forage cactus genotypes under drought stress. *South African Journal of Botany*, v. 137, p. 146–154, 2021.

JARDIM, A. M. R. F. et al. Multivariate analysis in the morpho-yield evaluation of forage cactus intercropped with sorghum. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 24, p. 756–761, 2020.

JARDIM, A. M. R. F. et al. Intercropping forage cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological efficiency and competitive ability through interspecific complementarity. *Journal of Arid Environments*, v. 188, p. 1–11, 2021.

JESUS, M. S.; PASSOS, A. R.; DINIZ, R. P. Índices de seleção e principais componentes para características agrônomicas e bromatológicas em palma forrageira. *Revista Caatinga*, v. 36, p. 189–198, 2023.

LIRA, E. C. et al. Intercropping forage cactus genotypes with wood species in a semi-arid environment. *Agronomy Journal*, 2022.

LIRA, E. C. et al. Produtividade de culturas anuais em sistema de consórcio com a palma forrageira resistente à cochonilha-do-carmim. *Holos*, v. 2, p. 1–12, 2021.

LIRA, G. F. C. et al. Caminho para expansão e desenvolvimento da palma forrageira no Rio Grande do Norte. Parnamirim: EMPARN, 2019.

LIRA, M. A. et al. Nutritional and productive performance of forage cactus under different climatic conditions. *Revista Caatinga*, v. 33, n. 1, p. 1–10, 2020.

LOPES, E. B.; SANTOS, D. C.; VASCONCELOS, M. F. Cultivo da palma forrageira. In: LOPES, E. B. (Ed.). *Palma forrageira: cultivo, uso atual e perspectivas de utilização no semiárido nordestino*. João Pessoa: EMEPA/FAEPA, 2007. p. 11–33.

LOPES, E. B.; VASCONCELOS, M. F. Zoneamento agrícola de risco climático para a cultura da palma forrageira no estado da Paraíba. In: LOPES, E. B. (Org.). *Palma forrageira: cultivo, uso atual e perspectivas de utilização no semiárido nordestino*. João Pessoa: EMEPA-PB, 2012. p. 169–202.

LOPES, E. B. (Ed.). *Palma forrageira: cultivo, uso atual e perspectivas de utilização no semiárido nordestino*. João Pessoa: EMEPA; FAEPA, 2007. 130 p.

LÜTTGE, U. Ecophysiology of Crassulacean Acid Metabolism (CAM). *Annals of Botany*, v. 93, p. 629–652, 2004.

MARQUES, O. F. C. et al. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. *Caderno de Ciências Agrárias*, v. 9, n. 1, p. 75–93, 2017.

MARTINS, M.; RIBEIRO, M. H.; ALMEIDA, C. M. Physicochemical, nutritional, and medicinal properties of *Nopalea ficus-indica* (L.) Mill. and its main agro-industrial use: a review. *Plants*, v. 12, n. 7, p. 1512, 2023.



MENEZES, R. S. C. A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Ed. Universitária da UFPE, 2005.

MORAGA-BABIANO, L. et al. A comprehensive review of the nutritional, functional, and technological potential of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) in food processing. QASCF Journal, 2025.

NASCIMENTO, G. R. et al. Soil and planting management for cactus pear in semiarid Brazil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2023.

NOBEL, P. S. Physicochemical and environmental plant physiology. 3. ed. San Diego: Academic Press, 2002.

NOBEL, P. S. Remarkable agaves and cacti. New York: Oxford University Press, 1995.

NOBEL, P. S. Cacti: biology and uses. Berkeley: University of California Press, 2002. 280 p.

NOBEL, P. S.; CORTÁZAR, V. G. Growth and predicted productivity of *Opuntia ficus-indica* for current and elevated carbon dioxide. Agronomy Journal, v. 83, n. 1, p. 224–230, 1991.

OLIVEIRA, F. T. et al. Palma forrageira: adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiáridos. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 5, p. 27–37, 2010.

OLIVEIRA, L. F. et al. Chemical and nutritional characterization of *Opuntia ficus-indica* fruits. Food Chemistry, 2022.

OLIVEIRA, M. D. et al. Consumer perception of the use of forage cactus in human nutrition: physicochemical and sensory analysis. Contribuciones a las Ciencias Sociales, v. 18, n. 7, p. 1–19, 2025.

OLOWOOKERE, D. A.; MALOMO, A. Potencial antidiabético de biscoitos feitos com misturas de farinhas compostas de trigo, batata-doce e inhame africano (*Sphenostylis stenocarpa*). Asian Food Science Journal, v. 23, n. 4, p. 31–43, 2024.

PESSOA, L. M. et al. Organic and mineral fertilization in cactus pear. Archives of Agronomy and Soil Science, 2022.

PESSOA, R. M. D. S. et al. Diversidade genética inter e intraespecífica e seleção de genitores em *Opuntia* spp. Genetic Resources and Crop Evolution, v. 72, n. 7, p. 7993–8008, 2025.

RAMOS, J. P. F. et al. Crescimento e produtividade de *Nopalea cochenillifera* em função de diferentes densidades de plantio em cultivo com e sem capina. Revista Electrónica de Veterinária, v. 18, n. 8, p. 1–12, 2017.

ROCHA, J. E. S. Palma forrageira no Nordeste do Brasil: o estado da arte. 2012.

ROCHA, R. R. et al. Advances in cactus pear research and global applications. Scientia Horticulturae, 2023.

ROJAS, M. G. et al. Características morfológicas e físico-químicas de frutos de xoconostle cultivados e silvestres em Hidalgo. Sociedades Rurais, Produção e Meio Ambiente, n. 35, p. 18–42, 2018.

RÊGO, M. et al. Genetic characterization of *Opuntia* spp. accessions with contrasting resistance to *Dactylopius opuntiae* insect pest by ISSR, ITS and RAPD markers. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON CACTUS PEAR AND COCHINEAL, 10., 2022. Anais...

SANTIAGO, E.; JUÁNIZ, I.; CID, C.; PEÑA, M. P. Extraction of phenolic compounds of cactus cladodes. *Food Analytical Methods*, 2021.

SANTOS, M. F. R. et al. Prospecção da palma forrageira para alimentação humana. *Revista Casa de Makunaíma*, v. 5, n. 2, 2023.

SANTOS, M. R. et al. Irrigação na palma forrageira. *Informe Agropecuário*, v. 38, n. 296, p. 76–90, 2017.

SANTOS, R. T. et al. Diseases in cactus pear cultivation in Northeastern Brazil. *Tropical Plant Pathology*, 2023.

SAPATA, M.; FERREIRA, A.; OLIVEIRA, M. Cladódios de figueira-da-índia para a indústria alimentar. *Vida Rural*, p. 30–33, 2018.

SARMENTO, W. G. C. et al. Crescimento e produtividade da palma Orelha-de-elefante Mexicana sob diferentes lâminas de irrigação. In: SEMANA DE ZOOTECNIA DA UFRPE, 2019. Anais...

SCHEINVAR, L. Taxonomia das *Opuntias* utilizadas. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; PIMIENTA-BARRIOS, E. *Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira*. Roma: FAO; SEBRAE, 2001. cap. 3, p. 20–27.

SILVA, C. C. F.; SANTOS, L. C. Palma forrageira *Opuntia ficus-indica* como alternativa na alimentação de ruminantes. *Revista Electrónica de Veterinária*, v. 8, n. 5, p. 1–11, 2007.

SILVA, P. S. et al. Human health benefits of *Opuntia* consumption. *Journal of Functional Foods*, 2024.

SILVA, E. C. et al. Consumo e digestibilidade de nutrientes em ovinos alimentados com dietas com gérmen de milho e palma forrageira Miúda (*Nopalea cochenillifera*). *Revista Ciência Agrária*, v. 4, n. 2, p. 19–36, 2025a.

SILVA, L. M. et al. Advances in cactus pear management and sustainability. *Agronomy Research*, 2025b.

SILVA, P. S. F. et al. Características morfológicas, produtivas e de suscetibilidade a pragas de clones de palma forrageira no Semiárido do Brasil. *Grassland Ecology and Management*, v. 103, p. 329–340, 2025c.

SILVA, M. G. S. et al. Anatomy of different forage cacti with contrasting insect resistance. *Journal of Arid Environments*, v. 74, p. 718–722, 2010.

SILVA, P. F.; MATOS, R. M.; BORGES, V. E.; DANTAS JUNIOR, G. J.; DANTAS NETO, J. Crescimento e produção de palma forrageira sob fertilização mineral. *Journal of Agronomic Sciences*, v. 4, n. 2, p. 96–115, 2015.

SNYMAN, H. A. Root distribution of cactus pears. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, v. 8, p. 1–10, 2006.

SOARES, V. H. et al. Selection of *Opuntia* progenies for resistance to cochineal. *Bragantia*, 2024.

SOUSA, A. R. et al. Informações técnicas sobre manejo e conservação de solos. In: O desenvolvimento rural sustentável e a agropecuária em Pernambuco. 2022.

SOUZA, A. A. et al. Ecofisiologia comparativa de genótipos de palma forrageira. *Journal of Arid Environments*, v. 167, p. 45–52, 2019.

SOUZA, J. T. A. et al. Gas exchange and water-use efficiency in *Nopalea cochenillifera* under edaphic practices. *Comunicata Scientiae*, v. 11, p. 1–8, 2020.

STINTZING, F. C.; CARLE, R. Cactus stems (*Opuntia* spp.): a review on their chemistry, technology, and uses. *Molecular Nutrition & Food Research*, v. 49, n. 2, p. 2005

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TAVARES, N. L. et al. Corante alimentício natural do figo da índia (*Opuntia ficus-indica* L.): extração e caracterização. *Revista Semiárido de Visu*, v. 12, n. 3, p. 1265–1277, 2024.

TEGEGNE, F.; KIJORA, C.; PETERS, K. Study on the optimal level of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) supplementation to sheep and its contribution as source of water. *Small Ruminant Research*, v. 72, n. 2–3, p. 157–164, 2007.

TORQUATO, I. A. et al. Spineless cactus (*Opuntia stricta* and *Nopalea cochenillifera*) with added sugar cane (*Saccharum officinarum*) bagasse silage as bovine feed in the Brazilian semi-arid region. *Ruminants*, v. 5, n. 3, p. 37, 2025.

VASCONCELOS, A. G. V. et al. Seleção de clones de palma forrageira resistentes à cochonilha-do-carmim. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, p. 827–831, 2009.

ZAPPI, D.; AONA, L. Y. S.; TAYLOR, N. Cactaceae. In: MELHEM, T. S. et al. (Ed.). *Flora fanerogâmica do estado de São Paulo*. São Paulo: Instituto de Botânica, 2007. v. 5, p. 163–194.

**QUALIDADE E TRANSLUCIDEZ DE INFRUTESCÊNCIAS DO ABACAXIZEIRO ‘PÉROLA’
CULTIVADO SOB ADUBAÇÃO NITROGENADA E POTÁSSICA**

**QUALITY AND TRANSLUCENCY OF ‘PÉROLA’ PINEAPPLE INFRUCTESCENCES
CULTIVATED UNDER NITROGEN AND POTASSIUM FERTILIZATION**

 <https://doi.org/10.63330/aurumpub.030-003>

Renato Pereira Lima

Doutorado em Agronomia

E-mail: renato.lima@pesquisa.insa.gov.br

Alex Sandro Bezerra de Sousa

Doutorado em Agronomia

E-mail: alex.sousa@ematerce.ce.gov.br

Mariany Cruz Alves da Silva

Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos

E-mail: marianycruz@yahoo.com.br

Elder Cunha Lira

Doutorado em Ciência do Solo

E-mail: elder.lira@hotmail.com

Maria do Perpetuo Socorro Damasceno Costa

Doutorado em Agronomia

E-mail: maria.damasceno@pesquisa.insa.gov.br

Daniela Batista da Costa

Doutorado em ciência do solo

E-mail: daniela.costa@pesquisa.insa.gov.br

Evaldo dos Santos Felix

Mestre em Ciência do Solo

E-mail: evaldoengagro@gmail.com

Jucilene Silva Araújo

Doutorado em Agronomia

E-mail: jucilene.araujo@insa.gov.br

Silvanda de Melo Silva

Doutorado em Horticultura

E-mail: silvandasilva@gmail.com

RESUMO

A translucidez nas infrutescências do abacaxizeiro é um distúrbio fisiológico que altera a coloração da polpa e conduz ao escurecimento interno. Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade e translucidez por processamento de imagem digital de infrutescências do abacaxizeiro ‘Pérola’ produzidas sob adubação nitrogenada e potássica. Cinco doses de ureia (0,53; 3,20; 5,33; 7,47; 10,13) e cinco de cloreto de potássio (0,30; 1,78; 2,97; 4,15; 5,64) foram combinadas, em esquema fatorial conforme a matriz Plan Puebla III, totalizando dez tratamentos. A adubação nitrogenada e potássica no cultivo do abacaxizeiro ‘Pérola’ influenciou os níveis de translucidez na polpa das infrutescências, na maturidade comercial. Neste contexto, dose elevada de N (7,47 g de ureia por planta) combinada com dose baixa de K (1,78 g de KCl por planta) aumenta a translucidez da polpa e reduz o conteúdo de flavanoides amarelos. Mas, a translucidez reduziu quando K foi fornecido na dose de 4,15 g de KCl por planta com 7,47 g de ureia por planta. Nas condições em que este trabalho foi realizado, a combinação de 7,47 g de ureia com 4,15 g de KCl por planta no cultivo do abacaxizeiro ‘Pérola’ favorece a qualidade das infrutescências, mantendo baixos os níveis de translucidez e elevados conteúdos de flavanoides amarelos, dos açúcares redutores e das proteínas solúveis na polpa e no eixo central. O processamento de imagens digitais demonstrou ser uma ferramenta importante na caracterização da translucidez e das mudanças na coloração da polpa associadas a este fenômeno.

Palavras-chave: *Ananas comosus* var. *comosus*; Distúrbios fisiológicos; Sistema de cor RGB; Sistema CIE Lab.

ABSTRACT

Translucency in pineapple infructescences is a physiological disorder that alters pulp color and leads to internal browning. This study aimed to evaluate the quality and translucency, using digital image processing, of infructescences of ‘Pérola’ pineapple produced under nitrogen and potassium fertilization. Five rates of urea (0.53, 3.20, 5.33, 7.47, and 10.13 g per plant) and five rates of potassium chloride (0.30, 1.78, 2.97, 4.15, and 5.64 g per plant) were combined in a factorial scheme according to the Plan Puebla III matrix, totaling ten treatments. Nitrogen and potassium fertilization in the cultivation of ‘Pérola’ pineapple influenced the levels of translucency in the pulp of infructescences at commercial maturity. In this context, a high N rate (7.47 g of urea per plant) combined with a low K rate (1.78 g of KCl per plant) increased pulp translucency and reduced the content of yellow flavonoids. However, translucency decreased when K was supplied at 4.15 g of KCl per plant in combination with 7.47 g of urea per plant. Under the conditions of this study, the combination of 7.47 g of urea and 4.15 g of KCl per plant in the cultivation of ‘Pérola’ pineapple favored infructescence quality by maintaining low translucency levels and high contents of yellow flavonoids, reducing sugars, and soluble proteins in both the pulp and the central axis. Digital image processing proved to be an important tool for characterizing translucency and pulp color changes associated with this phenomenon.

Keywords: *Ananas comosus* var. *comosus*; Physiological disorders; RGB color system; CIE Lab system.

1 INTRODUÇÃO

O abacaxizeiro (*Ananas comosus* var. *comosus*) é uma das frutas tropicais mais consumidas no mundo. Sua ampla aceitação pode ser atribuída as suas excelentes características sensoriais, principalmente o sabor ácido-adocicado, fonte de fibras e vitamina C. No ano de 2014, o Brasil produziu aproximadamente 2,5 milhões de toneladas de abacaxi, mantendo a segunda posição na produção mundial (FAOSTAT, 2016). O Nordeste do Brasil é a principal região produtora de abacaxi no país, com uma contribuição de 40% na produção total, gerando renda e elevando a qualidade de vida das famílias de agricultores. Esta produção é destinada predominantemente ao mercado interno e em menor extensão à exportação.

Para atender as exigências de exportação, devem ser monitorados os elementos que compõem os padrões de qualidade da fruta, especialmente quanto às alterações na coloração da polpa (Hotegni et al., 2014). Estas alterações ocorrem principalmente em decorrência da translucidez e do escurecimento dos tecidos. A translucidez nas infrutescências do abacaxizeiro é um distúrbio fisiológico que pode se iniciar 2 a 4 semanas antes da colheita (Chen & Paull, 2001), deixando a polpa com aspecto aquoso. O desenvolvimento da translucidez está associado à redução da porosidade da polpa nos últimos estádios de desenvolvimento das infrutescências. Por sua vez, este evento é consequência de um maior movimento de água no apoplasto da polpa, favorecido pelo aumento de sacarose apoplástica e, subsequente, diminuição do potencial de soluto (Chen et al., 2000). Durante o armazenamento das infrutescências, a translucidez se intensifica e, posteriormente surgem manchas marrons caracterizando o escurecimento interno (Raimbault et al., 2010).

Tratamentos pós-colheita como a aplicação do 1-MCP (Dantas Junior et al., 2009), adequação da temperatura de armazenamento (Hong et al., 2013) e tratamentos com reguladores, tais como ácido salicílico (Lu et al., 2011) e ácido abscísico (Zhang et al., 2015) reduzem a incidência de translucidez e o escurecimento interno em abacaxi. Mas, o controle destas desordens ainda não é completamente compreendido. Também, não se conhece de que forma e/ou intensidade fatores pré e pós-colheita condicionam seu aparecimento e extensão. A adubação do solo com potássio no cultivo previne o escurecimento interno em abacaxi durante o armazenamento por reduzir a atividade de enzimas oxidativas, como a polifenoloxidase (Soares et al., 2005), que está entre as principais enzimas que caracterizam o processo (Raimbault et al., 2010). A adubação com nitrogênio, considerando apenas as exigências da cultura, de acordo com análise foliar e do solo, associada ao manejo do solo com cobertura vegetal e o controle de pragas após monitoramento, reduziu a taxa de senescência e a translucidez da polpa em abacaxi ‘Pérola’, durante o armazenamento sob condições ambiente, se comparadas a infrutescências oriundas da produção convencional, onde prevaleceu o manejo e práticas culturais normalmente utilizadas pelos produtores (Martins et al., 2012). A pulverização pré-colheita dos frutos com 1,3 g de cloreto de cálcio por

fruto em três aplicações, com intervalos de duas semanas, também reduz a incidência do escurecimento interno (Hewajulige et al., 2006).

Considerando o exposto, a adequação de práticas agrícolas, como o manejo nutricional, pode ser uma ferramenta adicional para o controle da translucidez e, conseqüentemente, redução da susceptibilidade ao escurecimento interno. Possivelmente a adubação com N (Martins et al., 2012) e K (Soares et al., 2005) influenciam no surgimento destes distúrbios durante a pós-colheita. Adicionalmente, N e K são os nutrientes mais requeridos pela cultura do abacaxizeiro (Pegoraro et al., 2014), sendo responsáveis pela alta produtividade e qualidade das infrutescências (Spironello et al., 2004). Contudo, há uma carência de estudos que demonstrem o efeito da adubação com N e K, sobretudo de forma associada, na ocorrência de translucidez na polpa do abacaxi e seu envolvimento no comprometimento da qualidade.

A severidade da translucidez em abacaxi pode ser precisamente quantificada com o uso de processamento de imagens digitais (Lima et al., 2015). Além disso, a medição da coloração através da visão computacional fornece uma caracterização detalhada da sua uniformidade em frutas e hortaliças (Wu & Sun, 2013), podendo ser uma ferramenta importante na caracterização da translucidez. A coloração obtida por sistema de visão computacional é representada por vários sistemas de coordenadas definidos como sistemas de cores. O sistema de cor RGB (*Red, Green e Blue*) tem sido o mais utilizado para inspeção da qualidade em frutas e hortaliças (Garrido-Novell et al., 2012; Zhang et al., 2014). Considerando a coloração como um dos atributos determinantes para a aparência e o consumo, assim como o grande número de fatores ligados à sua modificação, o estabelecimento de relações entre práticas de cultivo e mudanças na qualidade tem sido um desafio, sobretudo quando se trata do manejo nutricional.

Este trabalho objetivou avaliar a qualidade e translucidez por processamento de imagem digital de infrutescências do abacaxizeiro ‘Pérola’ produzidas sob adubação nitrogenada e potássica.

2 METODOLOGIA

2.1 MATERIAL VEGETAL, INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

A fase experimental de campo foi conduzida no município de Alhandra, Estado da Paraíba, Brasil, em área com solo é classificado como Latossolo Amarelo Distrófico argissólico (EMBRAPA, 2013). O clima predominante na região é o *As'*, quente e úmido, com temperaturas médias entre 22 e 26 °C. No ano de 2014, a precipitação foi de 1.787 mm no município (AESAs, 2016).

O abacaxizeiro da cultivar Pérola (*Ananas comosus* var. *comosus*) foi implantado em Janeiro de 2014, em leirões, no sistema de fileira simples, com espaçamento de 0,80 x 0,30 m. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), com três repetições. Os tratamentos, dispostos em esquema fatorial conforme a matriz Plan Puebla III (Turrent & Laird, 1975), consistiram da combinação de cinco doses de N e cinco doses de K, totalizando dez combinações (Tabela 1). A dose central de N e K

da matriz foi obtida a partir da média das recomendações dos Estados vizinhos, Pernambuco e Bahia, acrescida de 20%. As fontes de N, P e K utilizadas foram, respectivamente, uréia (45% N), superfosfato simples (18% P₂O₅) e cloreto de potássio (60% KCl). As doses de nitrogênio (N) e potássio (K) foram parceladas em três aplicações, realizadas aos 90, 190 e 290 dias após o plantio (DAP), aplicadas na axila das folhas basais. A adubação com fósforo (P) foi realizada em dose única (11,83 g por planta). As plantas receberam, ainda, aplicações foliares de B (4 kg.ha⁻¹ de bórax), Fe (4 kg.ha⁻¹ de sulfato ferroso), CuS (2 kg.ha⁻¹ de sulfato de cobre) e Zn (2 kg.ha⁻¹ de sulfato de zinco) a partir dos quatro meses, em intervalos de dois meses, até o décimo mês após o plantio (Oliveira et al., 2002).

A unidade experimental foi constituída por uma parcela contendo 60 plantas, sendo consideradas como área útil as 50 plantas centrais. A indução floral foi realizada aos 11 meses após o plantio. A colheita das infrutescências foi realizada aos 16 meses após o plantio, quando as infrutescências haviam atingido a maturidade fisiológica, apresentando coloração verde, com início de pintas amarelas na base e desprendimento da malha. Para cada repetição, foram colhidas 12 infrutescências que foram transportadas para o Laboratório de Biologia e Tecnologia Pós-Colheita do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba (CCA/UFPB) para avaliações.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos quanto às doses de ureia e cloreto de potássio, aplicados no cultivo do abacaxizeiro 'Pérola'. Alhandra-PB, janeiro de 2014 a abril de 2015.

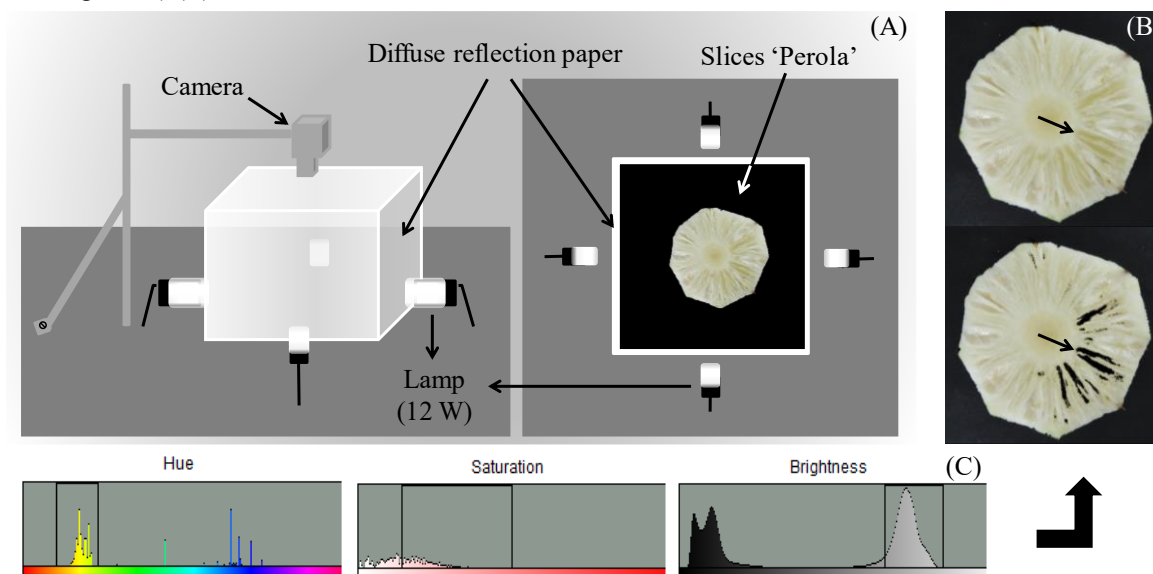
Tratamentos	Níveis		Ureia	KCl
	N	K	(g. planta ⁻¹)	
1	-0,4	-0,4	3,20	1,78
2	-0,4	0,4	3,20	4,15
3	0,4	-0,4	7,47	1,78
4	0,4	0,4	7,47	4,15
5	0,0	0,0	5,33	2,97
6	-0,9	-0,4	0,53	1,78
7	0,9	0,4	10,13	4,15
8	-0,4	-0,9	3,20	0,30
9	0,4	0,9	7,47	5,64
10	-0,9	-0,9	0,53	0,30

2.2 VARIÁVEIS ANALISADAS

2.2.1 Avaliação da translucidez, coloração da polpa e firmeza

Após o descascamento de cada infrutescência, uma fatia, com espessura de aproximadamente 2 cm, foi retirada transversalmente na região mediana. Imediatamente, foram capturadas imagens de 36 fatias de cada tratamento, utilizando-se uma câmara fotográfica Nikon Coolpix P5020 com resolução de 12.1 megapixel, sobre fundo preto. Para controle da iluminação, foram utilizadas quatro lâmpadas de 12 W, dispostas distalmente (10 cm) nas laterais de uma caixa especialmente desenvolvida, a partir de papel difuso branco, como representado na Figura 1A.

Figura 1. Esquema de controle de iluminação e captura de imagens de abacaxi 'Pérola' (A) e etapa de seleção da área translúcida da fatia (B) por Visão Computacional, utilizando o programa ImageJ®, através da ferramenta Threshold Color space HSB (Hue, Saturation e Brightness) (C).



A medição da área translúcida das fatias foi realizada através do processamento das imagens, utilizando o programa ImageJ®. Para a seleção da região de interesse (área translúcida na fatia), utilizou-se a ferramenta Threshold Color space HSB (Hue, Saturation e Brightness), ajustando-se os valores correspondentes a área translúcida em cada parâmetro de cor, como representado na Figura 1B e 1C. A área translúcida das fatias e também da área total foram obtidas através do comando Analyze Particles.

Os valores de translucidez foram expressos em percentagem como segue:

$$AT (\%) = (ATP/AFP) * 100$$

em que: AT = área translúcida; ATP = área translúcida em pixel e AFP = área total da fatia em pixel.

A coloração da polpa nas fatias foi avaliada através de leitura direta com o colorímetro Minolta CM-508d, o qual expressa a cor no sistema CIE Lab e, utilizando visão computacional, sistema RGB. Efetuaram-se duas leituras por fatia, com o colorímetro, alternando a posição de leitura. Os valores médios de cada canal RGB (Red, Green e Blue) foram obtidos computacionalmente, medindo-se as imagens das fatias através do comando Measure RGB do programa ImageJ®.

A firmeza da polpa foi determinada através de penetrômetro digital Fruit Hardness tested nas fatias do abacaxi, realizando-se duas leituras alternando a posição nas fatias, sendo os resultados expressos em Newton (N).

2.2.2 Flavonoides amarelos

Foram determinados na polpa e no eixo central, separadamente, de acordo com metodologia de Francis (1982), utilizando uma mistura de 85 ml de Etanol PA com 15 mL de solução de HCl (1,5 M) para a extração. Em seguida, a centrifugação foi realizada a 9000 rpm durante 5 minutos, removendo-se o sobrenadante e completando o volume final para 15 ml com a solução de extração. Leitura espectrofotométrica a 374 nm foi realizada em cubetas de quartzo usando o espectrofotômetro, Genesys 10S UV-VIS. Os resultados foram expressos em mg.100g⁻¹.

2.2.3 Carboidratos

Os teores de açúcares foram determinados na polpa e no eixo central utilizando o ácido dinitrosalicílico (DNS), de acordo com Miller (1959). O extrato foi preparado na proporção 1:50 (g de amostra:mL de água destilada), colocado em “banho-maria” (70°C) por cinco minutos, esfriado em banho de gelo. Após a filtração, foi realizada a determinação dos açúcares redutores (AR). Para a determinação dos açúcares solúveis totais (AST), foi retirado 25 mL do extrato anterior e adicionado 2 mL de HCl PA., seguido de “banho-maria” (70°C) por 30 minutos, banho de gelo e neutralização do pH com NaOH (2 M). O volume final foi aferido em 50 mL com água destilada. Foram utilizadas alíquotas de até os 1,5 mL dos extratos juntamente com 1 mL da solução de DNS. A reação foi iniciada com “banho-maria” a 70 °C e cessada com banho de gelo após 5 minutos. O volume final do tubo foi aferido em 10 mL com água destilada e a absorbância determinada em espectrofotômetro (GenesysTM 10s UV VIS) a 540 nm. Foi utilizado uma curva padrão de glicose variando de 0 a 1801,6 µg.

2.2.4 Proteínas solúveis

Os conteúdos de proteínas solúveis na polpa e no eixo central, separadamente, foram determinados utilizando método descrito por Bradford (1976). Para extração, 2 g de amostra foram homogeneizados juntamente com 10 mL de tampão fosfato de potássio 50 mM (pH 7,0), contendo 0,1 mM de EDTA e 0,1g de PVP. Após filtrado, foi centrifugado a 9000 rpm durante 25 min a 4 °C. O sobrenadante foi utilizado como extrato proteico. Alíquotas de 200 µL foram homogeneizadas por agitação juntamente com 2 ml do reagente de Bradford e mantido em repouso por 5 minutos. Procedeu-se a leitura das amostras em espectrofotômetro (GenesysTM 10s UV VIS) a 595 nm. Utilizou-se uma curva padrão com Gama-globulina bovina (0,23 a 1,6 mg mL⁻¹).

2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos à análise de variância. Para avaliar o efeito da interação das doses foi utilizada a técnica de superfície de resposta, realizando análise de regressão polinomial para o efeito (efeito

principal), testando-se até nível quadrático. Considerou-se a significância de até 5% de probabilidade e coeficiente de determinação (R^2) acima de 50%. Nos casos em que os ajustes não foram significativos ou os valores de R^2 foram baixos, os valores médios foram representados juntamente com desvios-padrões. Utilizou-se os softwares SAS 9.3 (2011) para as análises. Realizou-se, ainda, análise de correlação de Pearson utilizando-se o JMP® 10.0.0.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 A TRANSLUCIDEZ DA POLPA

A severidade da translucidez da polpa do abacaxi ‘Pérola’ no momento da colheita foi influenciada pela adubação com N e K. Contudo, não houve ajuste a nenhum modelo de superfície de resposta ou de regressão polinomial com R^2 satisfatório ($>50\%$). Entretanto, a combinação de 7,47 g de ureia por planta com 1,78 g de KCl por planta resultou em maior percentual de translucidez (Tabela 2). Notou-se que esta combinação resulta em elevada concentração do N em relação à concentração do K, com relação $N/K > 4$. Em contrapartida, quando 7,47 g de ureia por planta foram combinadas com 4,15 g de KCl por planta praticamente não houve incidência de translucidez. Apesar destas diferenças na severidade da translucidez, não foi verificado efeito significativo da adubação com N e K sobre a incidência em infrutescências apresentando sintomas de translucidez.

Tabela 2. Translucidez na polpa e conteúdo de flavanoides amarelos na polpa e do eixo central de infrutescências do abacaxizeiro ‘Pérola’ cultivados sob diferentes doses de nitrogênio (ureia) e potássio (KCl) combinadas.

Ureia (g.planta ⁻¹)	KCl	Translucidez (%)		Flav. amarelos (mg.100g ⁻¹)	
		Severidade	Incidência	polpa	eixo central
3,2	1,78	0,35± 0,24	8,89±0,96	0,80±0,05	1,03±0,12
3,2	4,15	1,14± 0,53	19,44±9,62	0,78±0,05	1,00±0,05
7,47	1,78	2,06± 0,86	36,11±13,97	0,73±0,07	1,04±0,16
7,47	4,15	0,07± 0,07	5,56±4,81	0,82±0,06	0,94±0,14
5,33	2,97	0,22± 0,34	13,89±11,35	0,93±0,06	1,06±0,08
0,53	1,78	0,32± 0,41	13,89±10,73	0,83±0,01	1,00±0,16
10,13	4,15	0,86± 0,58	13,89±9,62	0,82±0,07	1,15±0,14
3,2	0,3	0,24± 0,15	13,89±9,62	0,89±0,05	0,97±0,08
7,47	5,64	0,18± 0,24	8,33±6,33	0,90±0,04	1,05±0,09
0,53	0,3	0,17± 0,15	5,56±4,81	0,81±0,04	0,99±0,12
F-test		0,034	0,204	0,003	0,357

Médias±Desvio Padrão

Estudos sobre a influência de N ou K sobre a severidade da translucidez em abacaxi, no período de colheita, são escassos. Entretanto, Soares et al. (2005) relataram que a adubação com K no cultivo de abacaxizeiro ‘Smooth Cayenne’ reduziu a incidência de escurecimento interno durante o armazenamento,

por 15 dias a 7 °C, seguidos por 5 dias a 25 °C, simulando a condição de distribuição. O sistema de produção integrada, caracterizado por manejo do solo com cobertura vegetal, roçadas nas entrelinhas, adubação das plantas com base na análise do solo e análise foliar, respeitando os limites máximos de fertilizantes químicos, principalmente os nitrogenados, também reduziu a severidade da translucidez em infrutescências de abacaxizeiro ‘Pérola’, durante o armazenamento sob condições ambiente, se comparadas àquelas oriundas da produção convencional, em que prevalece o manejo e práticas culturais normalmente utilizadas pelos produtores (Martins et al., 2012). De acordo com Chen & Paull (2001), maior severidade da translucidez em abacaxi pode estar associada às alterações na permeabilidade da membrana, que é favorecida por um aumento da temperatura no último estágio de desenvolvimento das infrutescências.

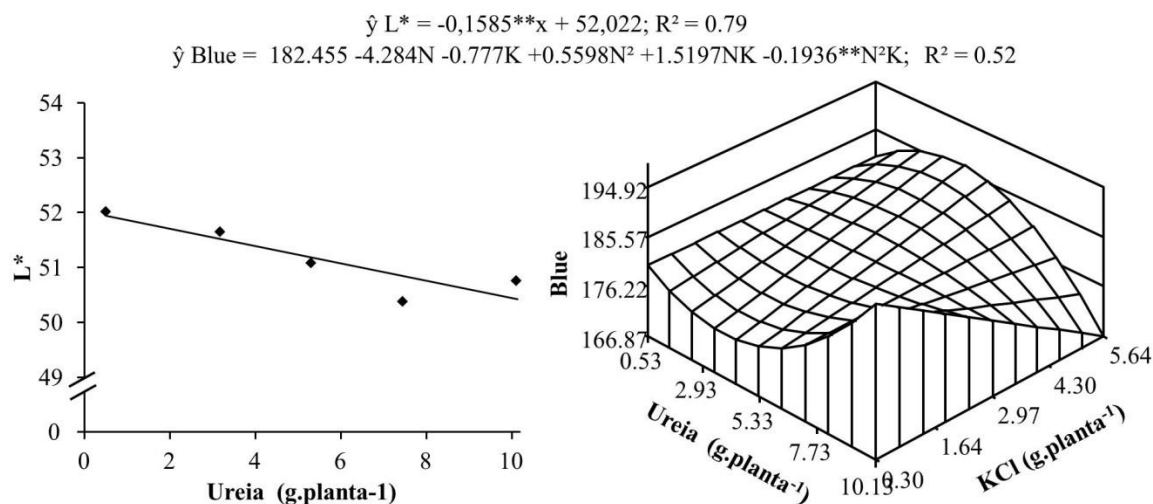
3.2 O CONTEÚDO DE FLAVANOIDES AMARELOS

A adubação com N e K também influenciou o conteúdo de flavanoides amarelos na polpa, mas não houve ajuste a um modelo de regressão com R^2 satisfatório. Contudo, a combinação de 7,47 g de ureia por planta com 1,78 g de KCl por planta resultou em menor conteúdo desses compostos (Tabela 2). Em abacaxi ‘Vitória’, a adubação com doses elevadas de ureia, a partir de 10 g por planta, também reduziu o conteúdo de flavanoides amarelos na polpa (Dantas et al., 2015). Outros fatores proporcionam respostas semelhantes à da adubação potássica no que se refere à redução do escurecimento interno em abacaxi. Infrutescências do abacaxizeiro ‘Comte de Paris’ tratadas com ácido salicílico na pré e pós-colheita apresentaram menor escurecimento interno e, conseqüentemente, preservaram o conteúdo de fenólicos totais quando comparadas às infrutescências do controle (Lu et al., 2011). Segundo esses autores, os compostos fenólicos são degradados no processo de escurecimento enzimático através da atividade da polifenoloxidase. A adubação com K reduziu a atividade da polifenoloxidase em infrutescências do abacaxi ‘Smooth Cayenne’ (Soares et al., 2005). Por sua vez, neste trabalho, a adubação com N e K não influenciou a concentração de flavanoides amarelos na porção do eixo central do abacaxi ‘Pérola’.

3.3 COLORAÇÃO DA POLPA

O aumento nas doses de N, independentemente do K, promoveu uma pequena redução nos valores de L^* (Figura 2A). Por sua vez, o efeito combinado de altas doses de ureia e baixas de KCl e vice-versa elevou os valores de blue nas imagens das fatias. Mas, quando ambos os nutrientes foram fornecidos em doses elevadas, houve redução nos valores de blue (Figura 2B). Os parâmetros a^* e b^* , assim como Red e Green, não foram influenciados pela adubação combinando diferentes doses de nitrogênio e potássio (Tabela 3).

Figura 2. Efeito isolado das doses de nitrogênio sobre o parâmetro de cor L^* (A) e superfície de resposta com o efeito combinado de nitrogênio (Ureia) e potássio (KCl) sobre o parâmetro de cor Blue (B) de infrutescências do abacaxizeiro 'Pérola'. **Significativo até 1%.



De acordo com Hotegni et al. (2014), a coloração da polpa do abacaxi é um dos atributos de qualidade mais valorizado na comercialização. Embora, nas condições deste experimento, as respostas das variáveis objetivas de cor tenham sido pouco expressivas, as alterações na coloração da polpa do abacaxi estão associadas ao desenvolvimento da translucidez (Montero-Calderón et al., 2008; Lima et al., 2015) que posteriormente contribuem no escurecimento interno (Raimbault et al., 2010). Lima et al. (2015) avaliaram as mudanças na coloração da polpa do abacaxi 'Pérola' minimamente processado, tanto no sistema CIE Lab como RGB, obtendo forte correlação da coloração com a evolução da translucidez.

Tabela 3. Parâmetros de coloração (L^* , a^* e b^* ; RGB) da polpa de infrutescências do abacaxizeiro 'Pérola' cultivados sob diferentes doses de nitrogênio (ureia) e potássio (KCl) combinadas, obtidos por colorímetro e por sistema de visão computacional.

Ureia (g.planta ⁻¹)	KCl (g.planta ⁻¹)	Colorímetro			Sistema de visão computacional		
		L	a^*	b^*	Red	Green	Blue
3,2	1,78	52,46±1,8	4,19±0,5	26,79±1,6	189,96±10,4	191,44±9,3	176,45±11,2
3,2	4,15	51,27±2,8	4,07±0,3	26,23±1,3	197,56±10,6	197,91±9,5	184,01±11,1
7,47	1,78	49,94±2,5	3,88±0,4	26,50±1,7	195,65±9,3	196,29±8,3	181,52±9,9
7,47	4,15	50,26±2,1	3,95±0,4	25,74±1,1	196,35±8,9	196,40±7,8	181,63±8,1
5,33	2,97	51,08±2,0	3,91±0,4	25,47±1,0	192,96±9,7	193,51±9,0	179,61±9,8
0,53	1,78	51,43±2,3	3,90±0,4	25,90±1,7	192,94±11,6	193,84±10,6	180,52±12,6
10,13	4,15	50,76±2,6	3,94±0,5	26,19±1,1	189,55±10,6	190,68±9,7	174,39±10,7
3,2	0,3	51,22±1,7	3,87±0,3	26,08±1,3	189,70±11,1	190,77±10,4	176,56±10,8
7,47	5,64	50,94±2,8	3,93±0,5	26,06±1,4	193,33±11,2	194,08±10,3	180,41±10,8
0,53	0,3	52,60±1,6	4,12±0,3	25,98±0,8	192,69±9,6	193,62±8,8	180,10±9,1
F-test,		0,022	0,067	0,241	0,115	0,072	0,036

Médias±Desvio Padrão

Adicionalmente, o processamento de imagens digitais permitiu não somente a avaliação da severidade da translucidez nas fatias de abacaxi ‘Pérola’, nas condições deste experimento, como demonstrou ser uma ferramenta importante na caracterização das mudanças na coloração da polpa associadas a este fenômeno, através da intensidade dos valores de Blue nas imagens das fatias. Neste contexto, os valores de RGB de imagens, juntamente com os valores de L^* , foi demonstrado como ferramenta capaz de caracterizar a evolução da cor durante o armazenamento de abacaxi ‘Pérola’ minimamente processado (Lima et al., 2015) e de maçãs integras (Garrido-Novell et al., 2012), além de diferenciar a qualidade em muitas frutas e hortaliças (Zhang et al., 2014). Assim, o sistema de visão computacional apresenta elevada precisão associada a baixos custos, podendo ser uma ferramenta capaz de substituir o trabalho humano na inspeção da qualidade (Quevedo et al., 2010).

3.4 CARBOIDRATOS DA POLPA E DO EIXO CENTRAL

Com relação aos carboidratos, a adubação com N e K não influenciou os teores de açúcares solúveis totais e de açúcares não redutores em ambas as porções avaliadas, polpa e eixo central (Tabela 4). Os teores de açúcares solúveis totais variaram de 8,52 a 11,84 g.100 g⁻¹ na polpa e 8,76 a 11,95 g.100 g⁻¹ no eixo central. Os teores de açúcares não redutores no eixo central foram ligeiramente superiores aos observados para a polpa, 5,64 e 4,78 g.100 g⁻¹, respectivamente. Em abacaxi ‘Vitória’, Dantas et al. (2015) relataram que o aumento nas doses de N, fornecido tanto na forma de ureia como na forma orgânica (cama de frango), reduziram os teores de açúcares solúveis totais e não redutores. Entretanto, os teores de sólidos solúveis de abacaxi variedade N36 não foram influenciados por doses crescentes de adubação nitrogenada, segundo Arshad e Armanto (2012). Da mesma forma, a adubação com doses crescentes de cama de frango contendo quantidades significativas de N (1,97%) não influenciou os teores de sólidos solúveis e de açúcares solúveis totais do abacaxi ‘Pattavia’ (Isuwan, 2013).

Tabela 4. Teores de açúcares solúveis totais (AST) e de açúcares não redutores (ANR) da polpa e eixo central de infrutescências do abacaxizeiro 'Pérola' cultivados sob diferentes doses combinadas de nitrogênio (ureia) e potássio (KCl).

T	Ureia	KCl	AST (g.100g ⁻¹)		ANR (g.100g ⁻¹)	
	(g.planta ⁻¹)		polpa	eixo central	polpa	eixo central
1	3,2	1,78	11,84±0,9	9,86±0,6	6,88±1,0	5,46±0,5
2	3,2	4,15	10,24±0,7	9,34±1,3	4,86±0,5	5,42±1,2
3	7,47	1,78	10,09±0,6	11,70±2,3	4,68±0,3	6,95±1,7
4	7,47	4,15	9,91±1,0	11,89±1,4	4,34±1,5	6,84±0,7
5	5,33	2,97	8,52±1,3	9,60±1,9	3,64±0,6	5,25±1,3
6	0,53	1,78	10,57±0,3	11,95±3,4	4,68±0,8	6,22±1,9
7	10,13	4,15	9,52±0,9	10,09±2,9	4,58±0,4	4,87±1,6
8	3,2	0,3	8,68±0,8	9,47±2,2	4,02±0,4	4,62±0,8
9	7,47	5,64	9,68±1,5	9,86±0,8	5,05±0,7	5,70±1,3
10	0,53	0,3	9,85±0,5	8,76±0,7	5,08±0,3	5,08±0,3
F-test			0,164	0,096	0,059	0,063

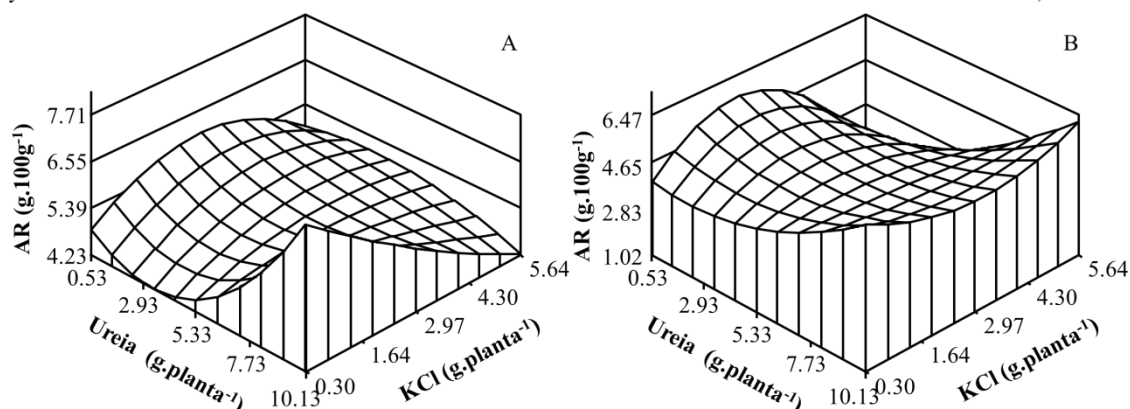
Médias±Desvio Padrão; T = tratamentos

O aumento nas doses de K em até 2,97 g de KCl por planta elevaram os teores de açúcares redutores (AR) na polpa e no eixo central quando N foi fornecido em doses baixas ou em até 5,33 g de ureia por planta (Figura 3A e B). Por sua vez, o aumento no fornecimento de N, principalmente quando combinado com 2,97 g de KCl por planta, reduziu os AR. Na polpa, elevadas doses de N combinadas com doses baixas de K resultaram no acúmulo de AR, embora doses mais altas de N e K reduziram os teores deste carboidrato. Na porção do eixo central, os menores conteúdos de AR ocorreram quando potássio estava muito elevado, em doses acima de 4,30 g de KCl por planta, combinado com doses baixas de N.

Figura 3. Superfície de resposta com o efeito combinado de nitrogênio (ureia) e potássio (KCl) sobre o conteúdo de açúcares redutores na polpa (A) e eixo central (B) de infrutescências do abacaxizeiro 'Pérola'. **Significativo até 1%, *Significativo até 5%.

$$\hat{y} \text{ AR polpa} = 4.86 - 0.527N + 0.923**K + 0.0822**N^2 - 0.1668**K^2 + 0.0087*N \times K - 0.0179**N^2 \times K + 0.0194*N \times K^2; R^2 = 0.72$$

$$\hat{y} \text{ AR talo} = 3.364 - 0.1135**N + 2.094K + 0.04423**N^2 - 0.4498**K^2 - 0.2696NK - 0.00347**N^2K + 0.060**NK^2; R^2 = 0.78$$



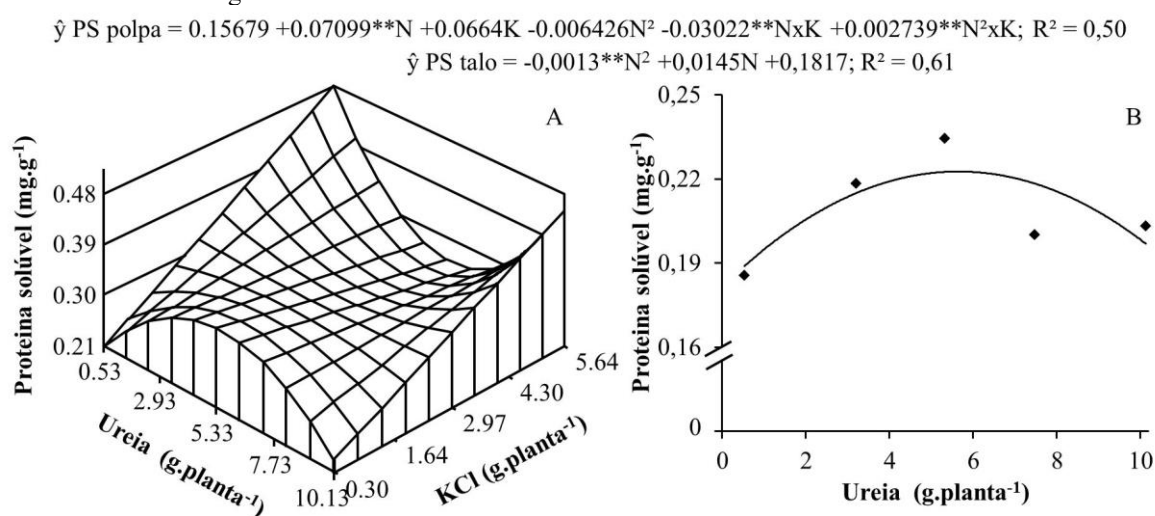
O efeito conhecido de altas doses de adubação nitrogenada, independentemente do K, na cultura do abacaxizeiro é o de reduzir os conteúdos de açúcares nas infrutescências (Omotoso & Akinrinde, 2013;

Dantas et al., 2015). Da mesma forma, o efeito positivo que a adubação com K promove sobre os conteúdos de açúcares em abacaxi já foram relatados (Spironello et al., 2004; Caetano et al., 2013). Contudo, combinando diferentes doses de N e K na adubação do abacaxizeiro ‘Pérola’, observou-se que o máximo conteúdo de açúcares da polpa quando K estava deficiente e N elevado. Possivelmente, N favoreceu a fotossíntese e, portanto, a produção de carboidratos, mas o K é necessariamente importante na redistribuição dos foto-assimilados (Alemán et al., 2011) e estava deficiente.

3.5 PROTEÍNAS SOLÚVEIS E FIRMEZA DA POLPA

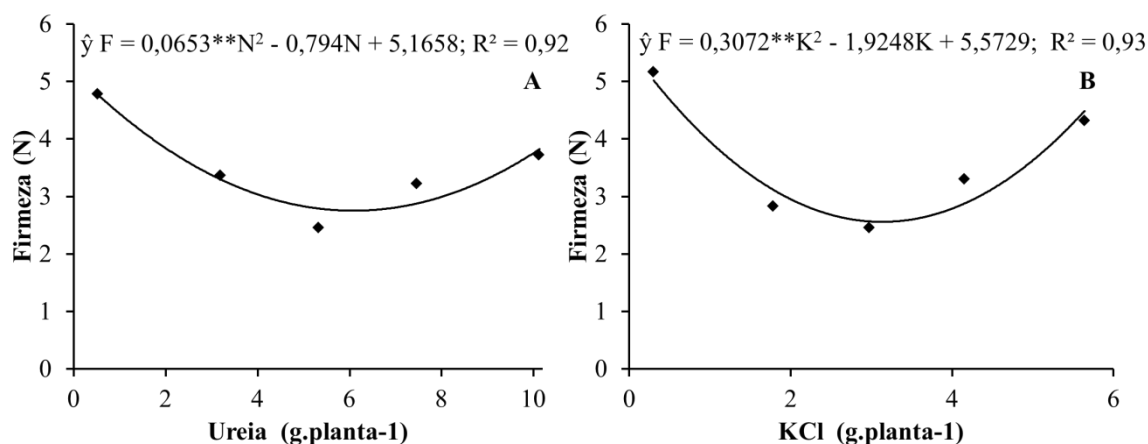
O conteúdo de proteínas solúveis na polpa do abacaxi ‘Pérola’ aumentou à medida em que as doses de N e K aumentaram (Figura 4A). Mas quando K estava baixo, em doses inferiores a 1,64 g de KCl por planta, doses muito elevadas de N, superiores a 5,33 g de ureia por planta, reduziram o conteúdo de proteínas na polpa. O aumento nas doses de N em até 5,58 g de ureia por planta, independentemente do K, também aumentou o conteúdo de proteínas solúveis na porção do eixo central, que sofreu redução a partir desta dose (Figura 4B). O N é um dos principais constituintes de aminoácidos e proteínas. Sob deficiência de N, a síntese de aminoácidos é direcionada para a produção de compostos do metabolismo secundário, relacionados com a defesa vegetal, favorecendo a redução do conteúdo de proteínas solúveis (Ibrahim et al., 2011). O K também é, necessariamente, importante na síntese de proteínas (Chérel et al., 2014). Assim, o menor conteúdo de proteínas quando N estava elevado e K reduzido pode ser atribuído à deficiência do K nos tecidos, favorecida pela diluição deste nutriente em decorrência do excesso de N (Marschner, 2012).

Figura 4. Superfície de resposta com o efeito combinado de nitrogênio (ureia) e potássio (KCl) sobre conteúdo de proteínas solúveis na polpa (A) e efeito isolado de nitrogênio sobre o conteúdo de proteínas solúveis no eixo central (B) de infrutescências do abacaxizeiro ‘Pérola’. **Significativo até 1%.



O aumento nas doses de N até 6,08 g de ureia por planta e K até 3,13 g de KCl por planta reduziu a firmeza da polpa do abacaxi ‘Pérola’ (Figura 5A e B). Provavelmente, por que a adubação nitrogenada aumenta o tamanho e peso das infrutescências de abacaxi (Caetano et al., 2013) principalmente se combinada com K (Spironello et al., 2004), favorecendo o aumento do volume celular e a menor área de contato célula-a-célula, tornando os tecidos menos firmes (Toivonen & Brummell, 2008). Contudo, a partir destas doses, o fornecimento de ambos os nutrientes resultou no aumento de firmeza da polpa, principalmente o K, mas este efeito foi observado para cada nutriente isoladamente.

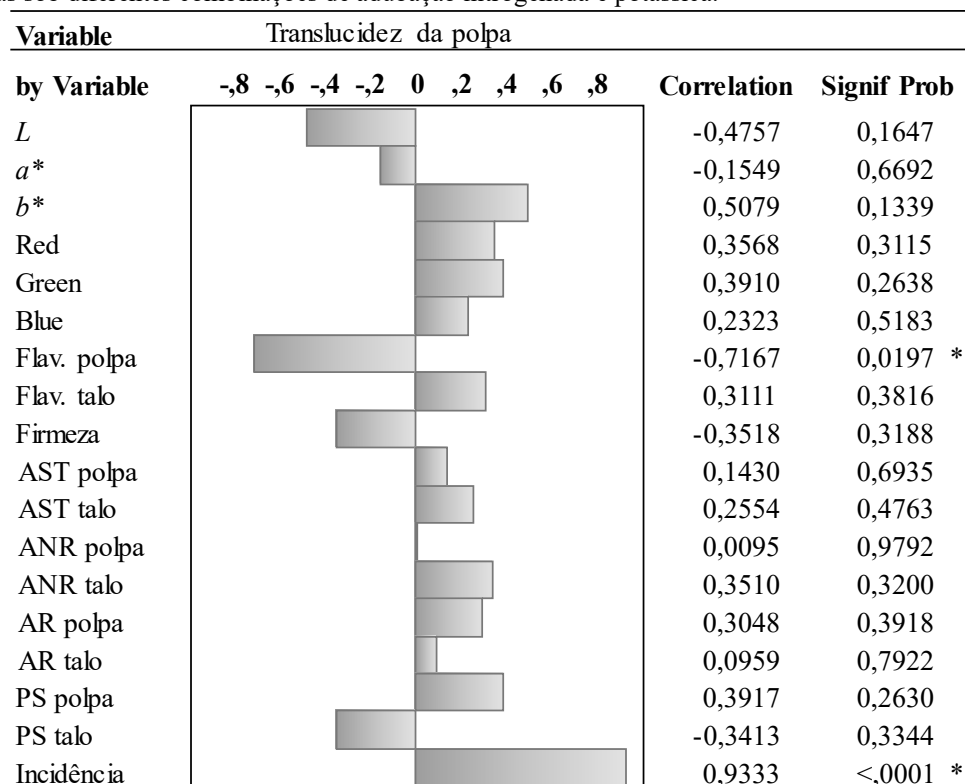
Figura 5. Efeito isolado de ureia (A) e KCl (B) sobre firmeza da polpa de infrutescências do abacaxizeiro ‘Pérola’. **Significativo até 1%.



3.6 CORRELAÇÃO DA TRANSLUCIDEZ DA POLPA COM AS MUDANÇAS NA QUALIDADE

O conteúdo de flavanoides amarelos na polpa foi correlacionado negativamente com a translucidez ($r = -0,72$), indicando que o desenvolvimento da translucidez em abacaxi ‘Pérola’, cultivado sob adubação nitrogenada e potássica, está associada com a degradação dos flavanoides amarelos (Figura 6). Este resultado pode estar associado a maior atividade da polifenoloxidase favorecida pela deficiência de K (Soares et al., 2005).

Figura 6. Correlação da translucidez da polpa com as mudanças nos atributos de qualidade de infrutescências do abacaxizeiro 'Pérola' produzidas sob diferentes combinações de adubação nitrogenada e potássica.



O parâmetro de cor L* apresentou correlação moderada negativa com a translucidez da polpa ($r = -0,48$), mas esta correlação não foi significativa. Contudo, Montero-Calderón et al. (2008) observaram diminuição nos valores de L* em decorrência do desenvolvimento da translucidez em abacaxi 'Gold' minimamente processado e armazenados em diferentes condições de embalagens durante 20 dias a 5 °C. As correlações com sistema de cor RGB também foram caracterizadas por coeficientes de valores baixos e não significativas. Da mesma forma, a firmeza demonstrou baixa correlação negativa, enquanto os conteúdos de carboidratos demonstraram baixa correlação positiva com a translucidez, mas todos não significativos. De acordo com Pathaveerat et al. (2008), a firmeza da polpa de abacaxi 'Pattavia' foi menor em infrutescências com maior grau de translucidez, em decorrência da maturidade avançada, enquanto o conteúdo de sólidos solúveis foi mais elevado. De fato, o metabolismo de carboidratos é positivamente relacionado com o desenvolvimento da translucidez, pois o aumento de sacarose no apoplasto da polpa reduz o potencial de soluto, favorecendo um maior fluxo de água, que conduz a redução da porosidade e a translucidez da polpa (Chen & Paull, 2000).

As infrutescências avaliadas neste trabalho apresentavam-se na maturidade fisiológica, ponto de colheita comercial, portanto, com níveis iniciais de translucidez, como pode ser confirmado na Tabela 2. Consequentemente, isso pode explicar os valores de correlação entre a translucidez e as alterações na coloração, firmeza e os conteúdos de açúcares que foram baixos. Outros trabalhos são necessários para se

compreender melhor o possível efeito da adubação nitrogenada e potássica no desenvolvimento da translucidez e a relação desta com as alterações na qualidade do abacaxizeiro ‘Pérola’. Novos trabalhos devem levar em conta as mudanças no período pós-colheita, quando a translucidez pode se intensificar e os sintomas de escurecimento interno se sobressaírem (Raimbault et al., 2010; Zhou et al., 2014; Nukuntornprakit et al., 2015). Adicionalmente, é preciso esclarecer como estes distúrbios fisiológicos podem ser minimizados pela adubação potássica (Soares et al., 2005) e como, de acordo com este trabalho, a adubação nitrogenada e potássica influenciam a incidência no momento da colheita.

4 CONCLUSÃO

Nas condições em que este trabalho foi realizado, a combinação de 7,47 g de ureia com 4,15 g de KCl por planta no cultivo do abacaxizeiro ‘Pérola’ favorece a qualidade das infrutescências, mantendo baixos os níveis de translucidez e elevados valores de luminosidade (L^*) da polpa, conteúdos de flavanoides amarelos, dos açúcares redutores e das proteínas solúveis na polpa e no eixo central. Por sua vez, o processamento de imagens digitais demonstrou ser uma ferramenta importante na caracterização da translucidez e das mudanças na coloração da polpa associadas a este fenômeno.

REFERÊNCIAS

- AESA. (2016). Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. <http://www.aesa.pb.gov.br/>.
- Alemán, F., Nieves-Cordones, M., Martínez, V., & Rubio, F. (2011). Root K⁺ acquisition in plants: the *Arabidopsis thaliana* model. *Plant and Cell Physiology*, 52(9), 1603-1612.
- Arshad, A. M., & Armanto, M. E. (2012). Effect of nitrogen on growth and yield of pineapple grown on BRIS Soil. *Journal of Environmental Science and Engineering. B*, 1(11B), 1285.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72(1), 248-254.
- Caetano, L. C. S., Ventura, J. A., Costa, A. F. S., & Guarçoni, R. C. (2013). Efeito da adubação com Nitrogênio, Fósforo e Potássio no desenvolvimento, na produção e na qualidade de frutos do abacaxi 'Vitória'. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35(3), 883-890.
- Chen, C. C., & Paull, R. E. (2000). Sugar metabolism and pineapple flesh translucency. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 125(5), 558-562.
- Chen, C. C., & Paull, R. E. (2001). Fruit temperature and crown removal on the occurrence of pineapple fruit translucency. *Scientia Horticulturae*, 88(2), 85-95.
- Chérel, I., Lefoulon, C., Boeglin, M., & Sentenac, H. (2014). Molecular mechanisms involved in plant adaptation to low K⁺ availability. *Journal of experimental botany*, 65(3), 833-848.
- Dantas Júnior, O. R., Silva, S. D. M., Alves, R. E., & Silva, E. D. O. (2009). Suscetibilidade a dano pelo frio em abacaxi 'Pérola' tratado com 1-metilciclopropeno. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 31(1), 135-144.
- Dantas, A. L., de Melo Silva, S., Dantas, R. L., Pereira, W. E., Lima, R. P., Mendonça, R. M. N., & Santos, D. (2015). Influence of combined sources of nitrogen fertilization on quality of cv. Vitória pineapple. *African Journal of Agricultural Research*, 10(40), 3814-3824.
- EMBRAPA. (2013). Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 3^o ed., 353p.
- FAOSTAT, FAO. (2016). Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division. <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>.
- Francis F. J. (1982). Analysis of anthocyanins. In: Markakis P (Ed.), *Anthocyanins as Food Colors*. New York: Academic Press. pp.181-207.
- Garrido-Novell, C., Pérez-Marin, D., Amigo, J. M., Fernández-Novales, J., Guerrero, J. E., & Garrido-Varo, A. (2012). Grading and color evolution of apples using RGB and hyperspectral imaging vision cameras. *Journal of Food Engineering*, 113(2), 281-288.
- Hewajulige, I. G., Wilson Wijeratnam, S., & Wijesundera, R. L. (2006). Pre-harvest application of calcium to control black heart disorder in Mauritius pineapples during low-temperature storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(3), 420-424.

Hong, K., Xu, H., Wang, J., Zhang, L., Hu, H., Jia, Z., ... & Gong, D. (2013). Quality changes and internal browning developments of summer pineapple fruit during storage at different temperatures. *Scientia Horticulturae*, 151, 68-74.

Hotegni, V. N. F., Lommen, W. J., van der Vorst, J. G., Agbossou, E. K., & Struik, P. C. (2014). Bottlenecks and opportunities for quality improvement in fresh pineapple supply chains in Benin. *International Food and Agribusiness Management Review*, 17(3), 139-170.

IBGE. (2016). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <http://www.ibge.gov.br/home/>.

Ibrahim, M. H., Jaafar, H. Z., Rahmat, A., & Rahman, Z. A. (2011). Effects of nitrogen fertilization on synthesis of primary and secondary metabolites in three varieties of kacip Fatimah (*Labisia pumila* Blume). *International journal of molecular sciences*, 12(8), 5238-5254.

Isuwan A. (2014). Agronomic traits and fruit quality of pineapple with different levels of chicken manure application. *Silpakorn Univ. Sci. Technol. J.* 8(1):67-73.

Khan, S. A., Mulvaney, R. L., & Ellsworth, T. R. (2014). The potassium paradox: Implications for soil fertility, crop production and human health. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 29(01), 3-27.

Lima, R. P., Silva, S. M., Dantas, R. L., Dantas, A. L., Sousa, A. S. B., Pereira, W. E., Mendonça, R. M. N. (2015). Use of Digital Image Processing for Evaluation of Translucency in Fresh Cut 'PÉROLA' Pineapple Coated with Biofilms. III International Conference on Fresh-cut Produce: Maintaining Quality & Safety, September 13-18.

Lu, X., Sun, D., Li, Y., Shi, W., & Sun, G. (2011). Pre-and post-harvest salicylic acid treatments alleviate internal browning and maintain quality of winter pineapple fruit. *Scientia Horticulturae*, 130(1), 97-101.

Marschner, H. (2011). Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic press.

Miller G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. *Anal. Chem.* 31(3):426-8.

Martins, L. P., Silva, S. M., Silva, A. P., Cunha, G. A. P., Mendonça, R., Vilar, L. C., Mascena, J., & Lacerda, J. T. (2012). Conservação pós-colheita de abacaxi 'Pérola' produzido em sistemas convencional e integrado. *Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal*, 34(3), 695-703.

Mohammad Sokri, S., Babalar, M., Barker, A. V., Lesani, H., & Asgari, M. A. (2015). Fruit Quality and Nitrogen, Potassium, and Calcium Content of Apple as Influenced by Nitrate: Ammonium Ratios in Tree Nutrition. *Journal of Plant Nutrition*, 38(10), 1619-1627.

Montero-Calderón, M., Rojas-Graü, M. A., & Martín-Belloso, O. (2008). Effect of packaging conditions on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). *Postharvest biology and technology*, 50(2), 182-189.

Nukuntornprakit, O. A., Chanjirakul, K., van Doorn, W. G., & Siriphanich, J. (2015). Chilling injury in pineapple fruit: Fatty acid composition and antioxidant metabolism. *Postharvest Biology and Technology*, 99, 20-26.

Oliveira, E. D., Carvalho, R. A., Lacerda, J. D., Choairy, S. A., & Barreiro Neto, M. (2002). Abacaxi: sistema de cultivo para o tabuleiro paraibano. João Pessoa: EMEPA, 2002, 38p.

Omotoso, S. O., & Akinrinde, E. A. (2013). Effect of nitrogen fertilizer on some growth, yield and fruit quality parameters in pineapple (*Ananascomosus* L. Merr.) plant at Ado-Ekiti Southwestern, Nigeria. *Int. Res. J. Agric. Sci. Soil Sci.*, 3(1), 11-16.

Pathaveerat, S., Terdwongworakul, A., & Phaungsombut, A. (2008). Multivariate data analysis for classification of pineapple maturity. *Journal of Food Engineering*, 89(2), 112-118.

Pegoraro, R. F., Souza, B. A. M. D., Maia, V. M., Silva, D. F. D., Medeiros, A. C., & Sampaio, R. A. (2014). Macronutrient uptake, accumulation and export by the irrigated'vitória'pineapple plant. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(3), 896-904.

Quevedo, R. A., Aguilera, J. M., & Pedreschi, F. (2010). Color of salmon fillets by computer vision and sensory panel. *Food and Bioprocess Technology*, 3(5), 637-643.

Raimbault, A. K., Marie-Alphonsine, P. A., Horry, J. P., Francois-Haugrin, M., Romuald, K., & Soler, A. (2010). Polyphenol oxidase and peroxidase expression in four pineapple varieties (*Ananas comosus* L.) after a chilling injury. *Journal of agricultural and food chemistry*, 59(1), 342-348.

Soares, A. G., Trugo, L. C., Botrel, N., & da Silva Souza, L. F. (2005). Reduction of internal browning of pineapple fruit (*Ananas comosus* L.) by preharvest soil application of potassium. *Postharvest Biology and Technology*, 35(2), 201-207.

Spironello, A., Quaggio, J. A., Teixeira, L. A. J., Furlani, P. R., & Sigrist, J. M. M. (2004). Pineapple yield and fruit quality effected by NPK fertilization in a tropical soil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26(1), 155-159.

Toivonen, P. M., & Brummell, D. A. (2008). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 48(1), 1-14.

Turrent, A. & Laird, R. J. (1975). La matriz experimental Plan Puebla, para ensayos sobre prácticas de producción de cultivos. *Agrociencia*, 19, 117-143.

Wu, D., & Sun, D. W. (2013). Colour measurements by computer vision for food quality control—A review. *Trends in Food Science & Technology*, 29(1), 5-20.

Zhang, B., Huang, W., Li, J., Zhao, C., Fan, S., Wu, J., & Liu, C. (2014). Principles, developments and applications of computer vision for external quality inspection of fruits and vegetables: A review. *Food Research International*, 62, 326-343.

Zhang, Q., Liu, Y., He, C., & Zhu, S. (2015). Postharvest Exogenous Application of Absciscic Acid Reduces Internal Browning in Pineapple. *Journal of agricultural and food chemistry*, 63(22), 5313-5320.

Zhou, Y., Pan, X., Qu, H., & Underhill, S. J. (2014). Low temperature alters plasma membrane lipid composition and ATPase activity of pineapple fruit during blackheart development. *Journal of bioenergetics and biomembranes*, 46(1), 59-69.

***Nigella sativa* L.: PRODUÇÃO AGRÁRIA, COMPOSTOS BIOATIVOS E APLICAÇÕES EM ALIMENTOS FUNCIONAIS COM ABORDAGEM DE EYE-TRACKING E EXPERIMENT BUILDER**

***Nigella sativa* L.: AGRICULTURAL PRODUCTION, BIOACTIVE COMPOUNDS, AND APPLICATIONS IN FUNCTIONAL FOODS USING AN EYE-TRACKING AND EXPERIMENT BUILDER APPROACH**

 <https://doi.org/10.63330/aurumpub.030-004>

Elienae da Silva Gomes

Doutora em Ciências de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá - UEM
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4657-4459>

Andrea Cecilia Broncano Maltese

Mestranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos
Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0488-9272>

Bianca Pazinato

Mestranda em Ciência de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá - UEM
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8534-2502>

Deborah Heloise Fernandes Machado

Mestranda em Biociências e Fisiopatologia
Universidade Estadual de Maringá - UEM
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6327-3657>

Gabrieli de França Tonhão

Engenheira de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá - UEM
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3055-9342>

Isadora Maria Melo Torres

Engenheira de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá - UEM
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5478-9748>

Julie Suzan da Silva

Mestranda em Engenharia de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá - UEM
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9258-5404>

Luana Morais Antonini

Doutoranda em Ciências de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá - UEM
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5462-7242>

Simone Maria Altoé Porto

Doutoranda em Ciências de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá - UEM
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8182-9199>

RESUMO

A Nigella sativa L., conhecida popularmente como cominho-preto, tem despertado crescente interesse na Ciência de Alimentos devido ao seu elevado potencial funcional. Este capítulo teve como objetivo analisar os principais aspectos relacionados à composição bioativa e aplicações tecnológicas da *Nigella sativa L.* como alimento funcional, integrando uma abordagem inovadora de análise do consumidor por meio do uso do Eye-Tracking aliado ao software Experiment Builder. A metodologia adotada consistiu em uma revisão narrativa da literatura científica, contemplando estudos sobre cultivo, condições edafoclimáticas, colheita, pós-colheita, composição química, processamento e incorporação da *Nigella sativa L.*, em matrizes alimentares funcionais, bem como pesquisas que empregam técnicas de rastreamento ocular na avaliação de rótulos e alegações nutricionais. Os resultados evidenciam que fatores agronômicos e tecnológicos influenciam diretamente a qualidade da matéria-prima e a concentração de compostos bioativos, com destaque para a timoquinona, os ácidos graxos essenciais e os compostos fenólicos, associados à elevada atividade antioxidante e a efeitos benéficos à saúde. Adicionalmente, a aplicação do Eye-Tracking permite compreender de forma objetiva a atenção visual e a percepção do consumidor frente às informações nutricionais e funcionais, contribuindo para o desenvolvimento de produtos mais eficazes. Conclui-se que a *Nigella sativa L.* apresenta elevado potencial como ingrediente funcional, sendo a integração entre produção agrícola, tecnologia de alimentos e análise do comportamento do consumidor uma estratégia promissora para inovação, sustentabilidade e promoção da saúde.

Palavras-chave: *Nigella sativa L.*; Alimentos funcionais; Compostos bioativos; Eye-Tracking; Comportamento do consumidor.

ABSTRACT

Nigella sativa L., commonly known as black cumin, has attracted growing interest in food science due to its high functional potential. This chapter aimed to analyze the main aspects related to the bioactive composition and technological applications of *Nigella sativa L.* as a functional food, integrating an innovative approach to consumer analysis through the use of eye tracking combined with Experiment Builder software. The methodology adopted consisted of a narrative review of the scientific literature, covering studies on cultivation, soil and climate conditions, harvesting, post-harvesting, chemical composition, processing, and incorporation of *Nigella sativa L.* into functional food matrices, as well as research employing eye-tracking techniques in the evaluation of labels and nutritional claims. The results show that agronomic and technological factors directly influence the quality of the raw material and the concentration of bioactive compounds, with emphasis on thymoquinone, essential fatty acids, and phenolic compounds, associated with high antioxidant activity and beneficial health effects. Additionally, the application of Eye-Tracking allows for an objective understanding of consumer visual attention and perception of nutritional and functional information, contributing to the development of more effective products. It is concluded that *Nigella sativa L.* has high potential as a functional ingredient, and that the integration of agricultural production, food technology, and consumer behavior analysis is a promising strategy for innovation, sustainability, and health promotion.



Keywords: *Nigella sativa* L.; Functional foods; Bioactive compounds; Eye-Tracking; Consumer behavior.

1 INTRODUÇÃO

A *Nigella sativa* L., conhecida popularmente como cominho-preto, é uma espécie vegetal pertencente à família Ranunculaceae que tem despertado crescente interesse na ciência de alimentos e devido ao seu elevado potencial funcional e às suas múltiplas aplicações ao longo da cadeia produtiva. Muito utilizada na culinária e na medicina tradicional em diferentes culturas, essa espécie vem sendo investigada como fonte natural de compostos bioativos capazes de promover benefícios à saúde além da nutrição básica (Ali; Blunden, 2003; Butt; Sultan, 2010; Alu'Datt et al., 2024).

Estudos científicos demonstram que as sementes de *Nigella sativa* L., apresentam uma complexa composição fitoquímica, contendo óleos fixos e voláteis, compostos fenólicos, alcaloides, saponinas e ácidos graxos essenciais. Entre esses constituintes, destaca-se a timoquinona, considerada o principal marcador bioativo da espécie, associada a atividades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas, o que reforça seu potencial como ingrediente funcional em alimentos destinados à promoção da saúde (Hassanien et al., 2015; Randhawa; Al-Ghazzewy, 2011; Shahidi; Ambigaipalan, 2015).

Apesar do reconhecimento de seus benefícios, a qualidade funcional da *Nigella sativa* L., pode ser significativamente influenciada por fatores agrônômicos e ambientais, como condições edafoclimáticas, manejo agrícola, estágio de colheita e práticas de pós-colheita. Esses fatores interferem diretamente na concentração e estabilidade dos metabólitos secundários, impactando a funcionalidade e a padronização da matéria-prima destinada à aplicação em alimentos funcionais (Hefnawy; Ramadan, 2013; Khan; Shaikh, 2025).

Dessa maneira na cadeia produtiva de alimentos funcionais, torna-se essencial compreender a integração entre produção agrícola sustentável, processamento tecnológico e preservação dos compostos bioativos. Assim práticas inadequadas de processamento, armazenamento e incorporação em matrizes alimentares podem resultar em perdas significativas de compostos sensíveis, como a timoquinona, comprometendo a eficácia funcional dos produtos desenvolvidos (Rodriguez Amaya, 2016; Granato et al., 2020).

Além dos avanços relacionados à produção agrária, à caracterização fitoquímica e às aplicações tecnológicas da *Nigella sativa* L., estudos recentes têm destacado a importância de compreender como as informações associadas aos alimentos funcionais são percebidas e processadas pelos consumidores. Nesse contexto, abordagens metodológicas oriundas da ciência cognitiva e do comportamento do consumidor, como o Eye-Tracking, têm sido incorporadas à Nutrição e à Ciência de Alimentos como ferramentas objetivas para a análise da atenção visual e da tomada de decisão alimentar (Wedel; Pieters, 2008; Orquin; Mueller Loose, 2013).

O Eye-Tracking consiste no rastreamento dos movimentos oculares, permitindo identificar áreas de interesse visual, tempo de fixação e padrões de varredura do olhar diante de estímulos como rótulos

nutricionais, embalagens e alegações funcionais. Diferentemente de métodos autorrelatados, essa técnica fornece dados objetivos sobre o comportamento visual do consumidor, reduzindo vieses cognitivos e ampliando a compreensão dos processos de escolha alimentar (Holmqvist et al., 2011; Orquin; Mueller Loose, 2013).

A aplicação do Eye-Tracking na Nutrição tem sido amplamente explorada em estudos sobre rotulagem nutricional, alimentos funcionais e comunicação de benefícios à saúde, evidenciando que a atenção visual direcionada a informações específicas influencia significativamente a compreensão do produto e a intenção de compra (Bialkova et al., 2014; Van Herpen; Van Trijp, 2011). Nesse cenário, o uso de softwares especializados, como o Experiment Builder, permite a construção de experimentos controlados e reproduzíveis, assegurando a apresentação padronizada dos estímulos visuais e a definição precisa de áreas de interesse, o que confere maior rigor metodológico às pesquisas baseadas em rastreamento ocular (Holmqvist et al., 2011).

Figura 1. *Nigella sativa* L. (planta inteira, flor e sementes)



Fonte: (Ahmad, et al., 2013)

No contexto dos alimentos funcionais, como aqueles desenvolvidos a partir da *Nigella sativa* L., a integração do Eye-Tracking aliado ao Experiment Builder possibilita avaliar se informações relacionadas à presença de compostos bioativos, como a timoquinona, são efetivamente percebidas pelo consumidor. Dessa forma, essa abordagem contribui para a otimização da comunicação nutricional, para o desenvolvimento de produtos mais transparentes e para o fortalecimento da interface entre ciência de alimentos, nutrição e comportamento do consumidor (Wedel; Pieters, 2008; Bialkova et al., 2014).

Diante desse contexto, o problema de pesquisa deste trabalho concentra-se na necessidade de compreender como os aspectos agrônômicos, fitoquímicos e tecnológicos influenciam a qualidade funcional da *Nigella sativa* L. e sua aplicação como ingrediente em alimentos funcionais, bem como de analisar como as informações associadas a esses produtos são percebidas pelo consumidor.

O objetivo geral consiste em apresentar a *Nigella sativa* L. como uma matéria-prima estratégica para alimentos funcionais, destacando seu cultivo, composição bioativa, aplicações tecnológicas e os desafios relacionados à estabilidade e biodisponibilidade da timoquinona, integrando uma abordagem complementar de análise do comportamento do consumidor por meio do uso do Eye-Tracking aliado ao software Experiment Builder.

A relevância deste estudo fundamenta-se na crescente demanda por alimentos mais saudáveis, inovadores e sustentáveis, aliada à necessidade de estratégias eficazes de comunicação nutricional que favoreçam a compreensão e a aceitação de alimentos funcionais pelo consumidor (Siró et al., 2008; Bigliardi; Galati, 2013; Wedel; Pieters, 2008; Alu'Datt et al., 2024).

2 METODOLOGIA

2.1 TIPO DE PESQUISA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza qualitativa, uma revisão narrativa da literatura.

2.2 PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada por meio de levantamento bibliográfico no período de 2000 a 2025, em bases de dados científicas nacionais e internacionais, incluindo artigos científicos, livros e revisões, especializadas que abordam o cultivo, a composição bioativa, o processamento e as aplicações da *Nigella sativa* L. e o uso do Eye-Tracking aliado ao software Experiment Builder.

2.3 ANÁLISE E ORGANIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES

Os estudos selecionados foram analisados de forma crítica e organizados em categorias temáticas, contemplando aspectos agrônômicos, fitoquímicos e tecnológicos. A discussão foi fundamentada na literatura científica, buscando estabelecer relações entre produção agrícola, qualidade funcional e aplicação em alimentos.

3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

3.1 *Nigella sativa* L.

A *Nigella sativa* L. é uma planta herbácea anual pertencente à família *Ranunculaceae*, amplamente conhecida como cominho-negro ou black cumin. A espécie é nativa do sudoeste da Ásia e da região do Mediterrâneo, sendo atualmente cultivada em diversas partes do mundo, incluindo Oriente Médio, Norte da África, Sul da Europa e Ásia Meridional. A planta apresenta caule ereto, ramificado, folhas finamente

divididas e flores geralmente azuladas ou brancas, características morfológicas típicas do gênero *Nigella* (Dalli et al., 2022).

Do ponto de vista botânico, a *Nigella sativa* L. produz frutos do tipo cápsula, contendo numerosas sementes pequenas, ovais e de coloração preta, que constituem a principal parte de interesse agrônomo e tecnológico. Essas sementes são tradicionalmente utilizadas como especiaria alimentar e como matéria-prima para extração de óleo, sendo reconhecidas por seu aroma característico e sabor levemente amargo. A relevância econômica da espécie está diretamente associada ao uso das sementes tanto na alimentação quanto na indústria de produtos naturais e funcionais (Botnariu; Alexa, 2021).

Quimicamente, as sementes de *Nigella sativa* L. apresentam uma composição rica e diversificada, incluindo óleo fixo (30–40%), óleo essencial, proteínas, carboidratos, fibras alimentares, vitaminas e minerais. O óleo fixo é caracterizado pela predominância de ácidos graxos insaturados, especialmente ácido linoleico e oleico, enquanto o óleo essencial contém compostos bioativos voláteis responsáveis pelas propriedades funcionais da espécie. Essa composição confere à *N. sativa* elevado potencial para aplicações alimentares e nutraceuticas (Hefnawy; Ramadan, 2013).

Entre os compostos bioativos presentes no óleo essencial de *Nigella sativa* L. destaca-se a timoquinona, considerada o principal marcador funcional da espécie. Além da timoquinona, outros constituintes relevantes incluem timohidroquinona, ditimoquinona, p-cimeno, carvacrol e timol, os quais contribuem de forma sinérgica para as propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas atribuídas às sementes. A concentração desses compostos pode variar em função de fatores genéticos, ambientais e agrônômicos, bem como das condições de processamento (Forouzanfar et al., 2014).

3.2 CULTIVO E MANEJO AGRÍCOLA DA *Nigella sativa* L.

O cultivo da *Nigella sativa* L. tem sido considerado tecnicamente viável em diferentes regiões, sobretudo em ambientes de clima temperado a semiárido, devido à sua relativa rusticidade e adaptação a condições moderadas de estresse hídrico. A espécie apresenta ciclo anual e desenvolvimento satisfatório quando submetida a temperaturas amenas durante o crescimento vegetativo, sendo sensível a excesso de umidade no período de maturação das sementes. Essas características agrônômicas tornam a planta uma cultura promissora para sistemas produtivos diversificados, especialmente em contextos de agricultura familiar e produção de insumos para alimentos funcionais (Ali; Bunden, 2003; Butt; Sultan, 2010).

No que se refere às exigências edáficas, a *Nigella sativa* L. desenvolve-se adequadamente em solos bem drenados, de textura média, com pH variando de levemente ácido a neutro. A adequada estrutura física do solo favorece o crescimento radicular e a absorção de nutrientes, refletindo positivamente na produtividade e na qualidade fitoquímica das sementes. Estudos indicam que solos compactados ou com drenagem deficiente podem comprometer o desenvolvimento da planta e reduzir o teor de óleo e de

compostos bioativos, evidenciando a importância do preparo adequado do solo antes da semeadura (Hefnawy; Ramadan, 2013; Sultan et al., 2021).

O manejo da semeadura constitui etapa crítica no cultivo da *Nigella sativa* L., sendo recomendada a semeadura direta, com espaçamento e densidade ajustados para evitar competição excessiva entre plantas. A profundidade de semeadura deve ser controlada, uma vez que sementes excessivamente profundas podem apresentar emergência irregular. A uniformidade do estande influencia diretamente o rendimento da cultura e a homogeneidade da matéria-prima, aspectos relevantes quando o objetivo é a aplicação das sementes em produtos alimentícios funcionais (Randhawa; Al-Ghazzewy, 2011; Gholamnezhad et al., 2016).

A adubação deve ser baseada em análises químicas do solo, priorizando o equilíbrio nutricional e evitando excessos, especialmente de nitrogênio. Evidências científicas sugerem que a adubação nitrogenada excessiva pode favorecer o crescimento vegetativo em detrimento da síntese de metabólitos secundários, reduzindo a concentração de compostos bioativos como a timoquinona. Assim, o manejo nutricional da *Nigella sativa* deve considerar não apenas a produtividade, mas também a qualidade funcional das sementes, alinhando-se aos princípios das Ciências Agrárias voltadas à produção de alimentos com valor agregado (Hefnawy; Ramadan, 2013; Shahidi; Ambigaipalan, 2015).

O controle de plantas daninhas, pragas e doenças na cultura da *Nigella sativa* L. pode ser realizado por meio de práticas de manejo integrado, com ênfase em métodos preventivos e culturais. A adoção de rotação de culturas, preparo adequado do solo e monitoramento constante reduz a necessidade de insumos químicos, contribuindo para a sustentabilidade do sistema produtivo e para a segurança da matéria-prima destinada à alimentação humana. Essa abordagem é especialmente relevante quando se considera o uso da *N. sativa* L. como ingrediente funcional, uma vez que resíduos químicos podem comprometer sua aceitação e aplicabilidade tecnológica (Bigliardi; Galati, 2013; Granato et al., 2020).

Sua colheita deve ser realizada quando as cápsulas atingem a maturação fisiológica, momento em que as sementes apresentam maior teor de óleo e estabilidade dos compostos bioativos. A colheita tardia pode resultar em perdas por degrana, enquanto a colheita precoce compromete a qualidade química das sementes. Após a colheita, práticas adequadas de secagem e armazenamento são fundamentais para preservar a funcionalidade da matéria-prima, reforçando a importância do manejo agrícola integrado ao longo de toda a cadeia produtiva (Hefnawy; Ramadan, 2013; Rodriguez-Amaya, 2016).

Dessa forma, o cultivo e o manejo agrícola exercem influência direta sobre a produtividade, a qualidade fitoquímica e o potencial funcional das sementes. A adoção de práticas agronômicas adequadas permite maximizar o acúmulo de compostos bioativos e garantir matéria-prima de elevada qualidade para aplicação em alimentos funcionais. (Siró et al., 2008; Granato et al., 2020).

3.3 COMPOSTOS BIOATIVOS DA *Nigella sativa* L: TIMOQUINONA EM FOCO

A *Nigella sativa* L. é reconhecida por sua rica composição em compostos bioativos, os quais conferem à espécie elevado potencial funcional e interesse científico crescente. As sementes constituem a principal fonte desses compostos, apresentando uma matriz complexa formada por óleos fixos e voláteis, ácidos graxos insaturados, alcaloides, saponinas, flavonoides e compostos fenólicos. Essa diversidade fitoquímica fundamenta as múltiplas propriedades biológicas atribuídas à espécie e justifica sua aplicação tanto na alimentação quanto no desenvolvimento de ingredientes funcionais e nutracêuticos (Ali; Blunden, 2003; Butt; Sultan, 2010).

Entre os constituintes bioativos, a timoquinona destaca-se como o principal composto responsável por grande parte das atividades biológicas relatadas na literatura científica. Trata-se de uma quinona monoterpênica presente majoritariamente no óleo essencial das sementes, cuja concentração pode variar de acordo com fatores genéticos, ambientais e tecnológicos. A timoquinona tem sido amplamente investigada devido às suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, antimicrobianas e moduladoras de vias metabólicas, o que a posiciona como marcador funcional da qualidade bioativa da *N. sativa* (Randhawa; Al-Ghazzewy, 2011; Gholamnezhad et al., 2016).

Do ponto de vista bioquímico, a atividade antioxidante da timoquinona está associada à sua capacidade de neutralizar espécies reativas de oxigênio e de modular sistemas endógenos de defesa antioxidante. Esses mecanismos são particularmente relevantes no contexto da prevenção do estresse oxidativo, processo intimamente relacionado ao desenvolvimento de doenças crônicas não transmissíveis. Estudos experimentais demonstram que a presença da timoquinona contribui significativamente para a capacidade antioxidante total das sementes de *Nigella sativa*, reforçando seu valor como componente funcional em matrizes alimentares (Forouzanfar et al., 2014; Shahidi; Ambigaipalan, 2015).

Além da timoquinona, outros compostos bioativos presentes na *Nigella sativa* L. contribuem de forma sinérgica para sua funcionalidade, incluindo ácidos graxos essenciais como ácido linoleico e oleico, além de compostos fenólicos e terpenos voláteis, como p-cimeno e carvacrol. Essa interação entre diferentes classes de metabólitos secundários potencializa os efeitos biológicos observados e amplia as possibilidades de aplicação da espécie em alimentos funcionais, uma vez que a funcionalidade não se limita a um único composto isolado, mas ao conjunto fitoquímico presente na matéria-prima (Hefnawy; Ramadan, 2013; Granato et al., 2020).

A concentração e a estabilidade da timoquinona e dos demais compostos bioativos da *Nigella sativa* são fortemente influenciadas pelas condições de produção agrária e pelos métodos de processamento. Fatores como manejo agrícola, estágio de maturação das sementes, técnicas de extração e condições de armazenamento podem promover degradação oxidativa ou perdas significativas desses compostos. Dessa forma, a preservação da timoquinona ao longo da cadeia produtiva constitui um desafio tecnológico e

agrário, exigindo estratégias integradas que considerem desde o cultivo até a aplicação final em produtos alimentícios funcionais (Hefnawy; Ramadan, 2013; Rodriguez-Amaya, 2016).

Em relação a ciências de alimentos, o estudo da timoquinona como composto bioativo de referência permite compreender a *Nigella sativa* L. não apenas como uma cultura agrícola, mas como uma fonte estratégica de ingredientes funcionais. A valorização desse composto está alinhada às tendências contemporâneas de desenvolvimento de alimentos com benefícios à saúde, reforçando a necessidade de abordagens interdisciplinares que integrem produção sustentável, qualidade fitoquímica e inovação tecnológica (Siró et al., 2008; Bigliardi; Galati, 2013).

3.4 APLICAÇÕES DA *Nigella sativa* L. EM ALIMENTOS FUNCIONAIS

A aplicação da *Nigella sativa* L. em alimentos funcionais tem despertado crescente interesse científico e tecnológico, principalmente em função de sua composição rica em compostos bioativos e de seu histórico de uso alimentar tradicional. As sementes inteiras, moídas ou na forma de óleo têm sido incorporadas a diferentes matrizes alimentares com o objetivo de agregar valor nutricional e funcional aos produtos. Nesse contexto, a *N. sativa* L. destaca-se como ingrediente natural capaz de conferir propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas, atendendo à demanda crescente por alimentos que promovam benefícios à saúde além da nutrição básica (Butti; Sultan, 2010; Bigliardi; Galati, 2013).

Entre as principais formas de aplicação da *Nigella sativa* L. em alimentos funcionais, destaca-se o uso do óleo extraído das sementes, o qual apresenta elevada concentração de ácidos graxos insaturados e timoquinona. Esse óleo tem sido explorado na formulação de produtos como pães, biscoitos, produtos lácteos, bebidas funcionais e suplementos alimentares, contribuindo para o aumento da capacidade antioxidante e para a melhoria do perfil lipídico dos alimentos. Estudos indicam que a incorporação do óleo de *Nigella sativa* L. em níveis adequados pode resultar em produtos tecnologicamente viáveis e com potencial funcional significativo (Ali; Blunden, 2003; Forouzanfar et al., 2014).

A utilização das sementes moídas de *Nigella sativa* L. também representa uma estratégia promissora para o desenvolvimento de alimentos funcionais, especialmente em produtos de panificação e cereais. Além de atuar como fonte de compostos bioativos, as sementes contribuem para o aumento do teor de fibras e compostos fenólicos, podendo influenciar positivamente a digestibilidade e a resposta antioxidante do alimento. No entanto, aspectos sensoriais, como sabor e aroma intensos, devem ser cuidadosamente avaliados para garantir a aceitação do consumidor, evidenciando a necessidade de equilíbrio entre funcionalidade e qualidade sensorial (Shahidi; Ambigaipalan, 2015; Granato et al., 2020).

No contexto tecnológico, a estabilidade dos compostos bioativos da *Nigella sativa* L., especialmente da timoquinona, constitui um dos principais desafios para sua aplicação em alimentos funcionais. Processos como aquecimento, exposição à luz e oxidação podem promover a degradação desses compostos, reduzindo

sua eficácia funcional. Assim, estratégias como microencapsulação, uso de embalagens adequadas e controle das condições de processamento têm sido estudadas como alternativas para preservar a funcionalidade da *N. sativa* L. ao longo da vida de prateleira dos produtos alimentícios (Rodriguez-Amaya, 2016; Granato et al., 2020).

Além das aplicações diretas em alimentos convencionais, a *Nigella sativa* L. tem sido explorada no desenvolvimento de alimentos funcionais voltados a públicos específicos, como produtos destinados à prevenção de distúrbios metabólicos e à promoção da saúde intestinal. Evidências científicas sugerem que seus compostos bioativos podem atuar na modulação do metabolismo lipídico e glicídico, bem como na redução de processos inflamatórios, o que amplia suas possibilidades de aplicação em formulações com alegações funcionais. Essas aplicações reforçam o potencial da *N. sativa* L. como ingrediente estratégico no desenvolvimento de alimentos com apelo à saúde (Siró et al., 2008; Randhawa; Al-Ghazzewy, 2011).

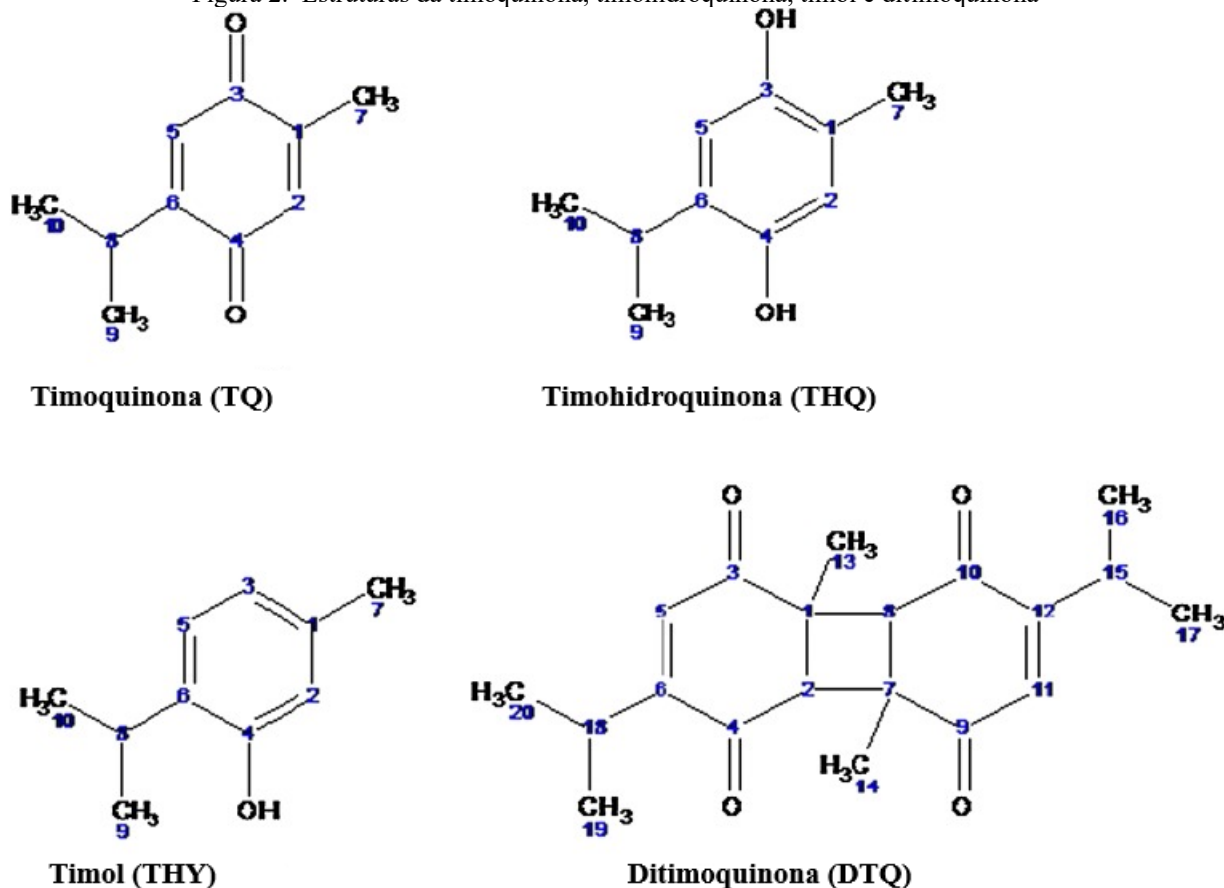
Dessa forma, a sua incorporação em alimentos funcionais representa uma alternativa inovadora e sustentável para agregação de valor à produção agrícola, ao mesmo tempo em que atende às demandas contemporâneas por alimentos mais saudáveis (Granato et al., 2020).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos na literatura indicam que as propriedades físico-químicas do óleo de *Nigella sativa* L. variam significativamente conforme o método de extração utilizado. Estudos comparativos entre extração por fluidos supercríticos, prensa a frio e métodos convencionais demonstraram diferenças claras na composição de compostos bioativos, como a timoquinona, fenóis totais e capacidade antioxidante, evidenciando que técnicas menos agressivas preservam melhor os constituintes funcionais. Esse comportamento ressalta a importância de escolha adequada de tecnologia para manter o potencial funcional do óleo extraído (Abedinzadeh et al., 2023; Tiruppur Venkatachallam et al., 2010).

A análise química detalhada de extratos de *Nigella sativa* L., por técnicas como GC-MS e NMR revelou a presença de compostos voláteis e fenólicos, incluindo timoquinona, ditimoquinona, timohidroquinona e outros metabólitos ainda pouco explorados em sua totalidade. Essas descobertas ampliam o conhecimento sobre o perfil fitoquímico da planta e sua diversidade metabólica, apontando caminhos para futuras aplicações em alimentos funcionais e ingredientes bioativos (Tiruppur Venkatachallam et al., 2010).

Figura 2. Estruturas da timoquinona, timohidroquinona, timol e ditimoquinona



Fonte: (Tiruppur Venkatachallam, et al., 2010)

Em relação à atividade antioxidante, diferentes estudos demonstraram que os extratos e óleos de *Nigella sativa L.* exibem forte capacidade de neutralização de radicais livres e redução de estresse oxidativo, atribuída tanto à timoquinona quanto a outros componentes fenólicos e terpenoides. Essa propriedade tem implicações diretas na saúde humana, pois mecanismos antioxidantes estão associados à mitigação de doenças crônicas e processos inflamatórios (Ahmad et al., 2021).

Adicionalmente, pesquisas recentes exploraram a influência de tratamentos térmicos e processamento físico sobre as propriedades bioativas da *Nigella sativa L.* observando que técnicas como processamento por micro-ondas podem alterar significativamente os índices de qualidade do óleo, a estabilidade de esteróis, tocoferóis e compostos antioxidantes. Isso demonstra a importância de otimizar parâmetros de processamento para manter a funcionalidade dos componentes durante a produção de alimentos e ingredientes (Oubannin et al., 2024).

Por fim, abordagens inovadoras, como a incorporação de extratos de *Nigella sativa L.* em materiais funcionais, mostram potenciais aplicações além da alimentação, por exemplo na formulação de filmes com propriedades antimicrobianas e antioxidantes. Esses avanços tecnológicos apontam para a versatilidade dos

compostos bioativos da espécie, reforçando sua importância como recurso funcional em diferentes setores (Hashempur et al.,2025).

Nigella sativa L. possui atributos funcionais e em conjunto com a aplicação do Eye-Tracking aliado ao software Experiment Builder surge como uma ferramenta complementar para avaliar se os benefícios associados à *Nigella sativa L.* são visualmente percebidos e compreendidos, contribuindo para o alinhamento entre qualidade tecnológica, comunicação nutricional e aceitação de alimentos funcionais.

5 CONCLUSÃO

Conclui que *Nigella sativa L.* possui elevado potencial para o desenvolvimento de alimentos funcionais, devido a sua composição bioativa, com destaque para a timoquinona, que apresenta várias possibilidades de aplicação. Nota-se que os resultados reforçam o seu processamento e a qualidade funcional e a estabilidade dos compostos bioativos.

Adicionalmente, a incorporação de abordagens complementares, como o Eye-Tracking aliado ao software Experiment Builder, amplia a compreensão sobre a percepção do consumidor frente às informações nutricionais e funcionais, contribuindo para estratégias mais eficazes de comunicação, inovação e aceitação de alimentos funcionais.

Dessa forma, a integração entre produção agrícola, tecnologia de alimentos e análise do comportamento do consumidor mostra-se fundamental para o desenvolvimento de produtos mais saudáveis, transparentes e alinhados às demandas do mercado.

REFERÊNCIAS

- ABEDINZADEH, Solmaz et al. Effect of refining on the quality of oils extracted by cold press from black cumin (*Nigella sativa* L.) seed and by solvent from its cake. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 58, n. 12, p. 6475-6484, 2023.
- AGRICULTURAL SCIENCE. Cultivation of Black Cumin: Black cumin (*Nigella sativa*) is an erect-stemmed annual herb. *Just Agriculture*, v. 4, n. 5, p. 83-85, 2024.
- AHMAD, Aftab et al. A review on therapeutic potential of *Nigella sativa* L.: A miracle herb. *Asian Pacific journal of tropical biomedicine*, v. 3, n. 5, p. 337-352, 2013.
- AHMAD, Md Faruque et al. An updated knowledge of Black seed (*Nigella sativa* Linn.): Review of phytochemical constituents and pharmacological properties. *Journal of herbal medicine*, v. 25, p. 100404, 2021.
- ALBAKRY, Zainab et al. Nutritional composition and volatile compounds of black cumin (*Nigella sativa* L.) seed, fatty acid composition and tocopherols, polyphenols, and antioxidant activity of its essential oil. *Horticulturae*, v. 8, n. 7, p. 575, 2022.
- ALI, B. H.; BLUNDEN, Gerald. Pharmacological and toxicological properties of *Nigella sativa*. *Phytotherapy Research: An international journal devoted to pharmacological and toxicological evaluation of natural product derivatives*, v. 17, n. 4, p. 299-305, 2003.
- ALU'DATT, M. H.; RABABAH, T.; ALHAMAD, M. N.; et al. *Nigella sativa* L.: Phytochemistry, functional properties, food applications, and health-promoting effects. *Food Chemistry*, v. 437, 2024.
- ALU'DATT, Muhammad H. et al. Designing novel industrial and functional foods using the bioactive compounds from *Nigella sativa* L. (black cumin): biochemical and biological prospects toward health implications. **Journal of Food Science**, v. 89, n. 4, p. 1865–1893, 2024.
- ASLANI, Mohammad Reza; SAADAT, Saeideh; BOSKABADY, Mohammad Hossein. Comprehensive and updated review on anti-oxidant effects of *Nigella sativa* and its constituent, thymoquinone, in various disorders. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, v. 27, n. 8, p. 923, 2024.
- BAYDAR, Hasan.; KARA, Nimet.; KATAR, Duran. Yield and Quality of Black Cumin (*Nigella sativa* L.) Populations: The Effect of Ecological Conditions. *Field Crops Research*, v. 20, n. 1, p. 9-14, 2016.
- BIALKOVA, S.; GRUNERT, K. G.; VAN TRIJP, H. C. M. Standing out in the crowd: The effect of information clutter on consumer attention for front-of-pack nutrition labels. *Food Quality and Preference*, v. 35, p. 65–74, 2013.
- BIGLIARDI, Barbara; GALATI, Francesco. Innovation trends in the food industry: The case of functional foods. *Trends in Food Science & Technology*, v. 31, n. 2, p. 118-129, 2013.
- BURDOCK, George A. Assessment of black cumin (*Nigella sativa* L.) as a food ingredient and putative therapeutic agent. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, v. 128, p. 105088, 2022.
- BUTT, Masood Sadiq; SULTAN, Muhammad Tauseef. *Nigella sativa*: reduces the risk of various maladies. *Critical reviews in food science and nutrition*, v. 50, n. 7, p. 654-665, 2010.

GRANATO, Daniel. et al. Functional foods and nondairy probiotic food development: Trends, concepts, and products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, Hoboken, v. 19, n. 1, p. 1–29, 2020.

HASHEMPUR, Mohammad Hashem et al. Synthesize, antioxidant and antimicrobial properties of a chitosan xerogel film with *Nigella Sativa* extract. *Scientific Reports*, v. 15, n. 1, p. 24635, 2025.

HASSANIEN, Mohamed F. R. et al. Health-promoting value and food applications of black cumin essential oil: an overview. *Journal of Food Science and Technology*, v. 52, n. 10, p. 6136-6142, 2015.

HOLMQVIST, Kenneth et al. *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. oup Oxford, 2011.

KARA, Nimet; KATAR, Duran; BAYDAR, Hasan. Yield and quality of black cumin (*Nigella sativa* L.) populations: the effect of ecological conditions. *Turkish Journal of Field Crops*, v. 20, n. 1, p. 9-14, 2015.

KHAN, Imran; SHAIKH, J. D. Phytochemical profiling and antioxidant potential of different extracts of *Nigella sativa* seeds. *International Journal of Pharmacognosy*, v. 12, p. 319-329, 2025.

NAINAWAT, Kripa Shanker et al. Pharmaceutical perspectives of thymoquinone, a lead molecule from black cumin (*Nigella sativa* L.) with diverse biological targets. *Food Chemistry Advances*, v. 8, p. 101053, 2025.

NUTRIENT MANAGEMENT. Nitrogen Uptake, Use Efficiency, and Productivity of *Nigella sativa* L. *Sustainability*, v. 14, n. 7, p. 3842, 2022.

ORQUIN, J. L.; MUELLER LOOSE, S. Attention and choice: A review on eye movements in decision making. *Acta Psychologica*, v. 144, n. 1, p. 190–206, 2013.

OUBANNIN, Samira et al. Antioxidant activity, physico-chemical properties, and bioactive compounds of *Nigella sativa* seeds and oil impacted by microwave processing technique. *Heliyon*, v. 10, n. 18, 2024.

PANDEY, Raghvendra; PANDEY, Brijesh; BHARGAVA, Atul. An updated review on the phytochemistry and pharmacological activity of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Advanced Chinese Medicine*, v. 2, n. 1, p. 13-29, 2025.

RANDHAWA, Muhammad A.; AL-GHAMDI, Mastoor S. A review of the pharmaco-therapeutic effects of *Nigella sativa*. *Journal of Ayub Medical College Abbottabad*, Abbottabad, v. 23, n. 1, p. 1–7, 2011.

RODRIGUEZ-AMAYA, Delia B. *Food carotenoids: chemistry, biology and technology*. 2. ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2016.

SHAHIDI, Fereidoon; AMBIGAIPALAN, Priyatharini. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects—A review. *Journal of functional foods*, v. 18, p. 820-897, 2015.

SIRÓ, István et al. Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance—A review. *Appetite*, v. 51, n. 3, p. 456-467, 2008.



SOLIMAN, Rabab M. et al. Stability study of thymoquinone, carvacrol and thymol using HPLC-UV and LC-ESI-MS. *Acta Pharmaceutica*, v. 70, n. 3, p. 325-342, 2020.

TIRUPPUR VENKATACHALLAM, Suresh Kumar et al. Chemical composition of *Nigella sativa* L. seed extracts obtained by supercritical carbon dioxide. *Journal of food science and technology*, v. 47, n. 6, p. 598-605, 2010.

VAN HERPEN, E.; VAN TRIJP, H. C. M. Front-of-pack nutrition labels: Their effect on attention and choices when consumers have varying goals and time constraints. *Appetite*, v. 57, n. 1, p. 148–160, 2011.

WEDEL, Michel et al. Eye tracking for visual marketing. *Foundations and Trends® in Marketing*, v. 1, n. 4, p. 231-320, 2008.

APLICAÇÕES BIOTECNOLÓGICAS E ALIMENTÍCIAS DO SORO DE LEITE

BIOTECHNOLOGICAL AND FOOD APPLICATIONS OF WHEY

 <https://doi.org/10.63330/aurumpub.030-005>**Lucas Eterno Francisco de Oliveira**

Médico Veterinário e Gestor de Qualidade do Laticínio Lacnutri Ltda

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5960-9677>**Karyne Oliveira Coelho**Professora Dra. da Universidade Estadual de Goiás, Campus Oeste- Sede São Luís de Montes Belos,
GoiásORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0844-1324>;**Lana Rouse Meneses Belizário**Mestranda em Produção Animal e Forragicultura da Universidade Estadual de Goiás, Campus Oeste-
Sede São Luís de Montes Belos, GoiásORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3272-5353>**Vitória Menezes Oliveira**Graduanda em Medicina Veterinária da Universidade Estadual de Goiás, Campus Oeste - Sede São Luís
de Montes BelosORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7075-8592>**RESUMO**

O soro de leite é um subproduto da indústria láctea que representa 85-90% do volume de leite processado, com produção global superior a 180 milhões de toneladas anuais. Devido à sua composição rica em lactose (4,5-5%), proteínas de alto valor biológico, β -lactoglobulina, α -lactoalbumina, e compostos bioativos, apresenta elevado potencial de valorização. Esta revisão narrativa analisou artigos científicos e livros publicados entre 2015 e 2025 sobre a composição, propriedades funcionais e aplicações do soro de leite. As aplicações biotecnológicas incluem a produção de bioetanol, ácido lático, ácido lactobiónico, 2-feniletanol, polihidroxialcanoatos e proteína de célula única. As aplicações alimentícias abrangem o desenvolvimento de bebidas probióticas, peptídeos bioativos com atividades antihipertensiva e antioxidante, galacto-oligossacarídeos prebióticos e filmes comestíveis. Tecnologias como separação por membranas, hidrólise enzimática e fermentação têm sido exploradas para conversão do soro em produtos de maior valor agregado. Conclui-se que a adoção de estratégias integradas de aproveitamento do soro contribui para a redução de impactos ambientais e representa uma alternativa sustentável e economicamente promissora para a indústria láctea, alinhada aos princípios da economia circular.

Palavras-chave: Soroalbumina; Sustentabilidade; Tecnologia; Valor Agregado.**ABSTRACT**

Whey is a by-product of the dairy industry that accounts for approximately 85–90% of the volume of processed milk, with global production exceeding 180 million tons per year. Owing to its composition, which is rich in lactose (4.5–5%), high-biological-value proteins such as β -lactoglobulin and α -lactalbumin, and bioactive compounds, whey presents significant potential for valorization. This narrative review analyzed scientific articles and books published between 2015 and 2025 addressing the composition,

functional properties, and applications of whey. Biotechnological applications include the production of bioethanol, lactic acid, lactobionic acid, 2-phenylethanol, polyhydroxyalkanoates, and single-cell protein. In the food sector, whey has been explored in the development of probiotic beverages, bioactive peptides with antihypertensive and antioxidant activities, prebiotic galacto-oligosaccharides, and edible films. Technologies such as membrane separation, enzymatic hydrolysis, and fermentation have been widely investigated to convert whey into higher value-added products. Overall, the adoption of integrated whey valorization strategies contributes to reducing environmental impacts and represents a sustainable and economically promising alternative for the dairy industry, in accordance with circular economy principles.

Keywords: Sustainability; Technology; Value Addition; Whey Albumin.

1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento do soro de leite constitui simultaneamente um desafio ambiental e uma oportunidade econômica, devido aos elevados volumes gerados pela indústria de laticínios e à sua alta carga orgânica, que impõe restrições ao descarte ambiental (Saraiva; Pinto, 2024). Estratégias de valorização têm sido estimuladas, alinhando-se aos princípios da economia circular e à mitigação de impactos ambientais (Salvado; Leitão; Fonseca, 2021; Kumar et al., 2023; Chopada et al., 2022; Saubenova et al., 2024; Deshmukh et al., 2024; Irazoqui et al., 2024).

O soro de leite corresponde a aproximadamente 85–90% do volume do leite empregado na fabricação de queijos, retendo cerca de 55% de seus nutrientes originais (Kumar et al., 2023). A produção global desse subproduto ultrapassa 180 milhões de toneladas anuais, e seu descarte inadequado pode causar impactos ambientais significativos em função da elevada demanda química de oxigênio (DQO), variando entre 50.000 e 80.000 mg/L (Kumar et al., 2023; Saubenova et al., 2024; Deshmukh et al., 2024).

A literatura descreve o soro de leite como um fluxo passível de conversão em ingredientes alimentares, bioenergéticos e intermediários químicos por meio de processos físicos, enzimáticos e microbiológicos, com destaque para a integração de processos em biorrefinarias visando à maximização da recuperação de proteínas, lactose e compostos bioativos (Kumar et al., 2023; Íñiguez-Moreno; Poonia, 2023; Deshmukh et al., 2024; Saubenova et al., 2024).

A adoção de tecnologias sustentáveis e modelos de negócios circulares é considerada fundamental para a viabilidade econômica do fechamento do ciclo produtivo no setor lácteo (Salvado; Leitão; Fonseca, 2021; Kumar et al., 2023; Saubenova et al., 2024; Deshmukh et al., 2024; Irazoqui et al., 2024).

Diante disso, esta revisão narrativa foi proposta com o objetivo de analisar a literatura recente sobre a composição do soro de leite, suas aplicações biotecnológicas e alimentícias, bem como exemplos experimentais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 COMPOSIÇÃO DO SORO DE LEITE

O soro de leite representa a maior fração do volume de leite processado e retém quantidades relevantes de sólidos lácteos, com predominância de lactose (4,5–5,0% p/v) e proteínas de elevado valor funcional e nutricional (Dopazo et al., 2023). Em relação a composição físico-química, observa-se 93–94% de água, 4,5–5% de lactose, 0,6–0,8% de proteínas, 0,4–0,5% de minerais e traços de gordura (El-Aidie; Khalifa, 2024).

Revisões e relatórios técnicos indicam que o soro contém lactose, proteínas solúveis, como β -lactoglobulina, α -lactoalbumina, imunoglobulinas e lactoferrina, além de lipídios residuais e sais minerais, sendo sua composição influenciada pelo tipo de soro e pelo processo produtivo (Santos; Silva; Rocha, 2022;

Kumar et al., 2023). O soro, oriundo da coagulação enzimática, apresenta pH entre 5,9 e 6,6, enquanto o soro ácido, proveniente da coagulação ácida, possui pH entre 4,3 e 4,6 (Santos; Silva; Rocha, 2022; Kumar et al., 2023; El-Aidie; Khalifa, 2024).

Entre as proteínas do soro, destacam-se a β -lactoglobulina ($\approx 50\%$) e a α -lactoalbumina ($\approx 20\%$), amplamente investigadas por serem precursoras de peptídeos bioativos após hidrólise, além de imunoglobulinas, albumina sérica bovina, lactoferrina e lactoperoxidase (Valdez Castillo et al., 2023; Saubenova et al., 2024; El-Aidie; Khalifa, 2024). Técnicas como ultrafiltração e cromatografia são empregadas para o isolamento e fracionamento dessas frações proteicas visando à obtenção de ingredientes e hidrolisados (El-Aidie; Khalifa, 2024).

Processos de concentração por membranas permitem recuperar proteínas com qualidade para aplicações alimentares e farmacêuticas, podendo elevar seu teor de 0,6–0,8% para 35–80%, resultando em concentrados ou isolados proteicos com pureza superior a 90%, a depender das condições operacionais (Kaur et al., 2020; El-Aidie; Khalifa, 2024).

Peptídeos gerados por hidrólise enzimática ou fermentação apresentam atividades antihipertensiva, antioxidante, antimicrobiana, anti-inflamatória e imunomoduladora (Chopada et al., 2022; Saubenova et al., 2024), com valores de Concentração Inibitória (IC)₅₀ para inibição da enzima conversora de angiotensina variando entre 0,05 e 2,5 mg/mL conforme o hidrolisado (Chopada et al., 2022).

Destaca-se que o perfil peptídico depende da proteína de origem, da enzima ou microrganismo empregado e das condições de hidrólise, sendo as bactérias ácido-láticas uma alternativa para gerar maior diversidade de peptídeos bioativos (Estévez Telle, 2015; Chopada et al., 2022; Irazoqui et al., 2024).

2.2 PROPRIEDADES FUNCIONAIS DO SORO DE LEITE

Frações proteicas do soro apresentam alta funcionalidade tecnológica, sendo empregadas como agentes formadores de gel, estabilizantes e para melhoria de textura em alimentos processados conforme revisões e estudos sobre géis induzidos por calor e hidrolisados (El-Aidie; Khalifa, 2024). As proteínas do soro são altamente solúveis em ampla faixa de pH e apresentam excelentes propriedades de formação de espuma e capacidade emulsificante (El-Aidie; Khalifa, 2024).

A hidrólise parcial altera solubilidade e capacidade emulsificante; concentração por membranas preserva propriedades funcionais úteis em formulações alimentares (Kaur et al., 2020; El-Aidie; Khalifa, 2024). O tratamento térmico pode induzir desnaturação e agregação proteica, modificando as propriedades gelificantes e de retenção de água, características importantes para aplicações em produtos cárneos, panificação e laticínios (Mutaliyeva et al., 2025).

A escolha entre desproteínização seguida de utilização do permeado para fermentação ou recuperação de proteínas por ultrafiltração ou nanofiltração depende do objetivo final (ingrediente funcional vs plataforma de bioconversão) (Kaur et al., 2020; Dopazo et al., 2023; El-Aidie; Khalifa, 2024).

Composições reportadas em diferentes estudos destacam variações regionais e de processo que influenciam rendimento e estratégia de aproveitamento (Estévez Telle, 2015; Santos; Silva; Rocha, 2022). Fatores como raça do gado, alimentação, estação do ano e práticas de processamento podem afetar significativamente a composição do soro e, consequentemente, as estratégias de valorização mais adequadas.

2.3 APLICAÇÕES BIOTECNOLÓGICAS E ALIMENTÍCIAS

2.3.1 Aplicações Biotecnológicas

Trabalhos conduzidos em escala laboratorial e piloto utilizando *Kluyveromyces marxianus* demonstram que a produção de bioetanol a partir do soro de leite apresenta elevada variabilidade em função das condições operacionais e do desenho do processo fermentativo. Estudos recentes indicam que, sob condições otimizadas, podem ser alcançadas elevadas concentrações de etanol, com rendimentos próximos ao teórico, evidenciando o potencial biotecnológico do microrganismo para essa aplicação (Dręzek et al., 2023; Kumar et al., 2023). Revisões críticas também ressaltam que parâmetros como concentração de lactose, temperatura e pH exercem influência direta sobre o desempenho fermentativo, resultando em ampla faixa de produtividades e rendimentos reportados na literatura (Smithers, 2018).

Além da produção de etanol, abordagens baseadas em fermentações sequenciais têm sido investigadas como estratégia para a valorização do permeado de soro de leite. Nesse contexto, Maestre et al. (2021) demonstraram a conversão do substrato em diferentes metabólitos de interesse, com destaque para a formação de ácidos orgânicos e biomassa microbiana, reforçando o potencial de integração de processos para o aproveitamento do soro.

A levedura *K. marxianus* destaca-se como microrganismo promissor para aplicações biotecnológicas envolvendo o soro de leite, devido à sua capacidade de metabolizar lactose diretamente, tolerar temperaturas relativamente elevadas (até aproximadamente 45 °C) e crescer em meios com altas concentrações de substrato, características que favorecem sua aplicação em processos industriais integrados (Dręzek et al., 2023; Kumar et al., 2023). Esses estudos têm sido conduzidos principalmente com o objetivo de otimizar parâmetros fermentativos, desenvolver linhagens com melhor desempenho metabólico e integrar etapas de processo, visando aumentar os rendimentos e a viabilidade econômica da produção de bioetanol a partir do soro.

Processos fermentativos aplicados ao soro de leite também têm sido explorados para a produção de ácido láctico, utilizando diferentes microrganismos e estratégias metabólicas, ampliando o espectro de

produtos obtidos a partir desse subproduto agroindustrial (Kourmentza et al., 2022). O ácido láctico produzido pode ser empregado como conservante e acidulante alimentar, além de constituir matéria-prima para a produção de ácido polilático (PLA), um biopolímero biodegradável de crescente interesse industrial (Deshmukh et al., 2024).

A produção de ácido lactobiônico a partir de soro de ricota representa outra rota de valorização de alto valor agregado. Estudos demonstraram que processos biotecnológicos utilizando *Pseudomonas taetrolens* podem alcançar rendimentos expressivos, tanto em sistemas descontínuos quanto em *fed-batch*, com elevadas taxas de conversão do substrato, evidenciando a viabilidade técnica do processo (De Giorgi, 2017, Sarenkova et al., 2022). O ácido lactobiônico apresenta ampla aplicação nas indústrias farmacêutica, cosmética e alimentícia, devido às suas propriedades antioxidantes, quelantes e umectantes.

Co-fermentações envolvendo resíduos agroindustriais, incluindo o soro de leite, têm sido avaliadas para a produção de compostos aromáticos de alto valor agregado. Nesse sentido, Valdez Castillo et al. (2023) demonstraram que o uso de co-culturas de leveduras permite a obtenção de 2-feniletanol, concomitantemente à redução da carga orgânica dos efluentes, contribuindo para estratégias integradas de tratamento e valorização de resíduos.

A conversão de soro ovino em polihidroxialcanoatos (PHAs) também tem sido reportada como uma alternativa promissora, sendo o controle do pH um fator determinante para os rendimentos e a composição do polímero produzido. Os PHAs são biopolímeros biodegradáveis sintetizados por diversos microrganismos como reserva de carbono e energia, apresentando propriedades físico-químicas semelhantes às de plásticos petroquímicos convencionais (Kourmentza et al., 2022).

Por fim, o cultivo de *K. marxianus* em soro desproteínizado tem possibilitado a obtenção de biomassa rica em proteína de célula única, a qual pode ser empregada no desenvolvimento de filmes comestíveis. Estudos recentes demonstraram que materiais obtidos a partir dessa biomassa apresentam propriedades mecânicas e de barreira adequadas para aplicações em embalagens alimentares, ampliando as possibilidades de aproveitamento do soro de queijo em produtos inovadores e sustentáveis (Koukoumaki et al., 2024).

Concentrados e isolados proteicos de soro também são amplamente utilizados como emulsificantes, estabilizantes e agentes de textura em diferentes matrizes alimentares.

2.3.2 Aplicações Alimentícias e Funcionais

No âmbito alimentício, o soro de leite apresenta aplicações já consolidadas, como seu uso como ingrediente funcional, fonte proteica e substrato para fermentações lácticas, bem como aplicações emergentes, que incluem o desenvolvimento de alimentos e bebidas funcionais, a obtenção de peptídeos bioativos com potenciais efeitos benéficos à saúde, a produção de ingredientes prebióticos e a elaboração

de materiais comestíveis para aplicações em embalagens. Esses avanços evidenciam tanto a maturidade tecnológica de usos tradicionais quanto o potencial inovador das novas abordagens baseadas nas diferentes frações do soro.

Fermentações lácticas do soro de leite, incluindo o soro ácido (*acid whey*), têm sido amplamente exploradas para o desenvolvimento de bebidas probióticas e matrizes ricas em compostos bioativos. Revisões recentes destacam o uso do soro como meio de cultura de baixo custo para microrganismos probióticos, bem como a aplicação de estratégias tecnológicas, como a microencapsulação, para a manutenção da viabilidade celular em produtos à base de soro (Rosolen, 2020; Mutaliyeva et al., 2025). Em particular, Mutaliyeva et al. (2025) apontam a existência de múltiplas abordagens inovadoras para a valorização do soro ácido por meio do desenvolvimento de alimentos probióticos e funcionais.

Hidrolisados de proteínas do soro obtidos por hidrólise enzimática têm sido investigados quanto às suas propriedades funcionais e bioatividades, incluindo potencial antioxidante e efeitos fisiológicos benéficos. Estudos envolvendo bioprocessos sequenciais e estratégias de purificação demonstram a viabilidade da obtenção de peptídeos bioativos a partir do soro, com potencial aplicação em alimentos funcionais e nutracêuticos (Dręzek et al., 2023). Revisões recentes reforçam o papel de peptídeos derivados do soro de leite em aplicações voltadas à saúde e ao desenvolvimento de bebidas funcionais, destacando seus benefícios nutricionais e tecnológicos (Mutaliyeva et al., 2025; Saubenova et al., 2024).

A conversão da lactose em galacto-oligossacarídeos (GOS) por reações de transgalactosilação enzimática representa uma rota de alto valor agregado, permitindo a transformação da lactose residual em prebióticos com efeitos benéficos à saúde intestinal. Estudos e revisões recentes demonstram a viabilidade técnica desse processo, bem como a influência de fatores operacionais críticos, como tipo de enzima, concentração de substrato e condições de reação, no rendimento e perfil dos GOS produzidos (Deshmukh et al., 2024; Irazoqui et al., 2024).

Além das aplicações emergentes, o soro de leite é tradicionalmente empregado na indústria de alimentos como ingrediente funcional em produtos de panificação, bebidas lácteas, formulações cárneas e suplementos proteicos (Kaur et al., 2020; Kumar et al., 2023; El-Aidie; Khalifa, 2024).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta revisão narrativa evidenciou que o soro de leite, um subproduto amplamente gerado pela indústria láctea, apresenta composição complexa e elevada densidade nutricional, caracterizada pela presença de lactose, proteínas de alto valor biológico e diversos compostos bioativos. Essas características conferem ao soro um expressivo potencial de valorização por meio de diferentes rotas tecnológicas, permitindo sua conversão em produtos de maior valor agregado.

As aplicações biotecnológicas analisadas demonstram que o soro de leite pode atuar como substrato versátil para distintos bioprocessos, viabilizando a obtenção de biocombustíveis, ácidos orgânicos, biopolímeros e biomassa microbiana. Essas estratégias representam alternativas promissoras para a diversificação de produtos, agregação de valor e redução do desperdício de recursos na cadeia produtiva do leite.

No âmbito alimentício, destacam-se o desenvolvimento de alimentos e bebidas funcionais, a obtenção de peptídeos bioativos com potenciais efeitos benéficos à saúde, a produção de ingredientes prebióticos e a elaboração de materiais comestíveis para aplicações em embalagens. Esses avanços evidenciam a ampla funcionalidade das diferentes frações do soro e seu potencial para inovação no setor de alimentos.

A integração de tecnologias como separação por membranas, hidrólise enzimática e processos fermentativos mostra-se essencial para maximizar o aproveitamento dos constituintes do soro e favorecer a viabilidade técnica e econômica de sua valorização. Além disso, a adoção dessas abordagens contribui para a mitigação de impactos ambientais associados ao descarte inadequado do soro, alinhando-se aos princípios da economia circular e da sustentabilidade industrial.

As perspectivas futuras para a valorização do soro de leite envolvem o desenvolvimento de biorrefinarias integradas, o avanço de processos biotecnológicos e a ampliação de aplicações em diferentes setores industriais. Entretanto, desafios relacionados à escalabilidade, aos custos de processamento e às exigências regulatórias ainda precisam ser superados para viabilizar a implementação em larga escala dessas rotas de valorização.

REFERÊNCIAS

- CHOPADA, K. et al. Purification and characterization of novel antihypertensive and antioxidative peptides from whey protein fermentate: in vitro, in silico, and molecular interactions studies. **Journal of the American Nutrition Association**, v. 42, n. 7, p. 662–678, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/27697061.2022.2110966>.
- DE GIORGI, S. Biotechnology for the valorization of dairy industry by-products: the case of the lactobionic acid. 2017. **Tese** (Doutorado) – Università di Bologna, Bologna, 2017. DOI: <https://doi.org/10.6092/UNIBO/AMSDOTTORATO/8159>.
- DESHMUKH, N. et al. Waste to nutrition: the evolution of whey, a byproduct to galactooligosaccharides production. **Food Chemistry Advances**, v. 4, p. 100642, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100642>.
- DOPAZO, V. M. et al. Revalorization by lactic acid bacterial fermentation of goat whey from cheese industry as a potential antifungal agent. **Food Bioscience**, v. 53, p. 102586, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102586>.
- DREŹEK, K. et al. Valorisation of whey permeate in sequential bioprocesses towards value-added products: optimisation of biphasic and classical batch cultures of *Kluyveromyces marxianus*. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 8, p. 7560, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms24087560>.
- EL-AIDIE, S. A. M.; KHALIFA, G. S. A. Innovative applications of whey protein for sustainable dairy industry: environmental and technological perspectives – a comprehensive review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 23, n. 2, e13319, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13319>.
- ESTÉVEZ TELLE, N. Integrative processes for the valorisation of bovine whey proteins through the production of bioactive peptides and heat-induced gels, and their use as functional ingredients. 2015. **Tese** (Doutorado) – Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 2015. Disponível em <https://portalcientifico.uvigo.gal/documentos/5f90daaa2999522a4a6ed28c> Acesso 20 de out. 2025.
- ÍÑIGUEZ-MORENO, M.; POONIA, A. Green technologies for treatment and utilization of whey towards sustainable exploitation. In: **Whey valorization**. Singapore: Springer, 2023. p. 63–88. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-99-5459-9_4.
- IRAZOQUI, J. M. et al. Enzymes for production of whey protein hydrolysates and other value-added products. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 108, p. 1–19, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-024-13117-2>.
- KAUR, N. et al. Recent developments in purification techniques and industrial applications for whey valorization: a review. **Chemical Engineering Communications**, v. 207, n. 7, p. 944–966, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/00986445.2019.1573169>.
- KOUKOUMAKI, D. I. et al. The development of novel edible films from single-cell protein produced by the biotechnological valorization of cheese whey. **Applied Microbiology**, v. 4, n. 3, p. 1006–1024, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/applmicrobiol4030070>.

KUMAR, N. et al. Utilization of whey: sustainable trends and future developments. In: **WHEY VALORIZATION**. Singapore: Springer, 2023. p. 35–62. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-99-5459-9_3.

MAESTRE, K. L. et al. Cheese whey permeate valorization using sequential fermentations: case study performed in the Western Region of Paraná. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 13, e21082, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/RSD-V10I13.21082>.

MUTALIYEVA, B. et al. Acid whey valorization: novel approaches for probiotic and functional products development. **Frontiers in Nutrition**, v. 12, p. 1630925, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1630925>.

ROSOLEN, M. Microencapsulação simbiótica de *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* R7 usando soro de queijo como matriz alimentar. 2021. **Tese** (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) — Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Pelotas, 2021. Disponível em: <https://www.dctaufpel.com.br/ppgcta/manager/uploads/thesis/rosolen-michele-microencapsulacao-simbiotica-de-lactococcus-lactis-subsp-lactis-r7-usando-soro-de-qu-815.pdf>. Acesso em: 03 out 2025.

SALVADO, A. F. A.; LEITÃO, J. H.; FONSECA, L. P. Enzymatic production of bioactive peptides from whey proteins: their active role and potential health benefits. In: **enzymatic production of bioactive peptides**. Cham: Springer, 2021. p. 279–302. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-58315-6_15.

SANTOS, C. R.; SILVA, C. B. S.; ROCHA, M. Hidrolisado de soro de leite e derivados: uma revisão da obtenção e bioatividades. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 3, p. 16795–16811, 2022. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv8n3-105>.

SARENKOVA, I. et al., Lactobionic acid production by *Pseudomonas taetrolens* in a fed-batch bioreactor using acid whey as substrate. **International Journal of Dairy Technology**, v. 75, n. 2, p. 361–371, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12841>

SARAIVA, C. B.; PINTO, C. C. Do descarte ao valor: estratégias inovadoras de reutilização do soro de leite. **Revista Foco**, v. 17, n. 1, e4292, 2024. DOI: <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v17n1-174>

SAUBENOVA, M. et al. Bioactive peptides derived from whey proteins for health and functional beverages. **Fermentation**, v. 10, n. 7, p. 359, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation10070359>.

VALDEZ CASTILLO, M. et al. Co-fermentation of agri-food residues using a co-culture of yeasts as a new bioprocess to produce 2-phenylethanol. **Molecules**, v. 28, n. 14, p. 5536, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28145536>.

DA REVOLUÇÃO VERDE À AGROECOLOGIA: DISPUTA DE PROJETOS E O FUTURO DA AGRICULTURA BRASILEIRA**FROM THE GREEN REVOLUTION TO AGROECOLOGY: DISPUTES OVER PROJECTS AND THE FUTURE OF BRAZILIAN AGRICULTURE** <https://doi.org/10.63330/aurumpub.030-006>**Equiton Lorengian Grégio**

Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental
Universidade Federal da Fronteira Sul
LATTES: <http://lattes.cnpq.br/4848973390657744>

Daniele de Oliveira Lima

Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental
Universidade Federal da Fronteira Sul
LATTES: <https://lattes.cnpq.br/3097172158657058>

RESUMO

O capítulo analisa a disputa paradigmática entre o modelo agrícola convencional, consolidado a partir da Revolução Verde, e o paradigma sistêmico de base agroecológica, com foco no contexto brasileiro. A partir de uma revisão bibliográfica qualitativa, mobilizando autores clássicos e estudos empíricos recentes, examinam-se as raízes históricas da modernização agrícola, a articulação entre Estado, corporações e agronegócio e os efeitos desse processo sobre a autonomia produtiva, a soberania alimentar e a degradação socioambiental. Em contraposição, discutem-se os fundamentos científicos, sociopolíticos e epistemológicos da agroecologia, compreendida não apenas como conjunto de técnicas sustentáveis, mas como projeto civilizatório que integra princípios ecológicos, justiça social e valorização dos saberes territoriais. São apresentadas evidências empíricas de transição agroecológica no Brasil, com destaque para Sistemas Agroflorestais (SAFs), modelos de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), circuitos curtos de comercialização, certificação participativa e experiências de assistência técnica e extensão rural orientadas pela agroecologia. Por fim, o capítulo propõe uma agenda propositiva que inclui recomposição da assistência técnica pública, políticas de crédito específicas para a transição, fortalecimento de mercados territoriais e regulação progressiva do uso de agrotóxicos. Sustenta-se que a opção pela agroecologia não é apenas de natureza técnica, mas política e civilizatória, implicando a escolha entre a manutenção da dependência estrutural do agronegócio e a construção de soberania alimentar enraizada nos territórios.

Palavras-chave: Revolução Verde; Agroecologia; Soberania Alimentar; Sistemas Agroflorestais; Políticas Públicas.

ABSTRACT

This chapter analyzes the paradigmatic dispute between the conventional agricultural model, consolidated since the Green Revolution, and the systemic paradigm based on agroecology, focusing on the Brazilian context. Based on a qualitative literature review, drawing on classic authors and recent empirical studies, it examines the historical roots of agricultural modernization, the relationship between the state, corporations, and agribusiness, and the effects of this process on productive autonomy, food sovereignty, and socio-environmental degradation. In contrast, the scientific, sociopolitical, and epistemological foundations of agroecology are discussed, understood not only as a set of sustainable techniques, but as a civilizing project that integrates ecological principles, social justice, and the valorization of territorial knowledge. Empirical

evidence of agroecological transition in Brazil is presented, with emphasis on Agroforestry Systems (SAFs), Crop-Livestock-Forest Integration (ILPF) models, short marketing circuits, participatory certification, and experiences of technical assistance and rural extension guided by agroecology. Finally, the chapter proposes a proactive agenda that includes restructuring public technical assistance, specific credit policies for the transition, strengthening territorial markets, and progressive regulation of pesticide use. It argues that the choice for agroecology is not only technical in nature, but also political and civilizational, implying a choice between maintaining structural dependence on agribusiness and building food sovereignty rooted in the territories.

Keywords: Green Revolution; Agroecology; Food Sovereignty; Agroforestry Systems; Public Policies.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura moderna consolidou-se, ao longo do século XX, como um dos pilares centrais do desenvolvimento econômico, sendo responsável pela expansão de fronteiras produtivas, pelo crescimento das exportações e pela ampliação da oferta global de alimentos. Esse processo, entretanto, esteve historicamente associado à adoção de um modelo produtivo intensivo em capital e tecnologia, estruturado na lógica da Revolução Verde, que difundiu monoculturas, mecanização e pacotes tecnológicos baseados no uso recorrente de fertilizantes sintéticos e agrotóxicos. Embora tenha proporcionado aumento expressivo da produtividade, tal racionalidade técnico-produtiva apresentou limitações estruturais, especialmente no que se refere à degradação dos ecossistemas, à erosão sociocultural dos territórios rurais e à crescente dependência de insumos externos.

Nas últimas décadas, os impactos socioambientais desse modelo tornaram-se mais evidentes: perda de biodiversidade, contaminação de solos e águas, redução da resiliência dos sistemas produtivos e ampliação de assimetrias econômicas entre grandes grupos agroindustriais e agricultores familiares. A busca pela produtividade máxima, desvinculada das condições ecológicas e sociais que sustentam a vida no campo, demonstrou que eficiência técnica não equivale, necessariamente, à sustentabilidade. Nesse sentido, emergem debates sobre alternativas capazes de articular produção agrícola, conservação ambiental, segurança alimentar e justiça social.

Essa interpretação é reforçada por estudos recentes que tratam a transição agroecológica como ruptura epistemológica com a racionalidade mecanicista da Revolução Verde, articulando técnica, território e autonomia produtiva (Grégio; Lima, 2025).

É nesse contexto que a agroecologia se afirma como paradigma científico, político e cultural. Diferentemente de abordagens pontuais de correção de impactos, a agroecologia propõe a reestruturação da base conceitual da agricultura, incorporando princípios ecológicos, valorização de saberes tradicionais, fortalecimento dos mercados territoriais e transição técnica apoiada em redes de cooperação e extensão rural. Assim, mais que um conjunto de técnicas, constitui-se como racionalidade que recoloca a agricultura em diálogo com seus limites ecológicos e com os direitos sociais das populações que vivem do trabalho na terra.

Desse modo, este capítulo tem como objetivo analisar comparativamente o modelo convencional de agricultura e o modelo sistêmico de base agroecológica, identificando seus fundamentos, contradições e potencialidades. Especificamente, busca-se:

- a) contextualizar historicamente a consolidação do modelo convencional e seus efeitos socioambientais;
- b) apresentar os fundamentos conceituais e epistemológicos da agroecologia como novo paradigma;

- c) discutir experiências brasileiras que evidenciam a viabilidade prática de sistemas sustentáveis, como os Sistemas Agroflorestais (SAFs) e os circuitos curtos de comercialização;
- d) apontar desafios institucionais, técnicos e políticos para a transição agrícola em escala territorial.

Parte-se da hipótese de que a superação das limitações do modelo convencional não depende apenas de inovações técnicas, mas de transformações estruturais na forma de produzir, comercializar e compreender o papel da agricultura no desenvolvimento territorial. Assim, a análise aqui apresentada contribui para o debate contemporâneo sobre o futuro da agricultura, oferecendo elementos para políticas públicas, práticas formativas e iniciativas de extensão rural orientadas ao fortalecimento da soberania alimentar e dos processos sustentáveis.

2 METODOLOGIA

A presente pesquisa adota abordagem qualitativa, de natureza exploratória e analítico-interpretativa, fundamentada em revisão bibliográfica e análise documental. O estudo parte do pressuposto de que a transição agroecológica não pode ser examinada apenas como mudança técnica, mas como processo paradigmático que envolve dimensões históricas, epistemológicas, sociopolíticas e territoriais. Desse modo, a metodologia foi estruturada em três etapas complementares:

(a) Revisão bibliográfica teórica

Realizou-se levantamento sistemático de produções científicas relacionadas a Revolução Verde, dependência tecnológica, agroecologia, pensamento complexo e transição para modelos sistêmicos. Foram consultadas obras clássicas (Altieri; Gliessman; Morin; Caporal & Costabeber) e estudos brasileiros recentes com ênfase em experiências territoriais. As buscas ocorreram em Google Acadêmico, SciELO, CAPES Periódicos, Repositórios institucionais e bases editoriais independentes.

(b) Análise documental e incursões empíricas

Foram analisados documentos públicos, relatórios de pesquisa, estudos de caso e materiais técnico-institucionais relativos à implementação de Sistemas Agroflorestais (SAFs), Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), certificação participativa, mercados territoriais e extensão rural sistêmica. Essa etapa buscou identificar evidências práticas de transição agroecológica no Brasil, destacando limites institucionais e potencialidades produtivas.

(c) Incorporação de estudos aplicados de referência nacional

Trabalhos recentes foram mobilizados como suporte metodológico comparativo, entre os quais Grégio e Lima (2025) e Grégio et al. (2025), que discutem agroecologia, racionalidade sistêmica e soberania alimentar a partir de experiências territoriais. Tais estudos foram

considerados por sua relevância técnica e aderência ao debate sobre dependência estrutural e autonomia produtiva (Grégio; Lima, 2025; Grégio et al., 2025).

Em síntese, a metodologia adotada não busca medir resultados exclusivamente quantitativos, mas compreender como discursos, práticas e estruturas de poder moldam a disputa entre o modelo convencional e o paradigma agroecológico. A perspectiva epistemológica adotada assume que a análise da agricultura exige leitura complexa e integrada, em consonância com autores que problematizam a fragmentação reducionista da ciência moderna.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A consolidação do paradigma agroecológico no Brasil não ocorre apenas no plano teórico; ela se materializa em experiências concretas que demonstram viabilidade técnica, produtividade econômica, redução de impactos ambientais e fortalecimento dos territórios rurais. A seguir, são analisados estudos representativos que evidenciam, com base empírica, o potencial dos Sistemas Agroflorestais (SAFs), dos mercados territoriais e de iniciativas de assistência técnica e extensão rural como pilares da transição sistêmica.

3.1 SISTEMAS AGROFLORESTAIS (SAFS): PRODUTIVIDADE, RESILIÊNCIA E MANEJO ECOLÓGICO

Entre as experiências mais consolidadas, os SAFs destacam-se como arranjos produtivos capazes de recompor fertilidade do solo, recuperar serviços ecossistêmicos e ampliar a renda agrícola. O estudo conduzido por Coqueijo, Lima e Silva (2022) no Baixo Sul da Bahia demonstra que sistemas agroflorestais apresentaram aumento de 100% no teor de matéria orgânica do solo em comparação aos cultivos convencionais, além de maior diversidade florística e incremento na dinâmica microbiana. Tais resultados estão alinhados às conclusões de Altieri e Nicholls (2011), segundo os quais sistemas biodiversos reduzem custos de produção ao minimizar dependências químicas e promover controle biológico natural.

Além dos aspectos ecológicos, evidencia-se viabilidade econômica. Experiências avaliadas pela Embrapa (2023) indicam que, em determinadas regiões, SAFs comerciais apresentam rentabilidade equivalente ou superior aos modelos convencionais de fruticultura, especialmente quando associados a cadeias curtas de comercialização. A integração de culturas perenes, frutíferas e espécies florestais diversifica fluxos de renda e protege o agricultor de oscilações de mercado – fenômeno recorrente na lógica agroexportadora.

Portanto, os SAFs constituem um contraexemplo prático à narrativa de que a sustentabilidade implica perda de produtividade. Ao contrário: redefinem o conceito de produtividade ao incluir longevidade do sistema, estabilidade ecológica e retorno socioeconômico contínuo. Resultados semelhantes são

observados em estudos brasileiros que identificam ganhos produtivos, autonomia econômica e recomposição territorial em experiências agroecológicas de base familiar e cooperativa (GRÉGIO et al., 2025).

3.2 ILPF E SUCESSÃO ECOLÓGICA: MANEJO HÍDRICO, SOLO E CLIMA

Modelos de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) também oferecem resultados relevantes. Estudos conduzidos em unidades demonstrativas no Paraná e Mato Grosso (EMBRAPA, 2023) registraram: redução de até 25% na erosão do solo em áreas com integração arbórea; aumento da infiltração hídrica devido à recuperação da agregação do solo; diminuição da temperatura média do microclima produtivo, reduzindo estresse hídrico e térmico; melhoria nos índices zootécnicos com manejo rotacionado e cobertura permanente.

Esses achados reforçam o papel estratégico da sucessão ecológica dirigida, conceito central da agroecologia, em que o manejo produtivo acompanha os ritmos da natureza, em vez de substituí-los por correções químicas contínuas.

3.3 MERCADOS TERRITORIAIS, CIRCUITOS CURTOS E SOBERANIA ALIMENTAR

A sustentabilidade sistêmica depende não apenas do cultivo, mas das formas de circulação e distribuição dos alimentos. Nesse sentido, feiras, cooperativas e compras institucionais representam mecanismos estruturantes de autonomia econômica. Estudos de Bueno et al. (2020) revelam que circuitos curtos de comercialização: reduzem custos logísticos e dependência de atravessadores; aumentam a renda líquida dos agricultores familiares; reforçam a identidade territorial dos alimentos; geram consumo consciente e recomposição cultural entre produtores e consumidores.

Em muitos territórios, a produção agroecológica só se viabiliza porque existe mercado capaz de absorvê-la. A Rede Ecovida (RS–SC–PR), por exemplo, articula certificação participativa, logística solidária e comercialização regional, promovendo infraestruturas de autonomia que reduzem subordinações aos oligopólios de distribuição.

3.4 ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO: A DIMENSÃO INSTITUCIONAL DA TRANSIÇÃO

A literatura nacional converge ao afirmar que a expansão da agroecologia depende da mediação institucional entre saber técnico e saber territorial. Experiências como a ASA Brasil e programas de capacitação territorializados demonstram que a extensão rural não deve ser apenas transferência de tecnologia, mas processo formativo de reconstrução de autonomia produtiva.

Os dados analisados evidenciam que, onde há assistência técnica continuada, a adoção de SAFs, manejo orgânico e mercados territoriais aumenta significativamente. Sem mediação institucional, prevalecem barreiras técnicas e informacionais, reforçando dependências históricas da agricultura familiar.

4 CONCLUSÃO

A análise realizada demonstra que a transição para modelos sistêmicos de agricultura não representa um movimento marginal ou voluntarista, mas uma necessidade histórica diante dos limites socioambientais, econômicos e ecológicos impostos pela racionalidade convencional da Revolução Verde. A modernização seletiva promovida no Brasil — estruturada na dependência de insumos externos, na hegemonia dos oligopólios agroquímicos, e no direcionamento da produção para cadeias globais — produziu ganhos de produtividade, mas aprofundou assimetrias territoriais, comprometeu ecossistemas e restringiu a autonomia dos agricultores familiares. Os dados apresentados ao longo do capítulo evidenciam que o modelo convencional é eficiente em rendimento físico, mas ineficiente em sustentabilidade sistêmica.

Em contrapartida, a agroecologia se afirma como horizonte paradigmático capaz de articular produtividade, conservação ambiental e justiça social. Mais que um repertório técnico, constitui projeto científico, político e civilizatório que reposiciona a agricultura em diálogo com os limites ecológicos do planeta e com os direitos fundamentais de quem produz e consome alimentos. Evidências empíricas provenientes de Sistemas Agroflorestais, Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, certificação participativa, redes territoriais e circuitos curtos de comercialização demonstram que é possível produzir de forma sustentável sem subordinar a agricultura às lógicas de dependência tecnológica e financeira.

Contudo, nenhuma experiência isolada é suficiente para reconfigurar estruturalmente o setor. A transição agroecológica exige arquitetura institucional e política de Estado, não apenas iniciativas pontuais. Isso implica reconhecer que o desafio não é técnico, mas de poder: trata-se de decidir se o país continuará subordinado ao mercado global de commodities ou se construirá soberania alimentar a partir de seus territórios. Sob esse entendimento, propõe-se a seguinte agenda propositiva para consolidação da transição sistêmica:

4.1 RECOMENDAÇÕES ESTRATÉGICAS PARA POLÍTICAS PÚBLICAS

- Reconstrução da assistência técnica e extensão rural em bases participativas, com ênfase em formação continuada, metodologias territoriais e certificação participativa;
- Política nacional de financiamento para transição agroecológica, com crédito de longo prazo, juros reduzidos e dispensa da obrigatoriedade de pacotes químicos;
- Reorientação da compra institucional (PAA, PNAE, hospitais e universidades) como motor de sustentação dos mercados territoriais;

- Regulamentação progressiva sobre agrotóxicos com base no princípio da precaução, transparência de riscos e restrição a moléculas proibidas internacionalmente.

4.2 DIRETRIZES PARA PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO

- Fortalecimento de laboratórios vivos (living labs) em territórios rurais, articulando escolas agrícolas, universidades e movimentos sociais;
- Inclusão da educação agroecológica em currículos das ciências agrárias e ambientais, rompendo com o monopólio epistemológico da formação tecnicista;
- Produção e manejo comunitário de sementes crioulas como estratégia concreta de soberania biotecnológica.

4.3 RECOMENDAÇÕES PARA TERRITÓRIOS E ORGANIZAÇÕES SOCIAIS

- Expansão de redes de certificação participativa e cooperativas logísticas, reduzindo a dependência das grandes distribuidoras;
- Implantação de Sistemas Agroflorestais comerciais orientados por bioeconomia local, agregação de valor e recuperação produtiva de paisagens;
- Prioridade à construção de infraestruturas de autonomia: agroindústrias familiares, bancos de sementes, viveiros comunitários, armazenagem e distribuição cooperativa.

Assim, a agricultura brasileira encontra-se diante de um ponto de inflexão. Persistir na lógica da Revolução Verde significa fortalecer vulnerabilidades econômicas e acelerar a degradação socioambiental. Avançar para o paradigma agroecológico, ao contrário, exige coragem institucional para romper com estruturas de dependência e afirmar o alimento como bem comum. A escolha, portanto, não é apenas técnica: é civilizatória.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Clóvis Tadeu; TEDESCO, João Carlos. A revolução verde e a modernização agrícola na mesorregião noroeste do Rio Grande do Sul – 1960/1970. **Teoria e Evidência Econômica**, v. 21, n. 45, p. 257–281, 2015. Disponível em: <https://ojs.upf.br/index.php/rtee/article/view/6187>. Acesso em: 1 jan. 2026.
- ALTIERI, Miguel. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. 3. ed. São Paulo: Expressão Popular, 2012.
- ALTIERI, Miguel; NICHOLLS, Clara. **Agroecologia e resiliência ao clima**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 2011.
- ASA BRASIL – Articulação Semiárido Brasileiro. **Programas de formação territorial e convivência com o Semiárido**. Recife: ASA, 2018.
- BUENO, Ana et al. **Circuitos curtos e mercados locais na agricultura familiar brasileira**. Brasília: MDA, 2020.
- CAPORAL, Francisco; COSTABEBER, José. **Agroecologia: princípios e estratégias para o desenvolvimento rural sustentável**. Brasília: MDA, 2000.
- COQUEIJO, S.; LIMA, A.; SILVA, J. **Sistemas agroflorestais no Baixo Sul da Bahia: resultados ecológicos e produtivos**. Salvador: UFBA, 2022.
- EMBRAPA. **Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: tecnologias e resultados**. Brasília: Embrapa, 2023.
- FIGUEREDO, Oscar Antonio T.; MIGUEL, Lovois de Aragão. **Algumas considerações sobre o desenvolvimento rural na perspectiva sistêmica**. In: **Anais do VII Congresso Brasileiro de Sistemas de Produção**. Fortaleza: Embrapa, 2007.
- FREITAS, Sheila Santos. **Agroecologia: perspectivas e desafios em organizações cooperativas**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2019.
- GLIESSMAN, Stephen R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: UFRGS Editora, 2000.
- GRÉGIO, Equiton Lorengian; LIMA, Daniele de Oliveira. **Ecologia da restauração e desenvolvimento sustentável: uma revisão sistêmica**. Sete Editora, 2025. p. 1–14. Disponível em: <https://sevenpubl.com.br/editora/article/view/7734>. Acesso em: 1 jan. 2026.
- GRÉGIO, Equiton Lorengian; SCANEGATTA, Kayllane Rodrigues; BASSO, Letícia Panisson; BORTOLOTO, Lucas Gabriel; HAUS, Gabriel; BOARETTO, Kauã Cristhian Rosa; CONSALTER, Vítório Augusto; LIMA, Daniele de Oliveira; CANALE DA SILVA, Eduarda Portugal. **Agroecologia e pensamento complexo: uma análise teórica e empírica na região de Sananduva-RS**. Aurum Editora, 2025. p. 36–45. ISBN: 978-65-83849-19-9. DOI: 10.63330/aurumpub.017-004. Disponível em: <https://aurumpublicacoes.com/index.php/editora/article/view/673>. Acesso em: 1 jan. 2026.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: censoagro2017.ibge.gov.br. Acesso em: 10 jan. 2026.



LAMAS, Fernando Mendes. **A evolução da agricultura no Brasil**. Campo Grande: Embrapa Agropecuária Oeste, 2023.

MORIN, Edgar. **Introdução ao pensamento complexo**. Porto Alegre: Sulina, 2015.

PADUA-GOMES, Juliana B. et al. Desafios da comercialização de produtos orgânicos oriundos da agricultura familiar. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 12, n. 1, p. 1–16, 2016.

PEREIRA, Diogo B. L.; FREIRE, Guilherme F. Agroecologia: desafios e perspectivas. **Revista de Estudos Legislativos**, v. 1, n. 1, p. 76, 2017.

SOUZA, Sérgio Dias; SOUSA, Maria Lúcia. **Efeitos ambientais da modernização agrícola no Brasil**. Revista GEOgrafias, v. 18, n. 1, p. 63–72, 2022. DOI: 10.35699/2237-549X.2022.38549.

VIGLIZZO, Ernesto Federico. **Impactos ambientales de la agricultura: enfoques y desafíos**. Buenos Aires: INTA, 2001.

CONSERVAÇÃO DA FAUNA SELVAGEM E MEDICINA VETERINÁRIA APLICADA**WILDLIFE CONSERVATION AND APPLIED VETERINARY MEDICINE** <https://doi.org/10.63330/aurumpub.030-007>**Beto Cherles Coral Rodrigues**

Especialista em Oncologia Veterinária de Pequenos Animais

Unyleya

E-mail: beto.rodrigues@ufrpe.br

Emanuela Almeida Sobral

Mestranda em Saúde Pública

Universidade Del Sol

E-mail: manulevi397@gmail.com

RESUMO

A conservação da fauna selvagem tem se consolidado como um dos principais desafios contemporâneos frente à intensificação das ações antrópicas, exigindo abordagens interdisciplinares que integrem a medicina veterinária aplicada. Este capítulo tem como objetivo analisar o papel da medicina veterinária na conservação da fauna silvestre, destacando suas contribuições para a saúde animal, manutenção da biodiversidade e equilíbrio dos ecossistemas. A metodologia adotada consistiu em uma revisão bibliográfica narrativa, com análise de livros, artigos científicos e documentos técnicos publicados por autores de referência na área, como Primack, Cubas e Fowler, priorizando estudos dos últimos dez anos. Os resultados evidenciam que a atuação veterinária é essencial em programas de reabilitação, manejo clínico-cirúrgico, monitoramento sanitário, reprodução assistida e controle de zoonoses, contribuindo diretamente para a redução da mortalidade e para o sucesso de projetos de conservação in situ e ex situ. Conclui-se que a medicina veterinária aplicada à fauna selvagem desempenha papel estratégico na conservação ambiental, sendo indispensável para o desenvolvimento de políticas públicas, práticas sustentáveis e ações integradas de proteção da biodiversidade.

Palavras-chave: Conservação ambiental; Fauna silvestre; Manejo sanitário; Medicina veterinária; Zoonoses.

ABSTRACT

Wildlife conservation has become one of the main contemporary challenges due to increasing anthropogenic pressures, requiring interdisciplinary approaches that integrate applied veterinary medicine. This chapter aims to analyze the role of veterinary medicine in wildlife conservation, emphasizing its contributions to animal health, biodiversity maintenance, and ecosystem balance. The methodology consisted of a narrative literature review, analyzing books, scientific articles, and technical documents published by recognized authors in the field, such as Primack, Cubas, and Fowler, with emphasis on studies from the last ten years. The results demonstrate that veterinary practice is essential in rehabilitation programs, clinical and surgical management, health monitoring, assisted reproduction, and zoonosis control, directly contributing to reduced mortality and the success of in situ and ex situ conservation initiatives. It is concluded that veterinary medicine applied to wildlife plays a strategic role in environmental conservation and is indispensable for the development of public policies, sustainable practices, and integrated actions aimed at biodiversity protection.



Keywords: Animal health; Biodiversity conservation; Veterinary medicine; Wildlife management; Zoonoses.

1 INTRODUÇÃO

A conservação da fauna selvagem tem assumido papel central nos debates ambientais contemporâneos, especialmente diante do avanço das atividades antrópicas, como o desmatamento, a fragmentação de habitats, o tráfico de animais silvestres e as mudanças climáticas. Esses fatores têm contribuído significativamente para a redução da biodiversidade, colocando inúmeras espécies em risco de extinção. Nesse contexto, a medicina veterinária aplicada emerge como uma área estratégica, ao integrar conhecimentos clínicos, sanitários e de manejo voltados à proteção, recuperação e manutenção da saúde da fauna silvestre.

O problema de pesquisa que orienta este capítulo reside na necessidade de compreender de que forma a medicina veterinária pode contribuir de maneira efetiva para a conservação da fauna selvagem, considerando os desafios sanitários, ecológicos e éticos envolvidos na atuação profissional junto a espécies silvestres em ambientes naturais e sob cuidados humanos.

O objetivo geral deste capítulo é analisar a importância da medicina veterinária aplicada na conservação da fauna selvagem. Como objetivos específicos, busca-se: discutir os principais fatores que ameaçam a fauna silvestre; descrever as áreas de atuação da medicina veterinária em programas de conservação; e evidenciar a relevância do manejo sanitário e preventivo para a manutenção da biodiversidade.

A justificativa deste estudo fundamenta-se na crescente demanda por profissionais capacitados para atuar na interface entre saúde animal, conservação ambiental e saúde pública, especialmente à luz do conceito de Saúde Única. Assim, o aprofundamento teórico sobre o tema contribui para a formação acadêmica, o aprimoramento profissional e o fortalecimento de políticas públicas voltadas à conservação da fauna.

Do ponto de vista teórico, estudos clássicos e contemporâneos apontam que estratégias de conservação eficazes dependem da integração entre ecologia, medicina veterinária e gestão ambiental, destacando o papel do veterinário em ações de monitoramento sanitário, reabilitação de animais silvestres, controle de zoonoses e apoio a programas de conservação *in situ* e *ex situ*.

2 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste capítulo foi delineada de modo a permitir uma análise sistemática e fundamentada sobre a contribuição da medicina veterinária aplicada à conservação da fauna selvagem, assegurando rigor científico e coerência com os objetivos propostos.

2.1 TIPO DE PESQUISA

O estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza qualitativa, de caráter descritivo e exploratório. Optou-se por esse delineamento por possibilitar uma compreensão aprofundada dos aspectos conceituais, técnicos e práticos relacionados à atuação da medicina veterinária na conservação da fauna silvestre, sem a intenção de quantificar dados, mas de interpretar fenômenos e práticas descritas na literatura especializada.

2.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos basearam-se em uma revisão bibliográfica narrativa, permitindo a análise crítica de diferentes abordagens teóricas e experiências práticas relatadas por pesquisadores e profissionais da área.

2.2.1 Levantamento bibliográfico

O levantamento das fontes foi realizado por meio da consulta a bases de dados científicas nacionais e internacionais, como SciELO, PubMed, Google Scholar e periódicos especializados em medicina veterinária, conservação ambiental e ecologia. Foram priorizados livros, artigos científicos, dissertações, teses e documentos técnicos publicados nos últimos dez anos, sem excluir obras clássicas de reconhecida relevância para a temática.

2.2.2 Critérios de inclusão e exclusão

Como critérios de inclusão, consideraram-se estudos que abordassem diretamente a relação entre conservação da fauna selvagem e medicina veterinária aplicada, bem como publicações que discutissem manejo sanitário, reabilitação de animais silvestres, controle de zoonoses e programas de conservação. Foram excluídos trabalhos que não apresentassem embasamento científico, que estivessem fora do recorte temático ou que não contribuíssem para os objetivos do estudo.

2.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE ANÁLISE

A análise dos dados ocorreu de forma qualitativa, por meio da leitura exploratória, seletiva e analítica das obras selecionadas. Como instrumento de apoio, utilizou-se fichamento bibliográfico, permitindo a organização das informações, identificação de categorias temáticas e comparação entre diferentes abordagens teóricas e práticas.

2.4 AMOSTRA DO ESTUDO

A amostra foi composta por produções científicas relevantes para a área da conservação da fauna selvagem e da medicina veterinária aplicada. Embora não quantitativa, a seleção buscou contemplar diversidade de autores, contextos geográficos e enfoques metodológicos, assegurando uma visão ampla e fundamentada do tema.

2.5 DISCUSSÃO METODOLÓGICA

A escolha pela revisão bibliográfica narrativa mostrou-se adequada ao propósito do capítulo, uma vez que possibilita integrar conhecimentos consolidados e evidências recentes sobre a atuação veterinária na conservação da fauna. Esse tipo de abordagem favorece a compreensão crítica das práticas existentes, dos desafios enfrentados e das perspectivas futuras, contribuindo para o avanço científico e para o fortalecimento de estratégias interdisciplinares voltadas à proteção da biodiversidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da literatura selecionada permitiu identificar resultados consistentes acerca da relevância da medicina veterinária aplicada à conservação da fauna selvagem, evidenciando sua atuação como elemento fundamental para a manutenção da saúde animal, preservação da biodiversidade e equilíbrio dos ecossistemas.

Os principais achados do estudo demonstram que a medicina veterinária exerce papel estratégico em diferentes frentes da conservação, destacando-se o manejo clínico e cirúrgico de animais silvestres, os programas de reabilitação e soltura, o monitoramento sanitário de populações naturais, a reprodução assistida de espécies ameaçadas e o controle de zoonoses. Esses aspectos são amplamente discutidos na literatura, que aponta a saúde animal como um dos pilares para o sucesso de iniciativas de conservação *in situ* e *ex situ*.

Observou-se que ações de reabilitação conduzidas por equipes multiprofissionais, com forte participação de médicos-veterinários, apresentam maiores índices de sobrevivência e readaptação dos animais ao ambiente natural. Tais resultados corroboram estudos de Cubas, Silva e Catão-Dias, que enfatizam a importância do diagnóstico precoce, do tratamento adequado e do manejo comportamental para a redução da mortalidade em centros de triagem e reabilitação da fauna silvestre.

Outro achado relevante refere-se ao monitoramento sanitário como ferramenta preventiva na conservação. A literatura destaca que o acompanhamento epidemiológico permite identificar precocemente surtos de doenças infecciosas, reduzindo riscos tanto para as populações animais quanto para a saúde humana, em consonância com o conceito de Saúde Única. Fowler e Primack ressaltam que a ausência de

vigilância sanitária compromete diretamente programas de conservação, podendo levar ao declínio populacional de espécies vulneráveis.

Além disso, os estudos analisados apontam que a medicina veterinária contribui significativamente para programas de reprodução assistida e manejo genético, sobretudo em espécies ameaçadas de extinção. Essas estratégias, quando associadas a critérios éticos e científicos, ampliam as chances de manutenção da variabilidade genética e de reintrodução bem-sucedida na natureza.

De modo geral, os resultados discutidos evidenciam que a integração entre medicina veterinária, ecologia e gestão ambiental é indispensável para o enfrentamento dos desafios contemporâneos da conservação da fauna selvagem. Embora este capítulo não apresente dados empíricos ou tabelas, os achados da revisão indicam consenso na literatura quanto à necessidade de fortalecer a atuação veterinária como componente essencial das políticas e práticas de conservação.

4 CONCLUSÃO

Este capítulo teve como objetivo geral analisar a importância da medicina veterinária aplicada na conservação da fauna selvagem, destacando suas contribuições para a saúde animal, a preservação da biodiversidade e o equilíbrio dos ecossistemas. Ao longo do estudo, buscou-se compreender os principais desafios enfrentados na conservação da fauna e o papel estratégico do médico-veterinário nesse contexto interdisciplinar.

Os principais resultados evidenciam que a medicina veterinária é um componente essencial em programas de conservação, atuando de forma direta no manejo clínico e sanitário de animais silvestres, na reabilitação e reintrodução de espécies, no monitoramento epidemiológico e no controle de zoonoses. A literatura analisada demonstra que essas ações contribuem significativamente para a redução da mortalidade, para o sucesso de iniciativas de conservação *in situ* e *ex situ* e para a mitigação dos impactos das atividades antrópicas sobre a fauna.

Como contribuição científica, este capítulo reforça a relevância da integração entre medicina veterinária, conservação ambiental e saúde pública, alinhando-se ao conceito de Saúde Única. Além disso, oferece subsídios teóricos para estudantes, pesquisadores e profissionais que atuam ou pretendem atuar na área, auxiliando na formulação de práticas mais eficazes e sustentáveis de conservação da fauna selvagem.

No que se refere às perspectivas futuras, sugere-se o desenvolvimento de pesquisas empíricas que avaliem, de forma quantitativa, os impactos das intervenções veterinárias em populações silvestres, bem como estudos voltados à inovação em técnicas de diagnóstico, manejo e reprodução assistida. Tais investigações poderão ampliar o conhecimento científico e fortalecer estratégias integradas de conservação, contribuindo para a proteção da biodiversidade em longo prazo.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano de ação nacional para a conservação da fauna silvestre. Brasília: MMA, 2017.
- CUBAS, Zalmir Silvino; SILVA, Jean Carlos Ramos; CATÃO-DIAS, José Luiz. Tratado de animais selvagens: medicina veterinária. 2. ed. São Paulo: Roca, 2014.
- FOWLER, Murray E.; MILLER, R. Eric. Zoo and wild animal medicine. 8th ed. St. Louis: Elsevier, 2019.
- ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Manejo e conservação da fauna silvestre no Brasil. Brasília: ICMBio, 2018.
- IUCN – International Union for Conservation of Nature. Guidelines for wildlife health management. Gland: IUCN, 2014.
- MAGNUSSON, William E. et al. Biodiversidade e conservação da Amazônia. Manaus: Editora INPA, 2018.
- PRIMACK, Richard B. Biologia da conservação. 5. ed. Londrina: Editora Planta, 2018.
- REED, Kevin D. et al. Zoonotic diseases and wildlife conservation. Emerging Infectious Diseases, Atlanta, v. 9, n. 8, p. 989–995, 2003.
- SILVA, Jean Carlos Ramos da. Medicina veterinária aplicada à conservação da fauna silvestre. São Paulo: Roca, 2016.
- THOMAS, Richard E.; LEE, Karen A. Wildlife disease ecology: linking theory to data and application. Cambridge: Cambridge University Press, 2019.
- WILSON, Edward O. A diversidade da vida. São Paulo: Companhia das Letras, 2012.

INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE FIBRAS DE COCO (*Cocos nucifera* L.) NO DESEMPENHO MECÂNICO DE ADOBES**INFLUENCE OF THE INCORPORATION OF COCONUT FIBERS (*Cocos nucifera* L.) IN THE MECHANICAL PERFORMANCE OF ADOBES** <https://doi.org/10.63330/aurumpub.030-008>**Damare dos Santos Sousa**

Graduanda em Engenharia Agrônômica
UEMASUL/CCA
E-mail: damaressantos592@gmail.com

Graziele Oliveira da Silva

Graduanda em Engenharia Agrônômica
UEMASUL/CCA
E-mail: graziele.silva@uemasul.edu.br

Guilherme Silva Rosa

Graduando em Engenharia Agrônômica
UEMASUL/CCA
E-mail: guilermi.rosa@gmail.com

Kele Sousa Pires Andrade

Graduanda em Engenharia Agrônômica
UEMASUL/CCA
E-mail: kelesousapires@gmail.com

Lorrane Chagas Pereira

Graduanda em Engenharia Agrônômica
UEMASUL/CCA
E-mail: lorrane.pereira@uemasul.edu.br

Ricardo Santana do Carmo

Graduando em Engenharia Agrônômica
UEMASUL/CCA
E-mail: ricardoks1000@gmail.com

Vanessa Nunes Andrér Lima

Graduanda em Engenharia Agrônômica
UEMASUL/CCA
E-mail: vanessalima6918@gmail.com

Daniel Carlos Machado

Doutorando em Agronomia (Ciência do Solo)
UNESP/Campus Jaboticabal
E-mail: daniel.c.machado@unesp.br

Wilson Araújo da Silva

Doutor em Agronomia

UEMASUL/CCA

E-mail: wilson@uemasul.edu.br

Cristiane Matos da Silva

Doutora em Ciência e Tecnologia Ambiental

UEMASUL/CCA

E-mail: cristiane.silva@uemasul.edu.br

Laylles Costa Araújo

Doutora em Zootecnia

UFRA/ Campus Capitão Poço

E-mail: laylles.araujo@ufra.edu.br

Leanne Teles Pereira

Mestre em Ciências Florestais e Ambientais

UEMASUL/CCA

E-mail: leanne.pereira@uemasul.edu.br

Kalyne Pereira Miranda Nascimento

Mestre em Agricultura e Ambiente

UEMASUL/CCA

E-mail: kalyneengenhairaag@gmail.com

João Miguel Santos Dias

Doutorando em Engenharia Civil

UEMASUL/CCHSTL

E-mail: joao.dias@uemasul.edu.br

Jonathan dos Santos Viana

Doutor em Agronomia (Ciência do Solo)

UEMASUL/CCA

E-mail: jonathan.viana@uemasul.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4734-9843>

RESUMO

A busca por materiais construtivos sustentáveis tem impulsionado o uso de resíduos naturais na construção civil, entre eles a fibra de coco (*Cocos nucifera* L.), devido ao seu potencial ambiental e funcional. Este estudo avaliou a influência da incorporação de fibras de coco da praia nas propriedades físicas e mecânicas de tijolos de adobe, com ênfase na resistência à compressão e na absorção de água. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos correspondentes à adição de 0%, 1,5%, 3,0% e 4,5% de fibra de coco, com quatro repetições. Foram analisadas a absorção de água por imersão, a uniformidade dimensional e a resistência à compressão, determinada por meio de ensaio em prensa universal. Os resultados indicaram que a incorporação de 75 g de fibra de coco proporcionou o melhor desempenho mecânico, com maior resistência à compressão e menor absorção de água em comparação ao tratamento controle. Em contrapartida, teores mais elevados de fibra comprometeram a resistência mecânica, possivelmente em função da redução da compactação e da coesão da matriz do adobe. Conclui-se que a adição moderada de fibra de coco melhora o desempenho físico e mecânico dos adobes,

configurando-se como uma alternativa sustentável e tecnicamente viável, desde que empregada em proporções adequadas.

Palavras-chave: Tijolo tipo adobe; Reforço fibroso; Resistência mecânica.

ABSTRACT

The search for sustainable construction materials has driven the use of natural waste in civil construction, including coconut fiber (*Cocos nucifera* L.), due to its environmental and functional potential. This study evaluated the influence of the incorporation of coconut fibers from the beach on the physical and mechanical properties of adobe bricks, with emphasis on compressive strength and water absorption. The experiment was conducted in a completely randomized design, with four treatments corresponding to the addition of 0%, 1.5%, 3.0% and 4.5% of coconut fiber, with four replications. Immersion water absorption, dimensional uniformity and compressive strength were analyzed, determined by means of a universal press test. The results indicated that the incorporation of 75 g of coconut fiber provided the best mechanical performance, with greater compressive strength and lower water absorption compared to the control treatment. On the other hand, higher fiber contents compromised the mechanical strength, possibly due to the reduction of compaction and cohesion of the adobe matrix. It is concluded that the moderate addition of coconut fiber improves the physical and mechanical performance of the adobes, configuring itself as a sustainable and technically viable alternative, as long as it is used in adequate proportions.

Keywords: Adobe-like brick; Fibrous reinforcement; Mechanical resistance.

1 INTRODUÇÃO

A intensificação das discussões acerca dos impactos ambientais associados à construção civil tem impulsionado a busca por materiais alternativos que apresentem menor impacto ambiental ao longo de seu ciclo de vida. Esse setor é reconhecido como um dos principais responsáveis pelo elevado consumo de recursos naturais, pela expressiva emissão de gases de efeito estufa e pela geração significativa de resíduos sólidos, fatores que reforçam a necessidade de estratégias construtivas mais sustentáveis (Santos & Marchesini, 2018; Marques et al., 2024). Nesse contexto, a reutilização de resíduos agroindustriais tem se consolidado como uma abordagem tecnicamente viável e ambientalmente eficiente para o desenvolvimento de materiais de construção com menor pegada ecológica.

Dentre os resíduos agroindustriais com potencial de aplicação no setor construtivo, destaca-se a fibra de coco, subproduto gerado em grande escala pela cadeia produtiva do coqueiro (*Cocos nucifera* L.), tanto a partir de frutos verdes quanto maduros. Após o aproveitamento da água e da polpa, a casca do coco é frequentemente descartada de forma inadequada, contribuindo para problemas ambientais; entretanto, quando processada, pode ser convertida em um material com elevado valor agregado e múltiplas possibilidades de aplicação (Giraldelli et al., 2021). A disponibilidade abundante desse resíduo, aliada ao seu caráter renovável, reforça seu potencial como insumo sustentável para a construção civil.

Do ponto de vista físico-mecânico, a fibra de coco apresenta propriedades relevantes, como baixa densidade, elevada resistência à tração, boa durabilidade e capacidade de isolamento térmico e acústico, características que favorecem sua incorporação em diferentes sistemas construtivos (Adeniji & Olorunnisola, 2018; Sankar et al., 2022). Estudos experimentais demonstram que a adição desse material em matrizes cimentícias e à base de terra, como no caso de adobes, pode resultar em melhorias no desempenho mecânico, com aumento da resistência à compressão, redução da absorção de água e maior durabilidade dos compósitos, além de contribuir para o controle de fissuração (Silva et al., 2015; Morato et al., 2023).

Sob a perspectiva ambiental, a utilização da fibra de coco como reforço em materiais de construção contribui para a mitigação das emissões de dióxido de carbono (CO₂), ao reduzir a demanda por materiais convencionais de elevada intensidade energética, como o cimento Portland. Ademais, essa estratégia está alinhada aos princípios da economia circular, promovendo o reaproveitamento de resíduos agroindustriais, a redução da deposição em aterros e a diminuição da extração de matérias-primas virgens (Londe et al., 2023). Neste sentido, este estudo teve como objetivo avaliar a resistência mecânica de tijolos tipo adobe incrementados com fibras de coco da praia.

2 METODOLOGIA

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (CCA/UEMASUL), localizado no município de Imperatriz Maranhão, com as coordenadas geográficas 5°33'45"S e 47°27'18"W.

Conforme a classificação de Koppen-Geiger, o clima do território maranhense é descrito como tipo Aw - tropical com chuvas no verão, subúmido com dois períodos bem definidos: chuvoso e seco, em que o chuvoso vai de dezembro a abril e seco de maio a novembro. Ao longo do ano, a temperatura varia de 20 °C a 35 °C (Correia Filho *et al.*, 2011). Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2020), a precipitação média anual do município de Imperatriz - MA é de 1.516 mm e umidade relativa do ar em média 68,8%.

2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O estudo foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), composto por cinco tratamentos, com quatro repetições cada, totalizando 20 unidades experimentais. Os tratamentos foram definidos da seguinte forma: T0 (Controle): Sem adição de resíduo; T1: Adição de 1,5% de resíduo em relação ao peso do adobe, correspondente a 75 g para cada 5 kg de adobe; T2: Adição de 3,0% de resíduo em relação ao peso do adobe, equivalente a 150 g para cada 5 kg de adobe; T3: Adição de 4,5% de resíduo em relação ao peso do adobe, correspondente a 225 g para cada 5 kg de adobe.

2.3 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Para a instalação do experimento, foram utilizados frutos da palmeira coqueiro (*Cocos nucifera*), na qual foram seccionados e submetidos à secagem ao sol por um período de sete dias. Após o processo de secagem, os resíduos foram coletados e triturados em liquidificador industrial, conforme a Figura 1. As partes mais fibrosas, que apresentaram maior resistência ao processamento mecânico, foram fragmentadas manualmente.

Inicialmente, foram definidas e separadas as quantidades de resíduo a serem incorporadas em cada tratamento experimental, estabelecendo-se quatro níveis de dosagem: T0 (controle, sem adição de resíduo), T1 (75 g), T2 (150 g) e T3 (225 g). Na sequência, procedeu-se à preparação da mistura para a confecção dos adobes, adotando-se o traço base de 2:1, correspondente a duas partes de argila para uma parte de areia, com adição gradual de água até a obtenção de consistência adequada para moldagem.

A moldagem dos corpos de prova foi realizada em moldes de madeira com dimensões internas de 19 cm de comprimento, 24 cm de largura e 7 cm de altura. Em todos os tratamentos, manteve-se constante o traço argila: areia, variando-se exclusivamente a quantidade de resíduo incorporado, conforme a dosagem

previamente estabelecida para cada tratamento, de modo a permitir a avaliação isolada do efeito desse material sobre as propriedades dos adobes.

Após a moldagem, os tijolos foram submetidos à secagem natural, sob exposição direta à radiação solar, por um período de sete dias, visando à redução gradual da umidade e à minimização de fissuras decorrentes da retração. Concluída essa etapa, os corpos de prova foram destinados à realização dos ensaios de absorção de água, sendo utilizado um tijolo por tratamento para a execução dos testes.

Figura 1. Etapas de trituração de fibras de coco secas.



Fonte: Sousa et al. (2025).

2.4 VARIÁVEIS ANALISADAS

As variáveis analisadas foram: absorção de água em diferentes intervalos de tempo, porcentagem de absorção, análise dimensional para cada formulação e ensaios de resistência à compressão.

2.4.1 Ensaio de absorção de água por imersão

O ensaio de absorção de água foi conduzido com 5 repetições, conforme procedimento experimental previamente estabelecido. Inicialmente, cada adobe, previamente seco até massa constante, foi pesado em balança analítica para determinação da massa seca. Na sequência, os tijolos foram totalmente imersos em água por um período de 10 minutos; após esse intervalo, foram retirados, mantidos em escoamento para remoção do excesso de água superficial e submetidos à segunda pesagem.

Posteriormente, os corpos de prova foram novamente imersos em água por mais 10 minutos e, ao término desse período, realizou-se a terceira pesagem. Assim, obtiveram-se três determinações de massa para cada tratamento, permitindo a quantificação e a comparação da absorção hídrica dos adobes em função das diferentes proporções de resíduo incorporado.

2.4.2 Análise dimensional

Os tijolos adobes foram feitos para apresentarem uma forma externa de paralelepípedo retangular.

2.4.3 Ensaios de resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados no Laboratório de Estruturas e Materiais de Construção da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Campus Açailândia-MA, utilizando-se a prensa universal de ensaios INSTRON EMIC 23-100, conforme ilustrado na Figura 2.

Para a execução do ensaio, foram extraídos corpos de prova cúbicos com dimensões de 5,5 cm × 5,5 cm × 5,5 cm a partir dos adobes confeccionados, sendo retirado um bloco de cada unidade produzida em cada tratamento experimental. Dessa forma, obtiveram-se cinco amostras por tratamento, assegurando a replicação necessária para a análise estatística e conferindo maior confiabilidade e representatividade aos resultados. Todas as amostras foram submetidas ao ensaio de compressão no referido laboratório, seguindo procedimentos padronizados para a determinação da resistência mecânica dos adobes.

Figura 2. Blocos de adobes submetidos ao teste de resistência e a prensa controladora INSTRON EMIC 23-100 executando a prensagem.



Fonte: Sousa et al. (2025).

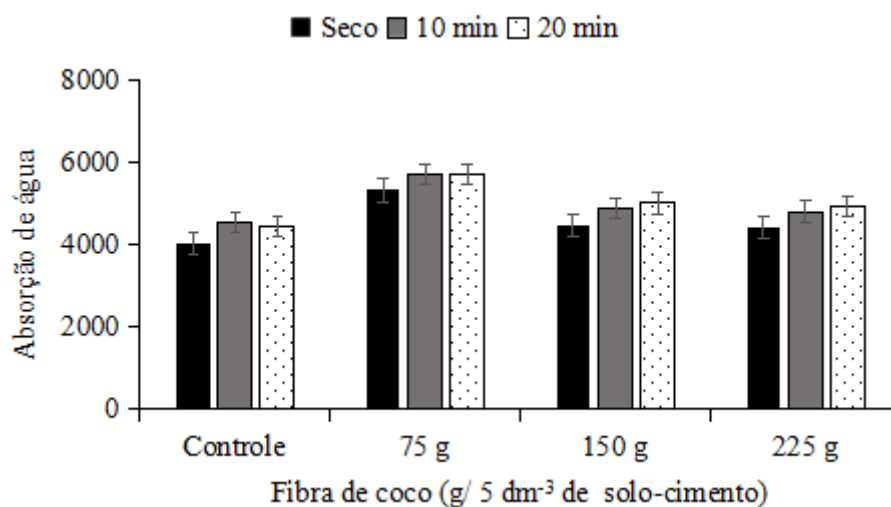
2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados experimentais obtidos foram sistematizados e organizados em tabelas e gráficos, elaborados com o auxílio do software Microsoft Excel®, visando à adequada visualização, interpretação e análise dos resultados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à absorção de água dos corpos de prova de adobe, avaliados em diferentes intervalos de tempo, estão apresentados na Figura 3. Conforme observado, a absorção hídrica aumenta de forma progressiva em função do tempo de submersão. Nos primeiros 10 minutos, os corpos de prova apresentam valores relativamente baixos de absorção; entretanto, à medida que o período de imersão é ampliado, verifica-se um incremento gradual na quantidade de água absorvida, indicando a influência direta do tempo de contato com o meio aquoso sobre o comportamento higroscópico dos adobes.

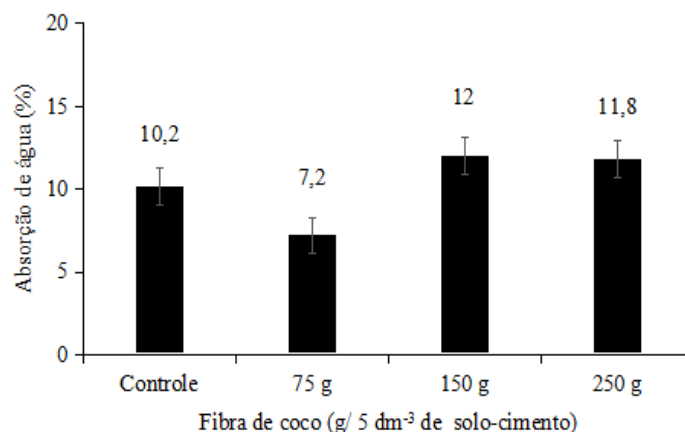
Figura 3. Absorção de água nos corpos de prova dos adobes em diferentes intervalos de tempo.



Fonte: Sousa et al. (2025).

Os resultados referentes à porcentagem de absorção de água nos corpos dos adobes em diferentes intervalos de tempo estão apresentados na Figura 4.

Figura 4. Porcentagem de absorção de água em tijolos do tipo adobe.



Fonte: Sousa et al. (2025).

A Figura 4 evidencia que a absorção de água dos corpos de prova de adobe varia em função da incorporação de fibras de coco, indicando influência direta da composição dos blocos sobre o comportamento higroscópico do material. Observa-se que o tratamento T1, correspondente à adição de 75 g de fibra de coco, apresentou a menor porcentagem de absorção hídrica quando comparado ao tratamento controle e às maiores dosagens de fibra. Esse resultado sugere que a incorporação moderada de fibras contribui para a redução da porosidade efetiva do adobe, possivelmente em decorrência do melhor preenchimento dos vazios e da maior coesão da matriz solo-cimento.

Por outro lado, o aumento da dosagem de fibras para 150 g e 250 g resultou em elevação da absorção de água, o que pode estar associado ao excesso de fibras na matriz, promovendo descontinuidades internas e aumento da conectividade dos poros. Esses resultados indicam a existência de um teor ótimo de fibra, no qual se obtém equilíbrio entre reforço mecânico e controle da absorção hídrica. Nesse contexto, a adição de 75 g de fibra de coco mostrou-se mais eficiente para melhorar a resistência do adobe à umidade, fator diretamente relacionado à sua durabilidade.

De acordo com a literatura, a redução da absorção de água em materiais à base de terra está associada ao aumento da estabilidade dimensional e da integridade estrutural, especialmente em ambientes sujeitos a variações climáticas (Silva et al., 2015). Assim, os resultados obtidos reforçam o potencial da fibra de coco como material de reforço sustentável, desde que utilizada em proporções adequadas, contribuindo para o desempenho e a durabilidade de adobes empregados em sistemas construtivos de baixo impacto ambiental.

Os resultados referentes à análise dimensional para cada formulação estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados da análise dimensional de adobe para cada incremento com fibra de coco.

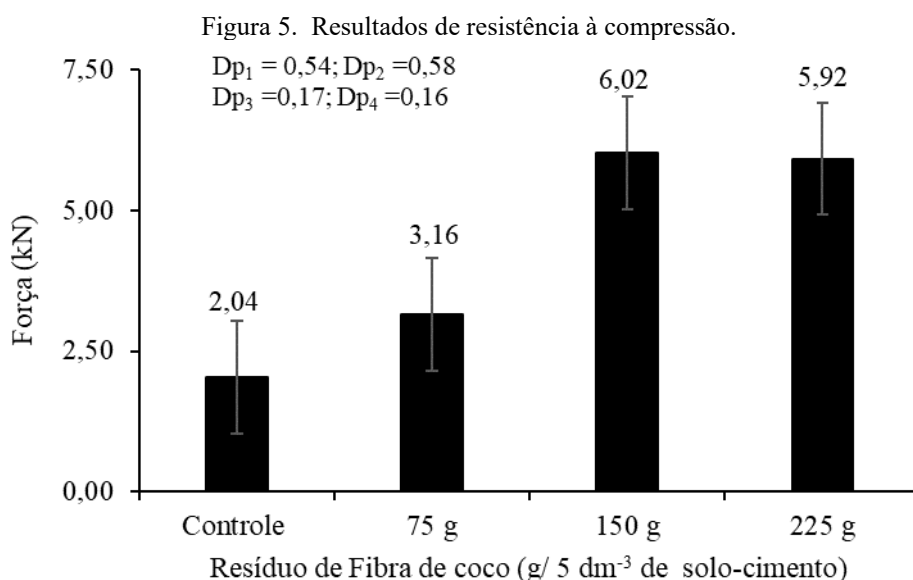
Formulação	Análise dimensional (mm)					
	Comprim.	Desvio Padrão	Largura	Desvio Padrão	Altura	Desvio Padrão
T0	19,53	0,05	17,83	0,25	0,29	2,6
T1	19,3	0,22	17,9	0,08	0,21	2,77
T2	19,47	0,05	17,97	0,05	0,19	2,37
T3	19,53	0,12	18,03	0,12	0	2,5

Fonte: Sousa et al. (2025).

Nota-se reduzida variação entre as medidas obtidas para as diferentes formulações, evidenciando adequada uniformidade dimensional entre as amostras. Essa homogeneidade é indicativa da eficiência do

processo de moldagem e contribui para a padronização dos blocos, aspecto fundamental para sua aplicação em sistemas construtivos, uma vez que favorece o adequado alinhamento, a estabilidade e o desempenho estrutural das edificações.

Os resultados referentes a resistência à compressão dos corpos de prova, encontram-se apresentados na Figura 5.



Fonte: Sousa et al. (2025).

Observa-se que o tratamento T1, correspondente à adição de 75 g de fibras, apresentou o maior desempenho mecânico, suportando tensões superiores antes da ruptura. Em contraste, os tratamentos T2 (150 g) e T3 (225 g) exibiram redução nos valores de resistência à compressão, indicando que o incremento excessivo do teor de fibras compromete a integridade estrutural dos blocos.

Resultados semelhantes são reportados na literatura, na qual se observa que elevadas proporções de fibras vegetais tendem a prejudicar a compactação e a coesão da matriz, resultando em diminuição da resistência mecânica dos adobes (Oliveira & Moraes, 2025). De modo complementar, Oliveira (2016) destaca que o excesso de fibras interfere negativamente na interação entre os constituintes do adobe, promovendo a formação de vazios e descontinuidades internas que reduzem a capacidade resistente do material.

Apesar da redução da resistência mecânica em dosagens elevadas, a incorporação moderada de fibras vegetais é amplamente recomendada, uma vez que contribui para a mitigação das retrações durante o processo de secagem e cura, reduzindo a incidência de fissuras. Quando utilizadas em proporções adequadas, as fibras melhoram a trabalhabilidade da mistura, conferem maior estabilidade dimensional aos blocos e favorecem a integridade estrutural do material (Giralderlli et al., 2021; Minke, 2012).

Nesse contexto, Bhatia e Smith (2008) ressaltam que, mesmo diante de variações nas propriedades mecânicas, a utilização de fibras naturais na engenharia de materiais agrega valor ao produto final, especialmente em função dos benefícios ambientais, funcionais e da contribuição para o desenvolvimento de sistemas construtivos mais sustentáveis.

4 CONCLUSÃO

A incorporação de fibra de coco na produção de adobes apresenta efeitos positivos quando realizada em proporções adequadas. Entre os tratamentos avaliados, a adição de 75 g de fibra (Tratamento T1) resultou no melhor desempenho mecânico, evidenciado pelos maiores valores de resistência à compressão. Em contrapartida, dosagens superiores, correspondentes a 150 g e 250 g de fibra, promoveram redução da resistência mecânica, possivelmente em decorrência da dificuldade de compactação e da menor coesão da matriz solo-cimento, ocasionada pelo excesso de fibras.

No que se refere ao comportamento higroscópico, verificou-se que os adobes com maior teor de fibra apresentaram tendência à redução da absorção de água ao longo do tempo, indicando contribuição das fibras para a modificação da estrutura porosa do material. Adicionalmente, a presença da fibra de coco favoreceu a trabalhabilidade da mistura, reduziu os efeitos de retração durante o processo de secagem e aumentou a estabilidade dimensional dos blocos, características relevantes para a durabilidade e o desempenho do material.

Dessa forma, os resultados obtidos evidenciam que o uso da fibra de coco na fabricação de adobes configura-se como uma alternativa sustentável e tecnicamente viável, capaz de agregar valor ambiental e funcional ao material. Contudo, ressalta-se que a definição de proporções adequadas é fundamental para assegurar a integridade estrutural e o desempenho mecânico do produto final.

REFERÊNCIAS

- ADENIJI, A. O.; OLORUNNISOLA, A. O. Investigações sobre os efeitos da substituição de cimento e da adição de cloreto de cálcio em propriedades selecionadas de telhas reforçadas com fibra de casca de coco. **International Journal of Engineering Research and Advanced Technology**, v. 11, 2019.
- BHATIA, S. K.; SMITH, J. L. Bridging the Gap Between Engineering and the Global Word –A case study of the coconut (coir) fiber industry in Kerala, India, 2008. Synthesis Lectures on Engineers, Technology and Society, Morgan & Claypool, 3, Doi:10.2200/S00112ED1V01Y200804ETS006
- GIRALDELLI, M. A.; PEREIRA, O. A.; SANTOS, S. F.; BRASIL, M. A.; PINHEIRO, S. K. T. Técnica do adobe com diferentes proporções de fibra vegetal: uma revisão bibliográfica e experimento prático. **Uniciências**, v. 25, n. 1, p. 10-13, 2021. DOI: 10.29183/2447-3073.MIX2020.v6.n1.53-66.
- ILLAMPAS, R.; LOANNOU, L.; CHARMPIS, D. C. Adobe: an environmentally friendly construction material. **Sustainable Development and Planning IV**, Vol. 1 245, 2009.
- MARQUES, M. D.; QUATROQUE, V. H. S. da S.; SIMÕES, R. D.; BRAGA JÚNIOR, S. S. Materiais alternativos na construção civil: uma comparação entre o uso de materiais convencionais e recicláveis, tijolos e concreto para construções sustentáveis. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, 2024.
- MINKE, G. Building with Earth. **Design and technology of a Sustainable Architecture**. Birkhauser – Publishers for Architecture. Basel, Berlin, Boston. 2012.
- OLIVEIRA, P. F. S. Resistência mecânica de tijolos de terra crua com adição de diferentes níveis de fibras de coco. 2016. 59 f. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, GO. Disponível em: <https://repositorio.ueg.br/jspui/handle/riueg/4850>. Acesso em: 09 de julho de 2025.
- OLIVEIRA, R. M.; MORAES, Y. B. L. Análise dos tijolos de adobe com adição de fibras de *Cocos nucifera* L. Recife: Instituto Federal de Pernambuco, Campus Recife, Curso de Engenharia Civil, 8 abr. 2025.
- SANKAR, M.; VENKATACHALAM, K.; KUMAR, S. A. Experimental study on partial replacement of coarse aggregate by coconut shell in concrete. **Materials Today: Proceedings**, v. 62, p. 4932–4936, 2022.
- SANTOS, M. H.; MARCHESINI, M. M. P. Logística reversa para a destinação ambientalmente sustentável dos resíduos de construção e demolição (RCD). **Revista Metropolitana de Sustentabilidade**, v. 8, n. 2, p. 67–85, 2018.
- SILVA, E.; MARQUES, M. L.; FORNARI JUNIOR, C.; VELASCO, F. Análise técnica para o reaproveitamento da fibra de coco na construção civil. **Ambiência: Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, Guarapuava, v. 11, n. 3, p. 669–683, set./dez. 2015. DOI: 10.5935/ambiencia.2015.03.11.

CONTAMINAÇÃO EM AMBIENTES AQUÁTICOS E TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO
CONTAMINATION IN AQUATIC ENVIRONMENTS AND TREATMENT TECHNOLOGIES <https://doi.org/10.63330/aurumpub.030-009>**Bruna de Jesus Souza**

Graduanda em Farmácia

Universidade Estadual de Maringá, Maringá – Paraná

E-mail: b.brunadejesussouza@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5985-2948>**Cintia Stefhany Ripke Ferreira**

Doutoranda em Química

Universidade Estadual de Maringá, Maringá – Paraná

E-mail: cintiastefhany@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1055-6558>**Marina Melliny Guimarães de Freitas**

Doutoranda em Ciência de Alimentos

Universidade Estadual de Maringá, Maringá – Paraná

E-mail: marinamav3@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2225-8913>**Bruno Henrique Figueiredo Saqueti**

Doutor em Ciência de Alimentos

Universidade Estadual de Maringá, Maringá – Paraná

E-mail: bruno_saqueti@outlook.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1118-4605>**Catharina Buranello**

Universidade Estadual de Maringá, Maringá – Paraná

E-mail: buranellocatharina@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4862-7852>**Aline Fernanda Souza Lima**

Graduanda em Farmácia

Universidade Estadual de Maringá, Maringá – Paraná

E-mail: ra133453@uem.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9002-702X>**Carla Micaela Ripke Ferreira**

Bacharel em Agronomia

Universidade Estadual de Maringá, Maringá – Paraná

E-mail: carlripke@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6606-0116>

Marjorie Caroline Miura

Graduanda em Farmácia

Universidade Estadual de Maringá, Maringá-Paraná

E-mail: Marjoriemiura460@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2334-1320>

Victoria de Sousa Gaspar

Graduanda em Farmácia

Universidade Estadual de Maringá, Maringá-Paraná

E-mail: victoriagaspar1212@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6375-2717>

Oscar Oliveira Santos

Doutor em Química

Universidade Estadual de Maringá, Maringá – Paraná

E-mail: oosjunior@uem.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9631-8480>

RESUMO

Antidepressivos são fármacos amplamente prescritos destinados ao tratamento de transtornos mentais, atuando na regulação do humor e da atividade neuroquímica. Dentre os antidepressivos mais consumidos se destaca o cloridrato de venlafaxina, pertencente à classe dos inibidores de recaptação de serotonina e noradrenalina (IRSN). Após a administração, esse composto e seus metabólitos podem ser eliminados por diferentes vias antrópicas em sua forma não metabolizada ou biologicamente ativa, alcançando águas residuais. A eficiência limitada dos métodos convencionais atuais de tratamento de água e efluentes contribui para a persistência deste fármaco no ambiente, o que o classifica como contaminante emergente, com potencial toxicidade para a biota aquática e riscos para a saúde humana. Diante desse cenário, o capítulo discute e revisa as principais técnicas de tratamento aplicáveis à remoção e degradação da venlafaxina em matrizes aquosas, com destaque para processos de adsorção, filtração por membranas, processos de oxidação avançada e em destaque o uso de radiação ultravioleta, isolada ou associada a agentes oxidantes, evidenciando a necessidade de avanços tecnológicos para uma remoção mais eficiente de contaminantes emergentes em corpos hídricos.

Palavras-chave: Tratamentos emergentes; Contaminação hídrica; Radiação ultravioleta.

ABSTRACT

Antidepressants are widely prescribed drugs used to treat mental disorders, acting to regulate mood and neurochemical activity. Among the most commonly used antidepressants is venlafaxine hydrochloride, which belongs to the class of serotonin and norepinephrine reuptake inhibitors (SNRIs). After administration, this compound and its metabolites can be eliminated by different anthropogenic pathways in their unmetabolized or biologically active form, reaching wastewater. The limited efficiency of current conventional water and wastewater treatment methods contributes to the persistence of this drug in the environment, classifying it as an emerging contaminant with potential toxicity to aquatic biota and risks to human health. Given this scenario, the chapter discusses and reviews the main treatment techniques applicable to the removal and degradation of venlafaxine in aqueous matrices, with emphasis on adsorption processes, membrane filtration, advanced oxidation processes, and the use of ultraviolet radiation, either alone or in combination with oxidizing agents, highlighting the need for technological advances for more efficient removal of emerging contaminants in water bodies.

Keywords: Emerging treatments; Water contamination; Ultraviolet radiation.

1 INTRODUÇÃO

Os transtornos mentais (TM) constituem um grupo de condições clínicas amplamente disseminadas e potencialmente incapacitantes. Clinicamente, podem ser caracterizados como transtornos de humor crônicos e recorrentes, que se manifestam por meio de um espectro sintomatológico complexo e abrange afetos negativos persistentes, como tristeza, culpa e pessimismo, além de alterações no apetite, dificuldades de concentração, redução da libido e aumento da irritabilidade, podendo impactar de forma substancial o funcionamento social, ocupacional e emocional do indivíduo (Ribeiro et al., 2014).

Segundo Leão *et al.* (2021) o tratamento dos transtornos mentais frequentemente envolve o uso de medicamentos psicotrópicos, os quais desempenham papel central na redução da sintomatologia e na melhoria da funcionalidade dos pacientes, sendo amplamente prescritos à população. Entre os tratamentos disponíveis, encontram-se os antidepressivos, dos quais a venlafaxina destaca-se como um dos mais utilizados. Este fármaco pertence à classe dos inibidores da recaptação de serotonina e noradrenalina (IRSN) (Valenzuela et al., 2023).

Entretanto, após a administração, a venlafaxina é extensamente metabolizada no organismo humano, tanto o fármaco original quanto seus metabólitos são excretados predominantemente pela via renal, sendo eliminados pela urina em formas parcialmente inalteradas ou conjugadas. Como consequência, essas substâncias podem alcançar os sistemas de esgotamento sanitário e, posteriormente, os corpos hídricos, uma vez que os sistemas convencionais de tratamento de esgoto e de água são ineficazes na remoção completa de compostos farmacêuticos (Khute; Jangde, 2023).

Deste modo, a presença da venlafaxina e de seus metabólitos tem sido relatada em ambientes aquáticos, levantando preocupações quanto à contaminação da água e aos potenciais efeitos ecotoxicológicos sobre organismos aquáticos, bem como ao risco de exposição crônica da população humana por meio da água destinada ao consumo. Este cenário reforça a necessidade de aprimoramento das tecnologias de tratamento de efluentes e do uso racional de medicamentos, bem como do descarte adequado de resíduos farmacêuticos (Best et al., 2014; Formagini et al., 2025).

Técnicas de tratamento em corpos hídricos se tornam essenciais, pois, a água constitui um recurso fundamental para a sobrevivência humana. De um modo geral, os tratamentos têm como finalidade assegurar a qualidade e prevenir complicações à saúde quando associados à ingestão de uma água imprópria (Sharma; Bhattacharya, 2017).

Nesse contexto, existem inúmeros tratamentos amplamente aceitos por órgãos regulamentadores devido à alta capacidade desinfetante e de degradação (Demirduz et al., 2022). Dentre eles, é possível citar as técnicas de adsorção, filtração por membrana, processos de oxidação avançada, e o processamento emergente de radiação ultravioleta. Destaca-se a técnica de radiação ultravioleta (UV) por seu caráter não-térmico, sua elevada eficiência germicida, baixo custo, sendo uma estratégia interessante a ser estudada que

está se tornando um processamento de desinfecção com crescimento acelerado para o tratamento de águas (Cardoso et al., 2025; Ferreira et al., 2025; Montazeri; Hejazi; Taghipour, 2025).

2 METODOLOGIA

O presente trabalho consiste em uma revisão bibliográfica narrativa acerca dos contaminantes emergentes, com foco na venlafaxina e nos métodos de degradação e remoção desse composto de águas residuais. A pesquisa foi conduzida por meio de uma revisão de trabalhos previamente descritos na literatura, utilizando-se uma abordagem metodológica qualitativa como descrito por Pereira et al. (2018), em bases de dados eletrônicas como *Google Scholar*, *PubMed* e *ScienceDirect*. As palavras-chave utilizadas foram: *venlafaxine*, *antidepressants in water*, *water treatment*, *ultraviolet radiation for water treatment* e *advanced oxidation processes*. Foram incluídos estudos publicados entre 2012 e 2025 (últimos treze anos), nos idiomas português e inglês, considerados relevantes para o tema em estudo. Como critério de exclusão, adotou-se a incompatibilidade dos trabalhos com o assunto abordado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 MÉTODOS DE TRATAMENTO

3.1.1 Adsorção

A adsorção é um processo físico-químico no qual íons ou moléculas (adsorvato) são absorvidos por um componente presente no meio (adsorvente) em que está inserido. É reconhecida uma ampla variedade de adsorventes, como as nanopartículas de óxido metálico e carvão ativado (Lin et al., 2024; Noornama et al., 2024).

Entretanto, a eficiência do método depende de variáveis como o pH, a porosidade, o grupo químico presente na superfície do adsorvente e a área superficial livre (Mousazadehgavan et al., 2024). Baseando-se nas forças intermoleculares geradas entre a molécula e/ou íon e o adsorvente, a adsorção pode ser química ou física. Na adsorção química há formação de novas ligações químicas, geralmente irreversíveis, sendo as principais, as ligações covalentes, interações eletrostáticas e interações de dipolo. Por sua vez, na adsorção física, ocorrem interações fracas, como as ligações de hidrogênio, forças de Van der Waals e atrações eletrostáticas (Lin et al., 2024).

3.1.2 Filtração por membrana

A filtração por membrana consiste em um processo amplamente utilizado no tratamento de água para mitigação ou diminuição da quantidade de partículas e/ou resíduos químicos ou biológicos, como bactérias, vírus, parasitas e produtos farmacêuticos, inclusive os antidepressivos (Mao, 2016; Martínez et al., 2023). As membranas aparecem como itens indispensáveis para atingir uma separação metódica,

configurando-se como respostas flexíveis e interessantes para variados empregos na indústria. Destacam-se, na tecnologia de membranas, as membranas de cerâmica e de polímero (Omar et al., 2024).

As membranas cerâmicas geralmente possuem valores maiores devido ao seu custo de produção e das matérias-primas, oferecendo diferentes vantagens, como por exemplo, resistência térmica e química, maior estabilidade frente a solventes orgânicos, tornando-as mais adequadas para aplicações mais rigorosas. As cerâmicas, normalmente, são produzidas a partir de materiais inorgânicos como a sílica (SiO_2), o titânio (TiO_2), a alumina (Al_2O_3) e a zircônia (ZrO_2) (Omar et al., 2024). As membranas poliméricas, por outro lado, atuam na eliminação de macromoléculas e partículas carregadas dissolvidas, sendo utilizadas em processos como tratamento de água salina e retirada de resíduos orgânicos e inorgânicos de efluentes (Seah et al., 2024).

Dentre as principais vantagens deste método estão incluídas a não necessidade de compostos químicos, pouca geração de resíduos, grande eficiência e a não formação de produtos de reações nocivos. Contudo, têm-se também certas desvantagens, uma vez que, se torna necessária a adição de uma etapa para deteriorar o resíduo da água (Martínez et al., 2023).

3.1.3 Processos de Oxidação Avançada

Processos de oxidação avançada (POA) são processos químicos pelos quais resíduos presentes na água são oxidados por meio de radicais hidroxila, gerando produtos menos nocivos ou de fácil manejo (Martínez et al., 2023). Os POAs compreendem duas etapas elementares, a síntese de fortes oxidantes e, logo após, a reação dos mesmos com agentes orgânicos encontrados na água (Dhamorikar et al., 2024).

Moléculas oxidantes de alta reatividade, como por exemplo, os radicais hidroxila, são eficientes para deteriorar resíduos orgânicos presentes em água. O grupo hidroxila possui apenas um elétron em sua camada de valência, portanto, busca se estabilizar por adição ao composto ou por retirada de um elétron do mesmo. Por ser considerado um oxidante não seletivo, forte e reativo é apto para a deterioração de diferentes resíduos orgânicos (Dhamorikar et al., 2024).

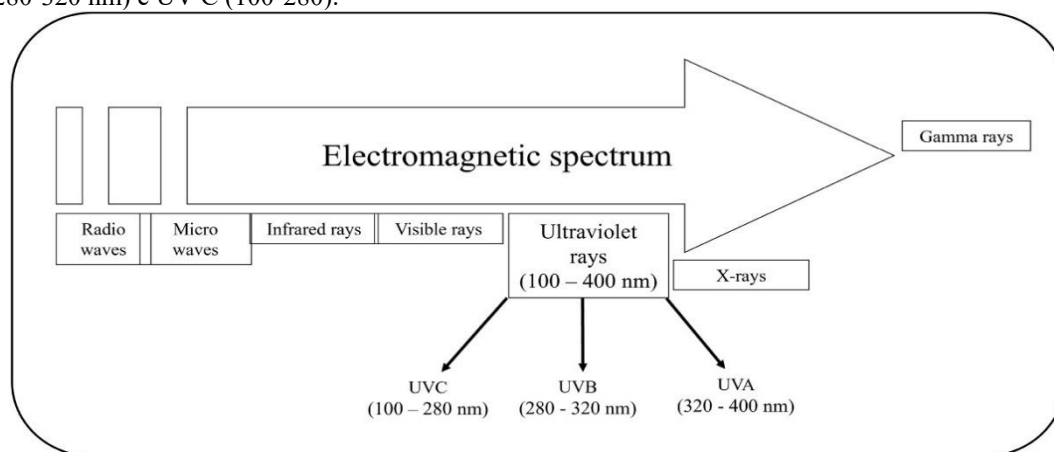
A depender do mecanismo utilizado para introduzir os radicais hidroxila, têm-se processos de POA distintos, a exemplo, a química de Fenton, por meio da reação com peróxido de hidrogênio e sulfato ferroso, a oxidação eletroquímica, a sonólise, que utiliza irradiação ultrassônica para produzir radicais hidroxila, e a ozonização com participação de O_3 , sendo um dos processos mais relatados entre os POAs (Dhamorikar et al., 2024; Martínez et al., 2023).

Dentre as principais vantagens desse método, observam-se a estabilidade química elevada, grande eficiência oxidativa, não gerar poluentes derivados e alta capacidade para tratar diversos contaminantes. Paralelamente, os altos custos operacionais, uso energético exacerbado, bem como o uso de produtos químicos complementares são desvantagens citadas (Dhamorikar et al., 2024).

3.1.4 Radiação Ultravioleta

O tratamento com radiação UV é um processo de fotodegradação, em que se utiliza a radiação ultravioleta como fonte energética para clivagem de moléculas de Poluentes contidos em água, transformando-os, geralmente, em compostos menos agressivos (Martínez et al., 2023). A Figura 1 abaixo, descreve dentro do espectro eletromagnético a faixa de radiação ultravioleta com suas subdivisões em UV-A (320 a 400 nm), UV-B (280-320 nm) e UV-C (100-280). Isto torna-se fundamental no tratamento de águas e efluentes, pois, em especial na região de 254 nm em UV-C encontra-se o máximo de eficiência germicida ideal para inativação bacteriana indesejável em matriz de água potável (Bigi et al., 2023; Ochoa-Velasco et al., 2020).

Figura 1. Espectro eletromagnético destacando a região de comprimento de onda UV e suas subdivisões em UV-A (320 a 400 nm), UV-B (280-320 nm) e UV-C (100-280).



Fonte: Adaptado de Saha et al. (2024).

Nesse contexto, a radiação ultravioleta é um método que tem se popularizado para a purificação eficiente da água por baixa formação de subprodutos, de maneira que em forma avançada pode ser empregado para deterioração de micropoluentes através de foto-oxidação ou fotólise (Demissie et al., 2023; Sun et al., 2023).

Já em sua forma avançada, a radiação ultravioleta é associada a processos de oxidação avançada (UV-POAs), no qual a mesma é vinculada a oxidantes capazes de gerar uma diversidade de radicais livres com alta capacidade reativa e de remoção de impurezas quando comparados aos métodos de oxidação única (Sun et al., 2023).

3.1.4.1 Processo por UV/NH₂Cl

O método UV/NH₂Cl (monocloramina) é um processo em crescimento, e tem atraído atenção por formar radicais hidroxila (OH•), espécies reativas de nitrogênio e espécies reativas de cloro, responsáveis por tornar a abordagem mais eficiente na degradação de produtos farmacêuticos. A cloramina, é

caracterizada por ser um desinfetante de duração prolongada e menor atividade reativa que o cloro, dessa forma, pode ser considerada uma substituta ao cloro, podendo diminuir as taxas de subprodutos. Em condições diferenciadas, o cloro pode sofrer diferentes reações de substituição com as aminas para formar cloroaminas inorgânicas, como as tricloraminas (NCl_3), dicloraminas (NHCl_2) e monocloraminas (NH_2Cl) (Sun et al., 2023).

Essa tecnologia apresenta diferentes vantagens, como a fácil aplicação, a partir de alterações simples em locais de tratamento de água para uso de lâmpadas UV, a estabilidade consistente e viabilidade econômica do NH_2Cl como agente desinfetante e a formação dos oxidantes de alta atividade reativa já mencionados que podem reagir com diversos contaminantes orgânicos e inorgânicos, em altas taxas reacionais (Cao et al., 2021). Apesar disso, o pH e a razão de molaridade do cloro para a amônia podem resultar na variação de produção de cloraminas inorgânicas, o que pode ser considerado uma desvantagem (Sun et al., 2023).

3.1.4.2 Processo por UV/ Cl_2

O método UV/ Cl_2 parte da combinação de irradiação UV e cloro livre (Sun et al., 2023). Durante esse processo, ocorre a fotólise UV de HOCl e OCl^- , que gera agentes reativos como os radicais hidroxila ($\text{OH}^\bullet$) e cloro ($\text{Cl}^\bullet$). O radical $\text{Cl}^\bullet$ formado reage com os íons de cloro, comumente presentes em soluções de HOCl/OCl^- , produzindo o radical $\text{Cl}_2^{\bullet-}$. Ambos, $\text{Cl}^\bullet$ e $\text{Cl}_2^{\bullet-}$, são fortes agentes oxidantes, sendo $\text{Cl}^\bullet$ um oxidante seletivo (Fang; Fu; Shang, 2014).

Diferentemente das abordagens tradicionais de oxidação avançadas com base em radicais hidroxila, este sistema forma diferentes radicais primários e secundários, e, como já relatado, espécies reativas de cloro, que possuem aspectos distintos e grande importância na eliminação de poluentes (Sun et al., 2023).

Esse processo se mostra vantajoso pela degradação eficiente de microcontaminantes que persistem em processos mais simples de degradação (Sun et al., 2023). Além disso, oferece diversas barreiras na descontaminação de água potável aliada a defesa residual nas redes de distribuição de água (Fang; Fu; Shang, 2014).

3.1.4.3 Processo por UV/ ClO_2

O tratamento com UV/ ClO_2 é um método recente de UV-POA, sendo que a capacidade do ClO_2 de se combinar com a UV é demonstrada por sua banda de alta absorção em uma região aproximada ao UV (Sun et al., 2023). Além de ser um desinfetante altamente eficiente, que realiza oxidação de maneira seletiva de grupos funcionais característicos como aminas terciárias e fenóis, o ClO_2 , pode ser utilizado em faixas de pH maiores, é formado no local de tratamento e são necessárias concentrações menores quando comparada ao Cl_2 (Hörsing et al., 2012; Misheer; Ndungu; Pretorius, 2024).

Este composto, possui capacidade de estiramento assimétrico de moléculas, fazendo com que a quebra da ligação O-ClO seja mais fácil, e haja formação de oxigênio em estado de excitação ($1O_2$). O $1O_2$ é uma espécie reativa de oxigênio (ROS) não radicalar e com propriedade oxidante, por isso, tem papel crucial ao oxidar contaminantes orgânicos e no tratamento de água, podendo levar a grande diferença no processo reacional e de geração de subprodutos (Sun et al., 2023).

O ClO_2 possui distintas vantagens, como maior eficiência na baixa geração de subprodutos de desinfecção (DBPs) com presença de halogênios, quando comparados aos processos associados a cloração e cloraminas, por sua vez, em comparação com técnicas como O_3 , gera também, produtos menos tóxicos (Hörsing et al., 2012; Sun et al., 2023).

Entretanto, são descritas algumas desvantagens, incluso a geração de clorato e clorito, que são relatados como subprodutos tóxicos a serem supervisionados de acordo com os parâmetros de qualidade de água da Organização Mundial da Saúde (Misheer; Ndungu; Pretorius, 2024).

3.1.4.4 Processo por UV/ H_2O_2

O processo de irradiação UV associado ao peróxido de hidrogênio (H_2O_2), geralmente é mais eficaz, uma vez que H_2O_2 é um forte oxidante, que ao se dissociar, a partir da irradiação UV, produz radicais hidroxila e quando comparado ao ozônio possui fácil operação. Os radicais hidroxila podem reagir e romper as ligações de contaminantes, levando a geração de compostos menos nocivos, sendo essa uma das vantagens deste método (García-Galán et al., 2016; Sun et al., 2023).

Apesar disso, H_2O_2 é descrito como danoso ao ambiente, por isso deve ser totalmente em radicais para que seus impactos negativos sejam menores. Portanto, as propriedades e características da água que será tratada podem influenciar de maneira considerável a avaliação e determinação da dose de radiação UV necessária para alcançar a degradação eficaz dos contaminantes (Marino et al., 2024).

Nesse âmbito, os métodos de tratamento de água discutidos neste capítulo apresentam mecanismos distintos, vantagens específicas e limitações inerentes às suas aplicações que ajudam a consolidar uma base teórica essencial para novos estudos promissores frente ao tratamento da água potável. É válido ressaltar ainda que, a escolha do método mais adequado depende de vários fatores imprescindíveis relacionados a característica da água, natureza de seus contaminantes, bem como aos requisitos operacionais e ambientais envolvidos.

4 CONCLUSÃO

A presente revisão bibliográfica evidenciou os impactos decorrentes da presença de contaminantes emergentes como os antidepressivos, nos quais a venlafaxina encontrou-se como um dos medicamentos mais prescritos mundialmente. Nesta linha de pensamento, foram encontradas bibliografias que

demonstraram o avanço e as limitações das técnicas atuais mais utilizadas para o tratamento de corpos hídricos, com o intuito de atender as especificações regulamentatórias mundiais e fornecer o melhor processamento de água. A partir da análise dos materiais, elucidou-se que processos como a adsorção e a filtração por membranas se destacam pela eficiência na remoção física de contaminantes, enquanto os processos de oxidação avançada e a radiação ultravioleta quando relacionados a agentes oxidantes, potencializam a degradação química de micropoluentes persistentes, logo, torna-se fundamental mais estudos para aprovação e aprimoramento de diferentes condições que potencializam uma remoção eficiente de contaminantes emergentes em matrizes aquosas.

REFERÊNCIAS

- BEST, C. et al. Environmental levels of the antidepressant venlafaxine impact the metabolic capacity of rainbow trout. *Aquatic Toxicology*, v. 155, n. 1, p. 190–198, 2014.
- BIGI, F. et al. Non-thermal techniques and the “hurdle” approach: How is food technology evolving? *Trends in Food Science and Technology*, v. 132, n. 2023, p. 11–39, 2023.
- CAO, Y. et al. Mechanism, kinetics and DBP formation of UV/NH₂Cl process on contaminant removal in aqueous solution: A review. *Chemical Engineering Journal*, v. 420, n. P3, p. 130405, 2021.
- CARDOSO, A. et al. Innovation in venlafaxine detection: Development and application of electroanalytical method using a boron-doped diamond electrode and performance comparison with UHPLC-MS/MS. *Talanta*, v. 293, n. 1, p. 127988–127997, 2025.
- DEMIRDUZ, H. et al. O₃/H₂O₂ and UV-C light irradiation treatment of oil sands process water. *Science of the Total Environment*, v. 832, n. November 2021, 2022.
- DEMISSIE, N. et al. Degradation of 75 organic micropollutants in fresh human urine and water by UV advanced oxidation process. *Water Research*, v. 242, n. June, 2023.
- DHAMORIKAR, R. S. et al. Review on integrated advanced oxidation processes for water and wastewater treatment. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v. 138, n. April, p. 104–122, 2024.
- FANG, J.; FU, Y.; SHANG, C. The roles of reactive species in micropollutant degradation in the UV/free chlorine system. *Environmental Science and Technology*, v. 48, n. 3, p. 1859–1868, 2014.
- FERREIRA, C. S. R. et al. Optimized application of UV-C radiation in human milk: Combined effects on microbiological control of total coliforms and *Lactobacillus* spp., and the quality of fatty acids and minerals. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 141, n. 1, p. 107332–107341, 2025.
- FORMAGINI, L. et al. Psychotropic pharmaceuticals in aquatic environments : Occurrence and analytical challenges. *Science of the Total Environment*, v. 998, n. 1, p. 1–16, 2025.
- GARCÍA-GALÁN, J. J. et al. UV/H₂O₂ degradation of the antidepressants venlafaxine and O-desmethylvenlafaxine: Elucidation of their transformation pathway and environmental fate. *Journal of Hazardous Materials*, v. 311, p. 70–80, 2016.
- HÖRSING, M. et al. Fate of citalopram during water treatment with O₃, ClO₂, UV and fenton oxidation. *Chemosphere*, v. 89, n. 2, p. 129–135, 2012.
- KHUTE, S.; JANGDE, R. K. Optimization of Nasal Liposome Formulation of Venlafaxine Hydrochloride using a Box-Behnken Experimental Design. *Current Therapeutic Research*, v. 99, p. 100714, 2023.
- LEÃO, F. V. G. et al. Use of psychotropic drugs among workers on leave due to mental disorders. *Einstein*, v. 19, n. 1, p. 1–8, 2021.
- LIN, Q. et al. Adsorption and separation technologies based on supramolecular macrocycles for water treatment. *Eco-Environment and Health*, v. 3, n. 3, p. 381–391, 2024.

- MAO, N. Nonwoven fabric filters. *Advances in Technical Nonwovens*, p. 273–310, 2016.
- MARINO, L. et al. Online control of UV and UV/H₂O₂ processes targeted for the removal of contaminants of emerging concern (CEC) by a fluorescence sensor. *Journal of Hazardous Materials*, v. 480, n.1, 2024.
- MARTÍNEZ, S. A. H. et al. Environmental concerns and bioaccumulation of psychiatric drugs in water bodies – Conventional versus biocatalytic systems of mitigation. *Environmental Research*, v. 229, n. 1, p. 1–17, 2023.
- MISHEER, N.; NDUNGU, P. G.; PRETORIUS, J. A. Semi-empirical supported, Ab initio derived thermodynamic properties for ClO₂ and its sub and extended species, applied in water treatment cycles. *Heliyon*, v. 10, n. 20, p. e38796, 2024.
- MONTAZERI, M. M.; HEJAZI, S. A.; TAGHIPOUR, F. Ultraviolet light-emitting diode (UV-LED) water disinfection photoreactors : A review. *Journal of Environmental Management*, v. 386, n.1, p. 125678, 2025.
- MOUSAZADEHGAVAN, M. et al. Fate of micro- and nanoplastics in water bodies: A critical review of current challenges, the next generation of advanced treatment techniques and removal mechanisms with a special focus on stormwater. *Journal of Water Process Engineering*, v. 67, n.1, p. 106159, 2024.
- NOORNAMA et al. Innovative solutions for the removal of emerging microplastics from water by utilizing advanced techniques. *Marine Pollution Bulletin*, v. 206, n.1, p. 116752, 2024.
- OCHOA-VELASCO, C. et al. Mathematical Modeling Used to Evaluate the Effect of UV-C Light Treatment on Microorganisms in Liquid Foods. *Food Engineering Reviews*, v. 12, n. 3, p. 290–308, 2020.
- OMAR, N. M. A. et al. Recent strategies for enhancing the performance and lifespan of low-cost ceramic membranes in water filtration and treatment processes: A review. *Journal of Water Process Engineering*, v. 62, n.1, p. 105399, 2024.
- PEREIRA, A. et al. Metodologia da pesquisa científica. [eBook]. Santa Maria.Ed. UAB / NTE / UFSM. https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1, 2018.
- RIBEIRO, A. G. et al. Antidepressivos: Uso, adesão e conhecimento entre estudantes de medicina. *Ciencia e Saude Coletiva*, v. 19, n. 6, p. 1825–1833, 2014.
- SAHA, B. et al. A comprehensive review of ultraviolet radiation and functionally modified textile fabric with special emphasis on UV protection. *Heliyon*, v. 10, n. 22, p. 1–14, 2024.
- SEAH, M. Q. et al. Advancements in polymeric membranes for challenging water filtration environments: A comprehensive review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 12, n. 3, p. 112628, 2024.
- SHARMA, S.; BHATTACHARYA, A. Drinking water contamination and treatment techniques. *Applied Water Science*, v. 7, n. 3, p. 1043–1067, 2017.
- SUN, W. et al. Ultraviolet (UV)-based advanced oxidation processes for micropollutant abatement in water treatment: Gains and problems. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 11, n. 5, p. 110425, 2023.



VALENZUELA, L. et al. Carbon nitride – PVDF photocatalytic membranes for visible-light degradation of venlafaxine as emerging water micropollutant. *Catalysis Today*, v. 418, n. 1, p. 11402–11412, 2023.

CONJUNTURA DA LEGISLAÇÃO BRASILEIRA PARA BIOINSUMOS ON FARM

CURRENT SITUATION OF BRASILIAN FOR ON FARMAN BIOINPUTS

 <https://doi.org/10.63330/aurumpub.030-010>**Antônio José Plácido de Mello**

Doutor em Proteção de Plantas UFAL

IFAL campus Maceió

E-mail: Antonio.mello@ifal.edu.br

Antônio José Plácido de Mello Junior

Graduando em Ciências Contábil UFAL

FEAC UFAL

E-mail: Antonio.mello@feac.ufal.br

RESUMO

Os bioinsumos são considerados a nova fronteira de expansão agrícola sobretudo porque tem em sua base o uso da matriz biológica existente na natureza, como as substâncias bioativas e a diversidade vegetal, animal e microbiana acima e abaixo da superfície do solo. O mercado experimentando um forte crescimento global, impulsionado pela substituição de insumos sintéticos por insumos biológicos e seus benefícios econômicos e ambientais na sustentabilidade e resiliência dos sistemas agrícolas. Este capítulo tem como objetivo analisar a legislação dos bioinsumos no Brasil. Constitui uma revisão bibliográfica qualitativa, abordando a temática dos bioinsumos e sua aplicação na agricultura sustentável e a sua legislação *on farm* no Brasil no período de 2021 a 2025. A aprovação da Lei nº 15070/2024, o novo Marco Legal dos Bioinsumos promovendo a agricultura sustentável e regenerativa, reduz a dependência de químicos e fortalece a segurança sanitária, impulsionando o setor de bioinsumos *on farm* no Brasil.

Palavras-chave: Biodiversidade; Agricultura regenerativa; Leis.**ABSTRACT**

Bio-inputs are considered the new frontier of agricultural expansion, mainly because they are based the use of the biological matrix existing in nature, such as bioactive substances and the plant, animal, and microbial diversity above and below the soil surface. The market is experiencing strong global growth, driven by the replacement of synthetic inputs with biological inputs and their economic and environmental benefits in the sustainability and resilience of agricultural systems. This chapter aims to analyze the legislation on bio-inputs in Brazil. It constitutes a qualitative literature review, addressing the theme of bio-inputs and their application in sustainable agriculture and their on-farm legislation in Brazil from 2021 to 2025. The approval of Law No. 15070/2024, the new Legal Framework for Bio-inputs, promoting sustainable and regenerative agriculture, reduces dependence on chemicals and strengthens sanitary safety, boosting the on-farm bio-input sector in Brazil.

Keywords: Biodiversity; Regenerative agriculture; Laws.

1 INTRODUÇÃO

Não há dúvidas de que os bioinsumos são considerados a nova fronteira de expansão agrícola do país. Sobretudo porque tem em sua base o uso da matriz biológica existente na natureza, como as substâncias bioativas e a diversidade vegetal, animal e microbiana acima e abaixo da superfície do solo (Vidal & Dias, 2023). O mercado de bioinsumos está experimentando um forte crescimento global, impulsionado pela substituição de insumos sintéticos por insumos biológicos e pelos benefícios econômicos e ambientais na sustentabilidade e resiliência dos sistemas agrícolas obtidos com o uso desses insumos (Gomes et al., 2025). Os insumos biológicos são produtos ou processos agroindustriais desenvolvidos a partir de microrganismos, invertebrados, extratos de plantas, enzimas, metabólitos secundários e feromônios. Esses insumos possibilitam o controle biológico, a nutrição e a promoção do crescimento de plantas, além de favorecerem a adaptação ao estresse biótico e abiótico, entre outros benefícios (Guimarães et al; 2025). Estima-se que o Brasil detenha cerca de 20% da biodiversidade do mundo, percentagem que também deve se estender aos microrganismos. Existem, portanto, um enorme potencial para bioprospecção de microrganismos da biodiversidade brasileira com propriedades de grande interesse para a agricultura (Vasques et al; 2024). Além das preocupações voltadas para sustentabilidade, o mercado de bioinsumos tem experimentado um notável crescimento tanto para economia brasileira quanto global nos últimos anos prometendo em como perspectivas promissoras, os insumos biológicos oferecem em conjunto diversificadas vantagens que impactam positivamente não apenas aos produtores, mas também o solo e aos consumidores (Lorenzoni et al.; 2024). Neste documento, revisa-se os principais tipos de bioinsumos e suas aplicações, abordando desde o controle biológico de insetos-praga e doenças até o uso de bactérias promotoras de crescimento. A atual legislação brasileira sobre bioinsumos *on farm*. Ao reunir informações atualizadas e relevantes sobre o tema, espera-se contribuir para a disseminação de práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes, alinhadas às demandas da agricultura brasileira contemporânea.

2 METODOLOGIA

Este artigo constituiu uma revisão bibliográfica qualitativa, abordando a temática dos bioinsumos e sua aplicação na agricultura sustentável e a legislação *on farm* no Brasil. Optou-se por essa metodologia considerando sua relevância para sintetizar conhecimentos científicos existentes e propor discussões atuais, alinhadas às exigências ambientais contemporâneas. Foram selecionadas fontes científicas atuais, abrangendo artigos, livros, dissertações e teses, garantindo a atualização e validação do estudo. A pesquisa bibliográfica envolveu buscas realizadas em bases de dados reconhecidas internacionalmente, como SciELO, Web of Science e Google Scholar. Os critérios de seleção adotados priorizaram publicações recentes, entre os anos de 2021 e 2025, garantindo a contemporaneidade das informações utilizadas e refletindo as tendências e desafios atuais em relação ao uso dos bioinsumos *on farm* e a sua legislação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 BIOINSUMOS E O PROGRAMA NACIONAL DE BIOINSUMOS

A compreensão sobre bioinsumos e sua conexão com a agricultura sustentável é fundamental para promover práticas que ampliem a produtividade agrícola e reduzam impactos ambientais. Os bioinsumos incluem microrganismos benéficos, extratos vegetais e matéria orgânica, favorecendo a biodiversidade e otimizando o uso de produtos químicos tradicionais. Ao contrário dos insumos sintéticos, bioinsumos fortalecem interações ecológicas naturais, beneficiando o solo e a saúde das plantas. Essa abordagem promove a sustentabilidade ambiental e agrícola (Corrêa *et al.*, 2025). Para Paiva & Bini, (2025) o conceito de bioinsumos podem variar dependendo do país, sendo que no Brasil ele é caracterizado pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) como produtos, processos ou tecnologias de base biológica destinados ao uso em sistemas de produção agrícola, florestal, aquícola e pecuário, abrangendo inoculantes, biofertilizantes, biodefensivos, agentes de controle biológico e bioativos. A FAO apresenta um conceito similar, sendo os bioinsumos produtos de origem biológica, incluindo microrganismos, macro-organismos e substâncias naturais, capazes de melhorar a produtividade agrícola de forma sustentável. No Brasil, de acordo com o Programa Nacional de Bioinsumos, os bioinsumos são didaticamente divididos em quatro grandes grupos: produtos fitossanitários ou defensivos biológicos, biofertilizantes, inoculantes e bioestimulantes (Figura 1). O avanço para uma regulamentação mais adequada foi incentivado pelo governo brasileiro em 2020, com a criação do Programa Nacional de Bioinsumos (Decreto nº 10.375/2020) concebido com o objetivo de ampliar e fortalecer o setor. A partir dessa iniciativa, juntamente com a tramitação de dois projetos de lei (PL 658/2021 e PL 3668/2021), foi instituído o Marco Legal dos Bioinsumos no Brasil, impulsionando o setor.

Figura 1. Categoria de bioinsumos de acordo com a base conceitual do Programa Nacional de Bioinsumos do Ministério da Agricultura e Pecuária do Brasil.

Bioinsumos - Conceitos		
Categoria	Composição	Função
Biofertilizantes	Substâncias orgânicas ativas, de origem microbiana, vegetal ou animal	Melhorar produtividade e qualidade das plantas, com ênfase no aporte nutricional
Inoculantes	Produtos formulados exclusivamente com microrganismos benéficos	Ênfase na nutrição de plantas e promoção de crescimento vegetal
Biodefensivos	Agentes biológicos (bactérias, fungos, vírus, ácaros), semioquímicos (feromônios, aleloquímicos), outros.	Controle biológico de pragas e doenças (biofungicidas, bioinseticidas, bionematicidas)
Bioestimulantes	Extratos vegetais, algas, ácidos húmicos, aminoácidos	Melhorias em aspectos fisiológicos da planta (crescimento, tolerância a estresses, vigor)

Fonte: Corrêa *et al.*, 2025.

Os defensivos biológicos correspondem ao grupo voltado ao controle biológico de pragas e doenças, contribuindo para a manutenção da sanidade vegetal. Incluem produtos como biofungicidas, bioinseticidas, bionematicidas, entre outros (Lei nº 7.802/1989 (Lei dos Agrotóxicos)). De forma geral, podem ser formulados a partir de antagonistas naturais de pragas, denominados agentes biológicos, como ácaros, insetos, nematoides, bactérias, fungos, vírus ou protozoários, bem como substâncias de controle como os semioquímicos (feromônios e aleloquímicos) ou ainda de produtos bioquímicos, como hormônios, enzimas e reguladores de crescimento. Os biofertilizantes, em alguns países equiparados aos inoculantes, possuem no Brasil uma definição distinta e mais abrangente. Nessa concepção, enquadram-se como uma categoria composta por componentes e/ou substâncias orgânicas ativas, de origem microbiana, vegetal ou animal, que visam melhorar a produtividade e a qualidade das plantas, com ênfase no aporte nutricional. Por outro lado, os inoculantes são produtos exclusivamente formulados por microrganismos vivos (bactérias e fungos) favoráveis à promoção de crescimento vegetal e nutrição de plantas. Por fim, os bioestimulantes, são substâncias como extratos vegetais, algas, ácidos húmicos, aminoácidos, entre outros, que podem trazer melhorias em aspectos fisiológicos da planta. Borsari & Vieira (2022) relatam que as duas legislações brasileiras regulam os bioinsumos em destaque, a lei 7.802/89 de Agrotóxicos e a lei 6.894/80 de Fertilizantes e Inoculantes. Há, contudo, algumas diferenças a serem salientadas quando se faz referência a biofertilizantes e bioestimulantes, pois a definição e regulamentação internacional difere da que vem sendo utilizada no Brasil. Em algumas classificações encontradas na literatura, o termo biofertilizante inclui os inoculantes e os bioestimulantes.

3.2 BIOINSUMOS E OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTOS SUSTENTÁVEL – ODS

Os bioinsumos são produtos, processos ou tecnologias, de origem vegetal, animal ou microbiana, capazes de interferir positivamente no desenvolvimento dos sistemas produtivos agropecuários, florestais ou aquícolas. Podem ser utilizados para diversas finalidades voltadas à produção, ao armazenamento e ao beneficiamento dos produtos, sendo mais comumente aplicados para a fertilização do solo, para a nutrição de plantas e para o controle de pragas e doenças. Policarpo et al., (2025) com o agravamento das questões ambientais, a emergência da crise climática e o aumento das restrições e das exigências de mercado, torna-se cada vez mais urgente a transição para tecnologias de produção agropecuárias ambientalmente menos impactantes. Nesse contexto, o uso e o desenvolvimento de bioinsumos desponta como uma importante estratégia tecnológica voltada à promoção da sustentabilidade dos sistemas agroalimentares no mundo, com vistas a minimizar os impactos da crescente demanda da população global por alimentos, fibras e outros produtos. De acordo com Vidal & Dias, (2023) o diálogo acerca dos bioinsumos está centrado na agenda potencial que apresentam para uso em um contexto mais ampliado, que possa considerar as dimensões da agroecologia e o potencial local que estimula a autonomia nos territórios. Trata-se de uma agenda positiva

– transversal aos diferentes sistemas produtivos em contexto nacional e internacional. Os bioinsumos se alinham perfeitamente às necessidades de desenvolvimento nacional e aos compromissos internacionais, tais como os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS. Os diversos ODS se relacionam com os bioinsumos, potencializando seus impactos positivos e/ou reduzindo os impactos negativos (Figura 2).

Figura 2. A relação entre os bioinsumos e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.



Fonte: Policarpo *et al.*, (2025).

Os bioinsumos representam o novo, o moderno e instrumentalizam a bioeconomia. Da mesma forma, o tema dialoga com a sustentabilidade em seu mais alto grau, nas políticas públicas e programas nacionais e internacionais. Os bioinsumos são a primeira fase da indústria da bioeconomia do Brasil, cuja lógica da sustentabilidade evolui a partir destes bioativos, suas indústrias de transformação, sejam farmacêuticas, agrícolas, cosméticas etc, para então possa fornecer a base para uma transição de matriz energética, que contemple um novo processo para o país. Diante do exposto Bavaresco (2024) relata que assim como a sociedade depende de um sistema agrícola para fornecer energia, nutrientes, e retornos econômicos promovidos a partir da cadeia agrícola, o sistema agrícola deve se adaptar com as mudanças e variabilidade climáticas, reduzir a emissão dos gases de efeito estufa, suportar os impactos ambientais por agroquímicos, uso da terra e eficiência hídrica. Logo, os objetivos que compõem a sustentabilidade de um sistema agrícola são multifacetados e complexos e o desenvolvimento de uma nova forma de manejo de uma produção agrícola carece de tempo para observar todos os seus efeitos daí decorrentes dentro de um agroecossistema. O diálogo de tais desafios vem ganhando crescente interesse e preocupação nas últimas décadas, a fim de equilibrar os fatores ambientais com os de produção no desenvolvimento de políticas ao

setor econômico, os comportamentos de consumo denotam maior consciência de compra, e na pesquisa acadêmica o assunto tem se expandido com inovação e tecnologias auxiliares.

3.3 A LEGISLAÇÃO SOBRE MULTIPLICADOS ON FARM

Abjar, (2024) na agricultura regenerativa tem por objetivo a restauração de solos degradados, promovendo a reabilitação da microbiota, a melhoria da saúde do solo e a redução do uso de fitossanitários, com a consequente proteção da fauna e flora. Nesse contexto, para concretizar determinadas aspirações no campo agrícola, verifica-se o emprego de bioinsumos e do controle biológico, com o propósito de minimizar o uso de produtos químicos. Dessa forma, ao se combinar essas duas ferramentas — bioinsumos e controle biológico — emerge a prática da agricultura *on farm*. Nesse âmbito, a agricultura *on farm* desempenha um papel crucial na conservação dos recursos genéticos, fazendo referência à conservação “*in situ*”, promovendo a biodiversidade e fortalecendo o desenvolvimento dos sistemas agrícolas. Amaral (2022) cita que as culturas da soja, milho e cana-de-açúcar como empregam o uso de insumos biológicos produzidos *on farm*. Segundo Freitas et al., (2023) no Brasil, mais de 10 % da área utiliza bactérias benéficas às plantas multiplicadas no *on farm*. Souza, (2023) cita que na realidade, o que os órgãos de controle, como MAPA e EMBRAPA estão propondo nos Projetos de Lei que regulamentam os bioinsumos *on farm*, é uma melhor fiscalização em suas produções, com bastante seriedade nos modos de produção desses microrganismos para melhor controle para que não haja uma contaminação, tanto ao meio ambiente quanto ao ser humano.

A multiplicação de microorganismos na fazenda é um assunto muito debatido pelo meio acadêmico e as empresas privadas. Ainda existe grande desconhecimento por parte da população, em relação à legislação brasileira sobre multiplicação de microorganismos na propriedade rural e questionam a legitimidade. Porém, a EMBRAPA (2021) - elaborou 03 (três) recomendações técnicas que devem ser observados na produção de insumos biológicos *on-farm*, a saber:

- a) Permitir a multiplicação apenas de microrganismos que constam das listas oficiais do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), ou com especificação de referência, e que sejam adquiridos em bancos de germoplasma reconhecidos como oficiais pelo Ministério.
- b) Necessidade de cadastro de estabelecimento produtor de bioinsumos junto ao Mapa.
- c) Necessidade de um responsável técnico habilitado para a produção de bioinsumos nas fazendas.

Entretanto, no Brasil, os bioinsumos são regulamentados pela Lei nº 15.070/2024, que estabelece diretrizes específicas para a produção, o registro, comercialização e uso desses produtos. Aprovando as PLs anteriormente citadas. A legislação aprovada é um novo marco para a promoção da inovação em um setor em pleno desenvolvimento na agricultura brasileira. A legislação vigente estabelece o regramento para todos os insumos agrícolas de origem biológica destinados à agricultura, substituindo as diretrizes anteriormente baseadas nas leis de fertilizantes e agrotóxicos. A lei amplia a definição de bioinsumos,

abrangendo produtos de origem vegetal, animal ou microbiana, além de processos biotecnológicos, permitindo o registro único para produtos com múltiplas funcionalidades, como bioestimulantes e controle de pragas.

A regulamentação do *on farm* no Brasil mudou significativamente com a sanção da Lei nº 15070/2024, o novo Marco Legal dos Bioinsumos, que legalizou a produção de bioinsumos (biofertilizantes, biopesticidas, etc.) dentro da própria fazenda para uso próprio, evitando a ilegalidade que se previa para 2025. A nova lei estabelece regras claras, exigindo boas práticas de fabricação, supervisão de responsável técnico, uso de cepas de bancos de germoplasma e um cadastro simplificado no MAPA, dispensando o registro do produto final, mas proibindo a comercialização. A Lei de Bioinsumos promove a agricultura sustentável, reduz a dependência de químicos e fortalece a segurança sanitária, impulsionando o setor de bioinsumos no Brasil.

3.4 AS PRINCIPAIS MUDANÇAS E PONTOS CHAVE DA LEI Nº 15.070/2024

1. Segurança Jurídica: A lei trouxe segurança para produtores que já realizavam essa prática, reconhecendo o *on farm* como uma prática sustentável. Traz segurança para uma prática já amplamente adotada no Brasil, que lidera o uso de bioinsumos no mundo.
2. Regras para Produção:
 - a) Uso Próprio: A produção é permitida apenas para consumo na propriedade; a comercialização é vedada. A lei autoriza e regulamenta a produção *on farm*, que antes estava em um limbo legal.
 - b) Boas Práticas: Deve seguir normas de fabricação para garantir qualidade e segurança, com acompanhamento de um profissional habilitado. Não exige registro no Ministério da Agricultura, mas exige o cumprimento de boas práticas definidas pelo órgão federal.
 - c) Matéria-Prima: Uso de cepas de bancos de germoplasma credenciados ou de produtos registrados como fonte de inóculo. Estabelece critérios para uso de cepas de banco de germoplasma e proíbe o uso de produtos comerciais como fonte.
3. Dispensa de Registro: O produto *on farm* não precisa de registro no MAPA, mas o estabelecimento deve fazer um cadastro simplificado. Dispensando o registro junto ao MAPA para produção *on farm*, mas focando em boas práticas e controle.
4. Produção Compartilhada: É permitida a produção e transporte entre cooperados/associados, sem fins comerciais, seguindo as normas. Permite o uso na propriedade, mas proíbe a comercialização desses produtos feitos na fazenda. Desonera pequenos agricultores e cooperativas, que podem produzir seus insumos de forma mais acessível e sustentável, reduzindo custos.

5. Impacto do Setor: O Brasil é líder global no uso de bioinsumos, e a regulamentação impulsiona a inovação e concorrência leal. Traz segurança para uma prática já amplamente adotada, que lidera o uso de bioinsumos no mundo.

4 CONCLUSÃO

O escopo da classe de bioinsumos é amplo incorporando diversos tipos de produtos a sua adoção na agricultura sustentável é uma resposta eficaz e necessária diante dos desafios contemporâneos ligados à produção agrícola, especialmente em relação às questões ambientais e à segurança alimentar regulamenta a produção, uso e a comercialização, atendendo uma demanda por normas claras definindo critérios. Uma ferramenta estratégica para promover a sustentabilidade na agropecuária brasileira. Paralelamente, a vantagem no uso dos bioinsumos está atrelada a valorização da biodiversidade brasileira. A aprovação da Lei nº 15070/2024, o novo Marco Legal dos Bioinsumos promovendo a agricultura sustentável e regenerativa, reduz a dependência de químicos e fortalece a segurança sanitária, impulsionando o setor de bioinsumos no Brasil cerca de 60 por cento da agricultura no Centro Oeste e Sul do país. Estabelecendo diretrizes específicas para a produção, comercialização e utilização de bioinsumos no País, resolvendo desafios causados por antigas legislações voltadas prioritariamente aos produtos químicos. Também estabelecendo critérios para a produção de bioinsumos “on-farm”, ou seja, diretamente nas propriedades rurais. Neste modelo, os insumos biológicos são produzidos na própria fazenda, em vez de serem adquiridos por fornecedores externos. Além disso, investimentos em educação, cursos e métodos de produção segura *on farm* devem ser estimulados e disseminados a toda a cadeia agrícola. Em todos esses cenários, a Embrapa, assim como outras instituições de pesquisa agrícola brasileira, apresenta papel técnico e científico crucial para tornar a agricultura brasileira mais sustentável através do uso de produtos biológicos seguros e eficazes. São muitos os desafios e as oportunidades para aplicação de microrganismos cultivados on farm. A agricultura brasileira passa por um boom de biológicos, seja pela utilização de produtos comerciais, seja por multiplicados on farm.

REFERÊNCIAS

- ABJAR, C.V. **Agricultura on farm e a tutela jurídica sobre o patrimônio genético: análise in loco em quatro propriedades do triângulo mineiro**. Dissertação de Mestrado em Ciências Ambientais – Universidade do Estado de Minas Gerais, Frutal, MG, 2024. 89p.
- AMARAL, D.F.S. **Produção on farm de insumos biológicos no Brasil: benefícios, riscos e tendências**. Trabalho de TCC – Curso de Agronomia – Universidade de Brasília – UnB, Brasília, DF, 2022. 50p.
- BORSARI, A.C.P.; VIEIRA, C.P. **Mercado e perspectivas dos bioinsumos no Brasil**. p. 39 – 52. In: MEYER, M.C.; BUENO, A.F.; MAZARO, S.M.; SILVA, J.C. Bioinsumos na cultura da soja. Brasília: EMBRAPA, 2022. 550p.
- CORRÊA, G.M.; PEREIRA, C.S.; QUEIROZ, A.T.S.; SILVA, M.P.; MELLO, M.E.; OLIVEIRA, T.L.M.; ARAÚJO, L.C.; FRADE, L.F.S.; SANTOS, J.B.; SILVA, C.M.; SILVA, A.V. Uso de bioinsumos na agricultura sustentável: tendências, desafios e perspectivas para redução do uso de agroquímicos. **RGSA – Revista de Gestão Social e Ambiental**, Miami, v.19, n.5, p.01-22, 2025.
- FREITAS, L.G.; MONTEIRO, T.S.A.; FERRAZ, H.G.M.; SILVA, R.A. Biofábricas de agentes de controle biológicos de doenças de plantas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.44, n. 332, p. 49 -61, 2023.
- GOMES, J.T.; MOREIRA, G.A.S.; CAMPANHA, M.M.; MATRANGOLO, W.J.R.; PAIVA, C.A.O.; MARRIEL, I.E.; SOUZA, F.A. Modificações metodológicas do teste de germinação em papel germitest para avaliar a compatibilidade e o sinergismo entre bioinsumos inoculados em sementes. **Contemporary Journal**, v. 5, n.10, p. 01-18, 2025.
- GUIMARÃES, C.G.; CANDIDO, W.S.; RODRIGUES, E.V.; CHAVES, A.R.M.; MARINI, J.A.; LAVIOLA, B.G. **Avanços e perspectivas do uso de bioinsumos no cultivo sustentável da canola**. Brasília, DF: Embrapa, 2025. 28 p.
- LORENZONI, L.P.; MARCHESAN, T.B.; SILUK, J.C.M.; REDISKE, G.; RICCI, R.M. Revisão sistemática de literatura em transferência de tecnologia: o ciclo de desenvolvimento dos bioinsumos. **Revista Gestão & Desenvolvimento**, Nova Hamburgo, v. 21, n.2, p. 248-70, jul-dez, 2024.
- PAIVA, C.A.O.; BINI, D. **Bioinsumos na agricultura – Tendências e desafios no Brasil**. Brasília: MAPA, 2025. 42p.
- POLICARPO, M. A.; SAMBUICHI, R.H.R.; ALVES, F.; PACÍFICO, D.A.; GUALDANI, C.; BRAZT, F. **Desafios e oportunidades para o avanço da produção de bioinsumos no Brasil**. Brasília, DF: Ipea, junho 2025. 68 p.
- SOUZA, F.B. **Bioinsumos on farm e regulamento para boas práticas de produção**. Dissertação de Mestrado em Direito do Agronegócio e Desenvolvimento— Universidade de Rio Verde - UniRV, 2023. 85 p.
- VASQUES, N.C.; CEREZINI, P.; NOGUEIRA, M.A.; HUNGRIA, M. **Bioprospecção de microrganismos para o uso em bioinsumos: métodos para triagem inicial de bioativos visando à nutrição de plantas e à tolerância a estresses abióticos e bióticos**. Londrina: Embrapa Soja, 2024. 38 p.



VIDAL, M.C.; DIAS, R.P. Bioinsumos a partir das contribuições da agroecologia. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.18, n.1, p.171-92, 2023.

REALIZAÇÃO:

Aurum
EDITORA

CNPJ: 589029480001-12
contato@aurumeditora.com
(41) 98792-9544
Curitiba - Paraná
www.aurumeditora.com