

Wissen editora
2026

Volume 2

Luanna Alves Miranda
Denise dos Santos Vila Verde
Neyla Cristiane Rodrigues de Oliveira
Organizadoras

PRODUÇÃO VEGETAL

Aspectos gerais e avanços na manipulação de plantas





Wissen editora
2026

Volume 2

Luanna Alves Miranda
Denise dos Santos Vila Verde
Neyla Cristiane Rodrigues de Oliveira
Organizadoras

PRODUÇÃO VEGETAL

Aspectos gerais e avanços na manipulação de plantas



Luanna Alves Miranda
Denise dos Santos Vila Verde
Neyla Cristiane Rodrigues de Oliveira
Organizadoras

Produção vegetal: aspectos gerais e avanços na manipulação de plantas

Volume 2

Teresina-PI, 2026

Wissen Editora, 2026 |ISBN 978-65-85923-87-3|DOI: http://www.doi.org/10.52832/wed.191

©2026 *by* Wissen Editora
Copyright © Wissen Editora
Copyright do texto © 2026 Os autores
Copyright da edição © Wissen Editora
Todos os direitos reservados

Direitos para esta edição cedidos pelos autores à Wissen Editora.

Todo o conteúdo desta obra, inclusive correção ortográfica e gramatical, é de responsabilidade do(s) autor(es). A obra de acesso aberto (Open Access) está protegida por Lei, sob Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Sem Derivações 4.0 Internacional, sendo permitido seu *download* e compartilhamento, desde que atribuído o crédito aos autores, sem alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Editores Chefe: Dr. Junielson Soares da Silva
Ma. Neyla Cristiane Rodrigues de Oliveira
Dra. Denise dos Santos Vila Verde
Dra. Adriana de Sousa Lima

Projeto Gráfico e Diagramação: Neyla Cristiane Rodrigues de Oliveira

Imagem da Capa: Canva

Edição de Arte: Neyla Cristiane Rodrigues de Oliveira

Revisão: Os autores
As Organizadoras

Informações sobre a Editora
Wissen Editora
Homepage: www.editorawissen.com.br
Teresina – Piauí, Brasil
E-mails: contato@wisseneditora.com.br
wisseneditora@gmail.com

Siga nossas redes sociais:
@wisseneditora

EQUIPE EDITORIAL

Editores-chefes
Dr. Junielson Soares da Silva
Ma. Neyla Cristiane Rodrigues de Oliveira
Dra. Denise dos Santos Vila Verde
Dra. Adriana de Sousa Lima

Equipe de arte e editoração
Neyla Cristiane Rodrigues de Oliveira

CONSELHO EDITORIAL
Ciências Agrárias e Multidisciplinar
Dr. Felipe Górski - Secretaria de Educação do Paraná (SEED/PR)
Dra. Patrícia Pato dos Santos - Universidade Anhanguera (Uniderp)
Dr. Jose Carlos Guimaraes Junior - Governo do Distrito Federal (DF)

Ciências Biológicas e da Saúde
Dra. Francijara Araújo da Silva - Centro Universitário do Norte (Uninorte)
Dra. Rita di Cássia de Oliveira Angelo - Universidade de Pernambuco (UPE)
Dra. Ana Isabelle de Gois Queiroz - Centro Universitário Ateneu (UniAteneu)

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias
Dr. Allan Douglas Bento da Costa - Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)
Dra. Vania Ribeiro Ferreira - Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC)
Dr. Agmar José de Jesus Silva – Secretaria de Educação do Amazonas (Seduc/AM)

Linguística, Letras e Artes
Dra. Conceição Maria Alves de A. Guisardi - Universidade Federal de Uberlândia (UFU)
Dr. Danni Conegatti Batista – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas
Dr. Isael de Jesus Sena - Culture, Education, Formation, Travail (CIRCEFT)
Dra. Mareli Eliane Graupe - Universidade do Planalto Catarinense (Uniplac)
Dr. Rodrigo Avila Colla - Rede Municipal de Ensino de Esteio, RS
Dr. Erika Giacometti Rocha Berribili - Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
Dr. Douglas Manoel Antonio De Abreu P. Dos Santos - Universidade de São Paulo (USP)
Dra. Aline Luiza de Carvalho - Fundação Hospitalar do Estado de Minas Gerais (FHEMIG)
Dr. José Luiz Esteves - Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC/PR)
Dr. Claudemir Ramos - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC/SP)
Dr. Daniela Conegatti Batista – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Dr. Wilson de Lima Brito Filho - Universidade Federal da Bahia (UFBA)
Dr. Cleonice Pereira do Nascimento Bittencourt- Universidade de Brasília (UnB)
Dr. Jonata Ferreira de Moura - Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Wissen Editora, 2026 |ISBN 978-65-85923-87-3|DOI: http://www.doi.org/10.52832/wed.191

Dra. Renata dos Santos - Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

Conselho Técnico Científico

Me. Anderson de Souza Gallo - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ
Ma. Antônia Alikaene de Sá - Universidade Federal do Piauí (UFPI)
Ma. Talita Benedcta Santos Künast - Universidade Federal do Paraná (UFPR)
Ma. Irene Suelen de Araújo Gomes – Secretaria de Educação do Ceará (Seduc /CE)
Ma. Tamires Oliveira Gomes - Universidade Federal de São Paulo (Unifesp)
Ma. Aline Rocha Rodrigues - União Das Instituições De Serviços, Ensino E Pesquisa LTDA (UNISEPE)
Me. Mauricio Pavone Rodrigues - Universidade Cidade de São Paulo (Unicid)
Ma. Regina Katiuska Bezerra da Silva - Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
Esp. Rubens Barbosa Rezende – Faculdade UniFB
Me. Luciano Cabral Rios – Secretaria de Educação do Piauí (Seduc/PI)
Me. Jhenys Maiker Santos - Universidade Federal do Piauí (UFPI0
Me. Francisco de Paula S. de Araujo Junior - Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)
Ma. Anna Karla Barros da Trindade - Instituto Federal do Piauí (IFPI)
Ma. Elaine Fernanda dos Santos - Universidade Federal de Sergipe (UFS)
Ma. Lilian Regina Araújo dos Santos - Universidade do Grande Rio (Unigranrio)
Ma. Luziane Said Cometti Lélis - Universidade Federal do Pará (UFPA)
Ma. Márcia Antônia Dias Catunda - Devry Brasil
Ma. Marcia Rebeca de Oliveira - Instituto Federal da Bahia (IFBA)
Ma. Mariana Morais Azevedo - Universidade Federal de Sergipe (UFS)
Ma. Marlova Giuliani Garcia - Instituto Federal Farroupilha (IFFar)
Ma. Rosana Maria dos Santos - Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)
Ma. Rosana Wichineski de Lara de Souza - Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
Ma. Simone Ferreira Angelo - Escola Família Agrícola de Belo Monte - MG
Ma. Suzel Lima da Silva - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
Ma. Tatiana Seixas Machado Carpenter - Escola Parque
Me. Cássio Joaquim Gomes - Instituto Federal de Nova Andradina / Escola E. Manuel Romão
Me. Daniel Ordane da Costa Vale - Secretaria Municipal de Educação de Contagem
Me. Diego dos Santos Verri - Secretária da Educação do Rio Grande do Sul
Me. Fernando Gagno Júnior - SEMED - Guarapari/ES
Me. Grégory Alves Dionor - Universidade do Estado da Bahia (UNEB)/ Universidade Federal da Bahia (UFBA)
Me. Lucas Pereira Gandra - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); UNOPAR, Polo Coxim/MS
Me. Lucas Peres Guimarães – Secretaria Municipal de Educação de Barra Mansa - RJ
Me. Luiz Otavio Rodrigues Mendes - Universidade Estadual de Maringá (UEM)
Me. Mateus de Souza Duarte - Universidade Federal de Sergipe (UFS)
Me. Milton Carvalho de Sousa Junior - Instituto Federal do Amazonas (IFAM)
Me. Sebastião Rodrigues Moura - Instituto Federal de Educação do Pará (IFPA)
Me. Wanderson Diogo A. da Silva - Universidade Regional do Cariri (URCA)
Ma. Heloisa Fernanda Francisco Batista - Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

Wissen Editora, 2026 |ISBN 978-65-85923-87-3|DOI: http://www.doi.org/10.52832/wed.191

Ma. Telma Regina Stroparo - Universidade Estadual do Centro Oeste (Unicentro)
Me. Sérgio Saraiva Nazareno dos Anjos - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)

Wissen Editora, 2026 |ISBN 978-65-85923-87-3|DOI: http://www.doi.org/10.52832/wed.191

Produção Vegetal: aspectos gerais e avanços na manipulação de plantas

Volume 2

http://www.doi.org/10.52832/wed.190

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

Produção Vegetal [livro eletrônico]: aspectos gerais e avanços na manipulação de plantas: volume 2 / organizadores Luanna Alves Miranda, Denise dos Santos Vila Verde, Neyla Cristiane Rodrigues de Oliveira. -- 2. ed. -- Teresina, PI: Wissen Editora, 2026.
PDF

Vários autores.
ISBN 978-65-85923-87-3
DOI: 10.52832/wed.191

1. Biologia - Estudo e ensino 2. Ecologia 3. Plantas (Botânica) 4. Produção vegetal I. Miranda, Luanna Alves. II. Verde, Denise dos Santos Vila. III. Oliveira, Neyla Cristiane Rodrigues de.

26-336066.0 CDD-581.4

Índices para catálogo sistemático:

1. Plantas: Botânica 581.4

Eliane de Freitas Leite - Bibliotecária - CRB 8/8415

Informações sobre a Wissen Editora
Homepage: www.editorawissen.com.br
Teresina - Piauí, Brasil
E-mail: wisseneditora@gmail.com

Como citar ABNT: MIRANDA, Luanna Alves; VILA VERDE, Denise dos Santos; OLIVEIRA, Neyla Cristiane Rodrigues de. **Produção Vegetal: aspectos gerais e avanços na manipulação de plantas**. v. 2, Teresina-PI: Wissen Editora, 2026. 90 p. DOI: http://www.doi.org/10.52832/wed.191

SOBRE AS ORGANIZADORAS

Luanna Alves Miranda



Doutoranda e Mestre em Genética e Melhoramento pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), com ampla experiência na análise de Fito-citogenotoxicidade, meu trabalho concentra-se na investigação da toxicidade de pesticidas nos ecossistemas. Graduada em Licenciatura e Bacharelado em Ciências Biológicas pelo Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), onde também atuei como bolsista do programa PIBID de iniciação à docência e como voluntária no Programa Institucional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PICT). Minha trajetória acadêmica e profissional reflete meu compromisso com a pesquisa e o desenvolvimento científico, buscando contribuir para o avanço do conhecimento em minha área de atuação.

Denise dos Santos Vila Verde



Professora substituta (2025) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), no Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas (CCAAB), lecionando as disciplinas de Dendrologia, Silvicultura, Pesquisa Orientada, Inventário florestal e Fundamentos da Natureza Aplicados à Agroecologia. Doutora em Produção Vegetal pela Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC (2020-2024), como bolsista CAPES, com tese focada na indução de haploides e poliploides em citros, além de colaborações em pesquisas com mandioca, mamão e inhame. Mestre em Ciências Agrárias pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB (2020), com pesquisa desenvolvida na Embrapa Mandioca e Fruticultura sobre a conservação in vitro de germoplasma de inhame, também como bolsista CAPES. Especialista em Estatística Aplicada pela UNOPAR (2022-2023) e licenciada em Biologia pela Cruzeiro do Sul Virtual (2020-2021), possui ainda graduação em Engenharia Florestal pela UFRB, com atuação como bolsista FAPESB em Ciência do Solo (2014-2015). Entre 2015 e 2018, atuou como bolsista FAPESB/CNPq no Laboratório de Cultura de Tecidos da Embrapa Mandioca e Fruticultura, com experiência em micropropagação de citros, mandioca, inhame e mamão. Tem experiência como professora conteudista, autora, revisora, leitora crítica, validadora de questões e de materiais didáticos, atuando em diferentes áreas do conhecimento e no desenvolvimento de oficinas e materiais pedagógicos. Atua ainda na organização de eventos científicos da Bio10 Digital Cursos, sendo também Editora-chefe da Wissen Editora, contribuindo diretamente para a produção, revisão e disseminação do conhecimento científico em diversas áreas do saber.

Wissen Editora, 2026 |ISBN 978-65-85923-87-3|DOI: http://www.doi.org/10.52832/wed.191

Neyla Cristiane Rodrigues de Oliveira



Mestra em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA/UFPI). Membro do Grupo de Estudos e Pesquisas Ambientais do Maranhão, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (GEPAM/IFMA). Especialista em Ensino de Ciências pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), Especialista em Ensino de Genética pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). Licenciada em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Piauí (UFPI). Estagiária bolsista-CNPq na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Embrapa, Centro de Pesquisa Agropecuária do Meio-Norte/Teresina, PI, adquirindo experiências na área de Ciência do Solo (coleta, manejo, propriedades químicas, biológicas e fauna edáfica). Bolsista CAPES/UFPI (2019/2021) adquirindo experiências em Meio Ambiente, Ensino, Educação Ambiental e Mudanças Climáticas. Docente na Educação Básica e Ensino Superior, nas instituições: Escola Municipal Nossa Senhora da Conceição (EMNSC), Ensino Fundamental-Ciências (2015); Professora substituta EBTT de Biologia no IFMA/*Campus* Alcântara (2015-2017); Professora Substituta EBTT no IFPI/ *Campus* São João do Piauí (2021-2023). Editora-chefe das revistas científicas (Journal of Education, Science and *Health* –JESH, Revista Ensinar -RENSIN) e da *Wissen* Editora.

Wissen Editora, 2026 |ISBN 978-65-85923-87-3|DOI: http://www.doi.org/10.52832/wed.191

APRESENTAÇÃO

O e-book "*Produção Vegetal: aspectos gerais e avanços na manipulação de plantas*" Volume 2, reúne uma seleção de estudos inovadores e aprofundados sobre a agronomia, com o objetivo de aprimorar o conhecimento científico e técnico no setor agrícola. Este volume é um importante marco na busca por soluções mais eficientes, sustentáveis e tecnológicas para as práticas agrícolas, com ênfase no manejo de cultivos, controle de pragas, melhoramento genético e o uso de novas tecnologias.

Os capítulos deste e-book abrangem uma diversidade de temas, desde estudos etnobotânicos sobre plantas medicinais até a utilização de tecnologias para a estimativa não-destrutiva da área foliar. Esses estudos são um reflexo do compromisso dos autores em promover uma agricultura que combine eficiência produtiva e respeito ao meio ambiente.

No Capítulo 1, é apresentado um estudo etnobotânico sobre plantas medicinais em comunidades rurais da Bahia, com foco no uso sustentável e na preservação da agrobiodiversidade. O estudo destaca a importância do conhecimento tradicional e das práticas agroecológicas para a conservação ambiental e a saúde das comunidades.

O Capítulo 2 investiga os efeitos das mudanças climáticas na fenologia e distribuição de espécies vegetais endêmicas do Cerrado, abordando como as alterações climáticas afetam a floração, o ciclo de vida das plantas e a distribuição de espécies em áreas críticas.

No Capítulo 3, é discutido o impacto da densidade de plantio na eficiência da produção de soja, com foco na escolha das melhores práticas para otimizar a produtividade dessa cultura fundamental, especialmente no contexto de condições climáticas adversas.

O Capítulo 4 apresenta a modelagem para estimativa não-destrutiva de área foliar do feijão-caupi, utilizando técnicas inovadoras para monitorar o crescimento das plantas de forma eficiente, sem danificá-las, o que contribui para uma agricultura mais sustentável.

No Capítulo 5, é feita uma análise detalhada sobre compostos fenólicos e o potencial alelopático de diversas espécies vegetais, buscando soluções naturais para o controle de plantas invasoras e o uso sustentável dos recursos vegetais.

O Capítulo 6 explora o uso de inseticidas bioracionais, com ênfase nos inseticidas botânicos, analisando a viabilidade do uso de alternativas naturais para o controle de pragas, promovendo uma agricultura mais ecológica e menos dependente de produtos químicos.

O Capítulo 7 discute a fenotipagem de sementes de feijão-fava, utilizando redes neurais artificiais para melhorar a seleção de sementes de alta qualidade e potencializar a produtividade dessa cultura essencial.

Wissen Editora, 2026 |ISBN 978-65-85923-87-3|DOI: http://www.doi.org/10.52832/wed.191

Este e-book é um repositório valioso de contribuições científicas que oferecem soluções práticas e científicas para os desafios da agricultura moderna. Ele reflete o avanço contínuo da pesquisa em produção vegetal e a busca por inovações que possibilitem uma produção agrícola mais eficiente, sustentável e adaptada aos diferentes ecossistemas.

Agradecemos a todos os autores que contribuíram com seus estudos, que certamente ajudarão a moldar o futuro da produção vegetal no Brasil e no mundo. Boa leitura!

Luanna Alves Miranda

Wissen Editora, 2026 |ISBN 978-65-85923-87-3|DOI: http://www.doi.org/10.52832/wed.191

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 16
ESTUDO ETNOBOTÂNICO DE PLANTAS MEDICINAIS EM DUAS COMUNIDADES RURAIS DE SENHOR DO BONFIM, BAHIA, BRASIL 16
Hélio Souza dos Reis 16
Anna Christina Freire Barbosa 16
Cristiane Domingos da Paz 16
Juliana Gabriela Alves de Oliveira 16
Marcos Antônio Vanderlei Silva 16
DOI: 10.52832/wed.191.1085 16
CAPÍTULO 2 25
EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA FENOLOGIA E DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES VEGETAIS ENDÊMICAS DO CERRADO 25
Djair Alves da Mata 25
Antonio Manoel da Silva Filho 25
Francisca Iris da Silva Souza 25
Teonis Batista da Silva 25
Elany Pereira Marques da Silva 25
Jailson Borges de Assunção 25
Romildo Araújo Macena 25
Geiziane de Fátima da Silva 25
Aline Carla de Medeiros 25
Patricio Borges Maracaja 25
DOI: 10.52832/wed.191.1086 25
CAPÍTULO 3 39
DENSIDADE DE PLANTIO E SUA INFLUÊNCIA NA EFICIÊNCIA DE PRODUÇÃO DA SOJA (Glycine max [L.] MERRIL), CULTIVAR 'ÚNICA' 39
Aline Silva Oliveira 39
Gustavo Piacesi Rocha 39
Queila Gouveia Tavares 39
DOI: 10.52832/wed.191.1087 39
CAPÍTULO 4 50
MODELAGEM PARA ESTIMATIVA NÃO-DESTRUTIVA DE ÁREA FOLIAR DO FEIJÃO-CAUPI [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] VARIEDADE PAULISTINHA 50
Maria Fernanda Guenes da Silva 50

Rosana Araujo Martins Lucena 50
Dayvid Mendes dos Santos 50
Ana Clara Anselmo Couto 50
Denis Leandro Medeiros 50
Semako Ibrahim Bonou 50
Guilherme Felix Dias 50
Pâmela Monique Valões da Cruz 50
Agda Malany Forte de Oliveira 50
Rener Luciano de Souza Ferraz 50
DOI: 10.52832/wed.191.1088 50
CAPÍTULO 5 62
ANÁLISE DE COMPOSTOS FENÓLICOS POR HPLC-UV E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ALELOPÁTICO DE SEIS ESPÉCIES VEGETAIS 62
Edjane Vieira Pires 62
Erika Matias da Silva 62
Cenira Monteiro de Carvalho 62
Johnnatan Duarte de Freitas 62
DOI: 10.52832/wed.191.1089 62
CAPÍTULO 6 73
USO DE INSETICIDAS BIORACIONAIS: COM ÊNFASE NOS INSETICIDAS BOTÂNICOS 73
Elivelto da Silva Cavalcante 73
Dilma Marques dos Reis 73
Jussara Gonçalves Fonseca 73
James Luan Noleto Leite 73
João Eduardo Cavalcante da Silva 73
Beatriz da Silva Pinheiro 73
Rosilda Mara Mussury Franco Silva 73
DOI: 10.52832/wed.191.1090 73
CAPÍTULO 7 82
FENOTIPAGEM DE SEMENTES DE FEIJÃO-FAVA UTILIZANDO-SE DE REDE NEURAL ARTIFICIAL 82
Rosana Araujo Martins Lucena 82
Ana Clara Anselmo Couto 82

Denis Leandro Medeiros 82
Maria Fernanda Guenes da Silva 82
Emanuel Nunes Teixeira 82
Pâmela Monique Valões da Cruz 82
Semako Ibrahim Bonou 82
Guilherme Felix Dias 82
Mario Sergio de Araujo 82
Rener Luciano de Souza Ferraz 82
DOI: 10.52832/wed.191.1091 82

CAPÍTULO 1

ESTUDO ETNOBOTÂNICO DE PLANTAS MEDICINAIS EM DUAS COMUNIDADES RURAIS DE SENHOR DO BONFIM, BAHIA, BRASIL

ETHNOBOTANICAL STUDY OF MEDICINAL PLANTS IN TWO RURAL COMMUNITIES OF SENHOR DO BONFIM, BAHIA, BRAZIL

Hélio Souza dos Reis
Mestre em Biodiversidade Vegetal pela Universidade do Estado da Bahia (UNEB), discente do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Territorial (PPGADT), Universidade do Estado da Bahia, *Campus* III, Juazeiro-BA, Brasil

Anna Christina Freire Barbosa
Doutora em Ciências Sociais pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), docente do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Territorial (PPGADT), Universidade do Estado da Bahia (UNEB), *Campus* III, Juazeiro-BA, Brasil

Cristiane Domingos da Paz
Doutora em Plant Pathology pela Auburn University, Estados Unidos, docente do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Territorial (PPGADT), Universidade do Estado da Bahia (UNEB), *Campus* III, Juazeiro-BA, Brasil

Juliana Gabriela Alves de Oliveira
Mestra em Biodiversidade Vegetal pela Universidade do Estado da Bahia (UNEB), discente do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Territorial (PPGADT), Universidade do Estado da Bahia, Campus III, Juazeiro-BA, Brasil

Marcos Antônio Vanderlei Silva
Doutor em Agronomia (Meteorologia Aplicada) pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), docente do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Territorial (PPGADT), Universidade do Estado da Bahia (UNEB), *Campus* III, Juazeiro-BA, Brasil

DOI: 10.52832/wed.191.1085

Resumo: Este trabalho teve como objetivo resgatar e valorizar as práticas tradicionais de uso e manejo sustentável de plantas medicinais em duas comunidades rurais no município de Senhor do Bonfim (BA). A pesquisa foi realizada por meio de entrevistas com moradores, turnês guiadas e coleta botânica. Foram registradas 69 espécies medicinais, pertencentes a 33 famílias botânicas, com destaque para Fabaceae e Lamiaceae. As folhas foram as partes mais utilizadas, sendo o chá por infusão a forma de preparo mais comum. Os índices de Concordância de Uso Principal (CUP) e CUP corrigido (CUPc) revelaram alto grau de concordância para espécies como *Lippia alba* e *Cymbopogon citratus*, ambas utilizadas como calmante. Os dados apontam a relevância das práticas tradicionais para a saúde e conservação da agrobiodiversidade, além de reforçarem a importância da etnobotânica no fortalecimento da agroecologia em territórios rurais.

Palavras-chave: Agrobiodiversidade. Agroecologia. Conhecimento tradicional. Comunidade quilombola.

Abstract: This study aimed to rescue and enhance traditional practices of sustainable use and management of medicinal plants in two rural communities in the municipality of Senhor do Bonfim, Bahia (Brazil). The research was conducted through interviews with local residents, guided tours, and botanical collection. A total of 69 medicinal species were recorded, belonging to 33 botanical families, with emphasis on Fabaceae and Lamiaceae. Leaves were the most commonly used plant parts, with infusion tea being the most frequent method of preparation. The Use Agreement Index (CUP) and the corrected CUP (CUPc) revealed a high degree of agreement for species such as *Lippia alba* and *Cymbopogon citratus*, both used for calming purposes. The data highlight the relevance of traditional practices for health and agrobiodiversity conservation, as well as reinforce the importance of ethnobotany in strengthening agroecology in rural territories.

Keywords: Agrobiodiversity. Agroecology. Traditional knowledge. Quilombola community.

1 INTRODUÇÃO

A etnobotânica, por seu caráter interdisciplinar, tem sido essencial no resgate e valorização dos saberes tradicionais sobre o uso das plantas, especialmente as medicinais. Além de registrar os usos dos recursos vegetais, busca compreender as formas de manejo adotadas por comunidades tradicionais, permitindo o conhecimento da composição florística local, das práticas de uso e das etnocategorias atribuídas às plantas (Freire *et al*., 2017; Reis *et al*., 2023).

A agroecologia, por sua vez, também contribui para a valorização do conhecimento popular, conservação da biodiversidade e promoção da saúde e qualidade de vida. O cultivo e manejo de plantas medicinais com base em princípios agroecológicos apresenta grande potencial para o desenvolvimento sustentável, especialmente no meio rural, favorecendo a segurança alimentar e a autonomia das famílias agricultoras (Reis *et al*., 2023; Bueno *et al*., 2024).

O saber popular sobre o uso de plantas é amplo e essencial, servindo como base para a sobrevivência e o uso consciente dos recursos vegetais. A sustentabilidade exige planejamento de conservação (Silva *et al*., 2016), e esse conhecimento tradicional, transmitido entre gerações, pode

subsidiar pesquisas e a indústria farmacêutica na elaboração de novos medicamentos. Assim, levantamentos etnobotânicos reforçam a validade científica desses saberes (Freire *et al*., 2017).

Esse conhecimento, contextualizado cultural e ambientalmente, tem sido foco de estudos em diversas áreas. Freire *et al.* (2017) mapearam o uso tradicional de plantas medicinais na odontologia no Nordeste; Silva, Marini e Melo (2015) sistematizaram o conhecimento tradicional no agreste paraibano; Bueno *et al.* (2024) relacionaram agroecologia e práticas sustentáveis com plantas medicinais; e Santos e Pereira (2020) investigaram concepções de moradores da caatinga baiana sobre o uso medicinal de plantas.

Na caatinga, plantas medicinais apresentam alto potencial terapêutico e de cultivo. Comunidades rurais do Nordeste, que dependem da agricultura e de produtos não madeireiros, como óleos, frutos e ervas, utilizam essas espécies para subsistência (Silva; Marini; Melo, 2015; Silva *et al*., 2016). Apesar do aumento de estudos sobre essas plantas no Nordeste (Santos *et al*., 2018; Silva; Almeida, 2020), ainda há lacunas na comprovação dos efeitos farmacológicos e validação terapêutica (Vargem *et al*., 2022). Isso, somado ao uso crescente de fármacos industrializados, contribui para a perda do uso tradicional e de conhecimentos associados.

Nesse cenário, torna-se fundamental promover iniciativas que valorizem os saberes populares, aliando etnobotânica, agroecologia, conservação e saúde. A relação entre plantas medicinais e agroecologia é significativa e interdependente, reforçando práticas sustentáveis e a cultura local (Silva; Marini; Melo, 2015; Freire *et al*., 2017; Bueno *et al*., 2024). Diante disso, o presente estudo etnobotânico teve como objetivo resgatar e valorizar as práticas tradicionais de uso e manejo sustentável de plantas medicinais nas comunidades de Pereiros e Cariacá, em Senhor do Bonfim, Bahia.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A pesquisa etnobotânica foi realizada em áreas de caatinga nas comunidades rurais de Pereiros e Cariacá, localizadas no município de Senhor do Bonfim, Bahia. Pereiros é uma pequena comunidade rural, cuja subsistência está ligada à agricultura familiar e ao manejo da agrobiodiversidade. Já a comunidade rural de Cariacá é cercada por povoados e fazendas. Essa é quilombola, tendo suas raízes históricas ligadas aos povos indígenas Cariri e aos descendentes de pessoas escravizadas da etnia Congo (França, 2019; Santos, 2020).

Wissen Editora, 2026 |ISBN 978-65-85923-87-3|DOI: http://www.doi.org/10.52832/wed.191

2.2 Procedimentos legais, amostragem dos entrevistados, coleta e identificação do material botânico e análise dos dados

Esta pesquisa está vinculada ao projeto intitulado "Plantas alimentícias não convencionais e plantas medicinais: etnobotânica e agroecologia como ferramentas na caracterização da agrobiodiversidade nas comunidades rurais de Senhor do Bonfim, Bahia", aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade do Estado da Bahia (CAAE nº 72922023.5.0000.0057, parecer nº 6.291.785), conforme a Resolução nº 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde (Brasil, 2013).

A pesquisa de campo foi realizada entre novembro de 2023 e novembro de 2024. A amostragem seguiu a técnica "bola de neve" (Bernard, 1995), com participação voluntária de adultos, mediante assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Foram excluídas pessoas menores de idade ou que não consentiram em participar. O número de participantes foi definido pelo critério de saturação dos dados (Thiry-Cherques, 2009).

As plantas citadas foram coletadas por meio de turnês guiadas com os informantes durante e após as entrevistas, seguindo os procedimentos botânicos padrão (Bridson; Forman, 1998). A identificação foi realizada com base em chaves taxonômicas, bibliografias especializadas e comparação com herbários.

Os dados foram analisados quantitativamente, com cálculo do Índice de Concordância de Uso Principal (CUP), considerando apenas as espécies mencionadas por cinco ou mais informantes. Além disso, foi calculado o Fator de Correção (FC) para cada espécie, com o objetivo de ajustar a comparação entre as espécies mais e menos citadas (Friedman *et al.,* 1986; Amorozo; Gély, 1988). Em seguida, foi calculado o Índice de Concordância de Uso Principal Corrigido (CUPc). O CUPc permite atribuir maior peso às espécies mais citadas, proporcionando uma análise mais precisa da relevância atribuída pelos participantes (Costa; Marinho, 2016).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Participaram da pesquisa 40 informantes-chave, sendo 87,5% mulheres e 12,5% homens. Em Pereiros, foram 23 participantes (20 mulheres e 3 homens), e em Cariacá, 17 (15 mulheres e 2 homens). Essa predominância feminina refletiu-se também na quantidade e diversidade de plantas citadas. Estudo de Vásquez, Mendonça e Noda (2014) já havia destacado essa tendência, relacionando-a ao maior envolvimento das mulheres no cultivo doméstico e no preparo de remédios caseiros.

A transmissão do conhecimento tradicional sobre o uso das plantas ocorre, majoritariamente, no âmbito familiar, sendo a mãe mencionada por 32% dos(as) participantes, e a

combinação mãe-avó por 15%, indicando uma herança compartilhada entre gerações femininas. Essa constatação também é reforçada por Lima (2023), que identifica mães e avós como principais responsáveis por esse saber em comunidades do norte de Alagoas.

Vieira e Milward-de-Azevedo (2018) destacam que a etnobotânica valoriza a contribuição das mulheres na preservação do saber tradicional, dada sua estreita relação com os recursos vegetais, muitas vezes decorrente da responsabilidade pelos cuidados da família. Tais aspectos são fundamentais para a conservação da biodiversidade, pois a transmissão desses conhecimentos garante a continuidade de técnicas e práticas essenciais à manutenção dos recursos naturais.

Com base nos princípios da agroecologia, que valorizam o resgate de saberes populares e tradicionais, as plantas medicinais vêm ganhando destaque em debates sobre bem-estar, cuidado e qualidade de vida (Modro *et al*., 2015; Dutra; Oliveira, 2023). Costa e Quintanilha (2024) ressaltam que a preservação desses saberes é fundamental não apenas para a subsistência, mas também para a conservação ambiental e para a continuidade do legado cultural das comunidades.

Quanto à ocupação principal, 78,3% dos(as) entrevistados(as) em Pereiros atuam na agricultura familiar, cultivando alimentos como andu [*Cajanus cajan* (L.) Huth], feijão-de-corda [V*igna unguiculata* (L.) Walp.] e melancia [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai], além de ervas medicinais. Em Cariacá, 52,9% também se dedicam à agricultura, enquanto os demais exercem outras atividades como professora, gari e costureira.

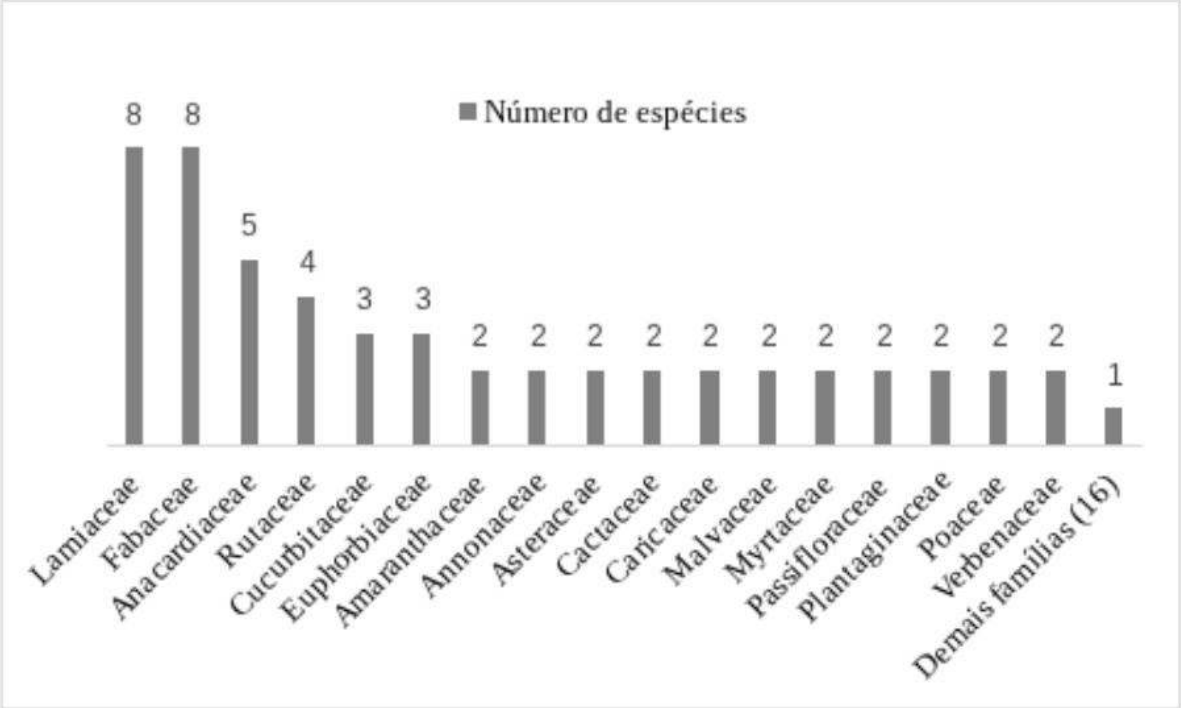
As práticas agrícolas são fundamentadas em princípios agroecológicos. A adubação é feita, principalmente, com esterco de animais, além de resíduos orgânicos, frutos secos de algaroba [*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.], folhas de quixabeira [*Sideroxylon obtusifolium* (Roem; Schult.) T.D.Penn.] e licurizeiro [*Syagrus coronata* (Mart.) Becc.], fibra de coco e adubos artesanais com carvão e farinha de osso. Para o manejo de pragas, utilizam-se estratégias naturais, como o uso de cascas de ovo, presença de galinhas, chás de alho, água de fumo, borra de café e cinzas, além da planta nim (*Azadirachta indica* A.Juss.). Nenhum(a) participante relatou o uso de agrotóxicos.

Para Borsato, Jorge e Reis (2010), o cultivo de plantas medicinais e condimentares com base em princípios agroecológicos representa uma atividade de grande potencial para o desenvolvimento local sustentável. Comunidades com predominância da agricultura familiar, especialmente quando lideradas por mulheres, demonstram maior capacidade para a produção dessas espécies. Os autores reforçam que práticas agrícolas adequadas e livres de agroquímicos, como o uso de biofertilizantes, são fundamentais para o cultivo e a manutenção dessas plantas.

Nas comunidades de Pereiros e Cariacá (Senhor do Bonfim-BA), foram registradas 69 espécies medicinais, distribuídas em 58 gêneros e 33 famílias botânicas (Figura 1). As famílias mais representativas foram Fabaceae e Lamiaceae (8 espécies cada), seguidas por Anacardiaceae (5),

Rutaceae (4), Cucurbitaceae e Euphorbiaceae (3 cada). Essas famílias destacam-se também na flora medicinal da Caatinga (Reis *et al*., 2023).

Figura 1 - Distribuição das famílias botânicas mais representativas em número de espécies, registradas nas comunidades de Pereiros e Cariacá, Senhor do Bonfim, Bahia.



Fonte: Autores, 2025.

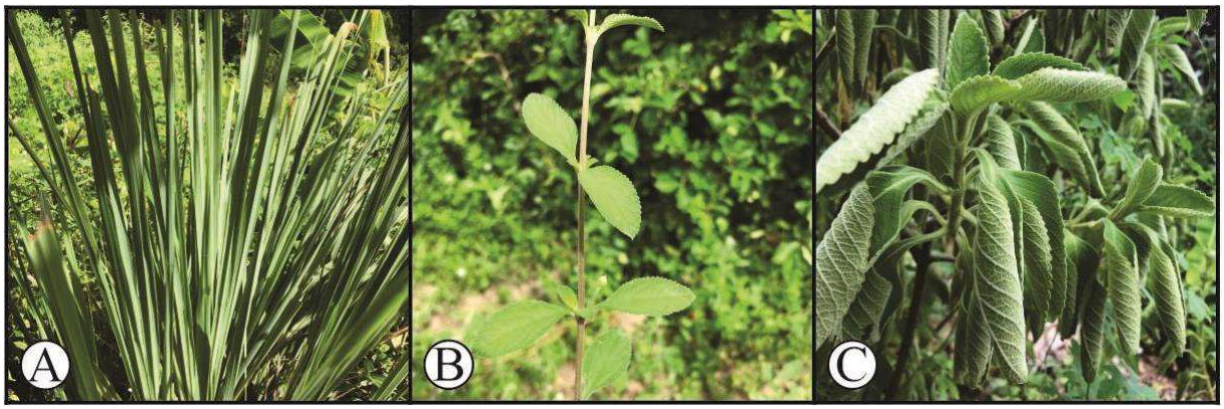
Quanto ao hábito de crescimento, predominam as espécies arbóreas (42,02%), seguidas pelas herbáceas (27,53%), lianas/trepadeiras (13,04%), arbustivas (11,59%) e subarbustivas (5,79%). Dentre as arbóreas, destacam-se *Amburana cearensis* (Allemão) A.C.Sm. (umburana-de-cheiro) e *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon e G.P.Lewis (pau-de-rato), ambas utilizadas para dores de barriga.

As folhas foram as partes mais utilizadas (68,11%), seguidas da entrecasca/casca do caule (11,59%), sendo as principais formas de preparo os chás por infusão, administrados por via oral, conforme o saber tradicional. Essa prática também foi comumente observada no estudo realizado por Ribeiro *et al.* (2014).

Algumas espécies apresentaram altos índices de Concordância de Uso Principal (CUP), como *Persea americana* C.Bauh. (abacate), *Anacardium occidentale* L. (caju) e *Punica granatum* L. (romã), variando entre 80% e 92%. Contudo, ao aplicar o Fator de Correção (FC), que ajusta a frequência relativa, poucas mantiveram índices elevados. Apenas *Lippia alba* (Mill.) N.E.Br. ex Britton &

P.Wilson (erva-cidreira) e *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf (capim-santo) (Figura 2) obtiveram CUP corrigido (CUPc) acima de 80%, enquanto *Coleus barbatus* (Andrews) Benth. (boldo) registrou 36%.

Figura 2 – Espécies medicinais com os maiores valores de Concordância de Uso Principal corrigido (CUPc), registradas em Pereiros e Cariacá. **A:** Capim-santo; **B:** Erva-cidreira; **C:** Boldo.



Fonte: Autores, 2025.

A análise do uso das espécies também evidenciou padrões quanto às finalidades terapêuticas mais recorrentes, destacando-se categorias como distúrbios gastrointestinais e transtornos do sono. O capim-santo e a erva-cidreira foram citados principalmente como calmantes, enquanto o boldo foi associado ao alívio da má digestão e das cólicas intestinais.

4 CONCLUSÃO

A pesquisa evidenciou a importância do conhecimento tradicional no uso das plantas medicinais e seu papel na manutenção da saúde nas comunidades rurais. Ressalta-se a relevância da etnobotânica como ferramenta para valorização cultural, preservação da agrobiodiversidade e fortalecimento de práticas agroecológicas locais.

Agradecimentos e Financiamento

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB).

REFERÊNCIAS

AMOROZO, M. C. M.; GELY. A. Uso de plantas medicinais por caboclos do baixo amazonas, Barcarena-PA, Brasil. **Boletim Museu Paranaense Emilio Goeldi**, v. 4, n. 1, p. 47-131, 1988.

BERNARD, H. R. **Research Methods in Antropology**: Qualitative and Quantitative Approachs. Walnut Creek: Altamira Press, 1995.

BORSATO, A. V.; JORGE, M. H. A.; REIS, V. D. A. **Cultivo agroecológico de plantas medicinais, aromáticas, condimentares e ornamentais**. Corumbá: Embrapa, 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução nº 466**, de 12 de dezembro de 2012. Dispõe sobre diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos. Diário Oficial da União; Brasília; 2013. Disponível em: <https://conselho.saude.gov.br/resolucoes/2012/Reso466.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2021.

BRIDSON, D; FORMAN, L. **The Herbarium Hanbook**. 1. ed. Kew: Royal Botanic Gardens, 1998.

BUENO, B. B. *et al.* A relação da agroecologia com as plantas medicinais: promovendo práticas sustentáveis e valorizando conhecimentos tradicionais. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 12., 2024, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos**… Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Agroecologia, 2024. (Cadernos de Agroecologia, v. 19, n. 1, 2024).

COSTA, J. C.; MARINHO, M. G. V. Etnobotânica de plantas medicinais em duas comunidades do município de Picuí, Paraíba, Brasil. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 18, n. 1, p. 125-134, 2016.

COSTA, J. D. M.; QUINTANILLHA, J. A. A importância que as comunidades tradicionais desempenham quanto a conservação e a preservação dos ambientes florestais e de seus respectivos recursos: uma revisão de literatura. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 3, p. 2072-2092, 2024.

DUTRA, L. R.; OLIVEIRA, L. S. S. **Projeto mulheres da mata apresenta**: plantas medicinais. Zona da mata: centro de tecnologia alternativas. Disponível em: ctazm.org.br/bibliotecas/cartilha-plantas-medicinais-247.pdf. Acesso em: 07 mar. 2023.

FRANÇA, P. S. F. **Ser comunidade remanescente de quilombo**: um estudo sobre a comunidade Cariacá em Senhor do Bonfim-BA. 2019. 142 f. Dissertação (Mestrado em Extensão Rural) – UNIVASF. Juazeiro, 2019.

FREIRE, J. C. P. *et al.* Levantamento etnobotânico de plantas medicinais utilizadas em Odontologia no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 19, n. 1, p. 90-98, 2017.

FRIEDMAN, J. *et al.* A preliminary classification of the healing potential of medicinal plants, based on a rational analysis of an ethnopharmacological field survey among bedouins in the negev desert, Israel. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 16, n. 1, p. 275-287, 1986.

LIMA, L. S. Conhecimento etnobotânico das plantas de cura em uma comunidade do Norte Alagoano, Nordeste do Brasil. **Revista Ouricuri**, v. 13, n. 1, p. 159-177, 2023.

MODRO, A. F. H. *et al.* Importância do conhecimento tradicional de plantas medicinais para a conservação da Amazônia. **Cadernos de Agroecologia**, v. 10, n. 3, p. 1-5, 2015.

REIS, H. S. *et al.* O conhecimento e uso tradicional de plantas medicinais nas perspectivas da etnobotânica e agroecologia: uma revisão teórica. **Observatorio de La Economía Latinoamericana**, v. 21, n. 9, p. 12098-12122, 2023.

RIBEIRO, D. A. *et al.* Potencial terapêutico e uso de plantas medicinais em uma área de Caatinga no estado do Ceará, nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 16, n. 4, p. 912-930, 2014.

SANTOS, C. B.; PEREIRA, M. A. T. O uso de plantas medicinais da caatinga: as concepções dos moradores da fazenda fagundes em Curaçá - BA. **Revista Científica da UniRios**, v. 2, n. 1, p. 194-225, 2020.

SANTOS, L. S. N. *et al.* O saber etnobotânico sobre plantas medicinais na comunidade da Brenha, Redenção, CE. **Agrarian Academy**, v. 5, n. 9, p. 409-421, 2018.

SANTOS, P. O. Insurgências quilombolas no sertão: Tijuaçu e Cariacá, entrelaçares identitários. **Prelúdios**, v. 9, n. 10, p. 48-71, 2020.

SILVA, B. R. B.; ALMEIDA, C. F. C. B. R. Estudo etnobotânico de plantas medicinais da mata ciliar do Submédio São Francisco, Nordeste do Brasil. **Revista Ouricuri**, v. 10, n. 1, p. 011-026, 2020.

SILVA, M. D. P.; MARINI, F. S.; MELO, R. S. Levantamento de plantas medicinais cultivadas no município de Solânea, agreste paraibano: reconhecimento e valorização do saber tradicional. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 17, n. 4, p. 881-890, 2015.

SILVA, S. N. *et al.* Levantamento de espécies vegetais em área de caatinga e potencial de uso no Cariri cearense. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO, I., 2016, Campina Grande. **Anais eletrônicos**… Paraíba: Editora Realize, 2016.

THIRY-CHERQUES, H. R. Saturação em pesquisa qualitativa: estimativa empírica de dimensionamento. **PMKT, Opinião e Mídia**, v. 3, p. 20-27, 2009.

VARGEM, D. S. *et al.* Plantas medicinais do cerrado: estudos etnobotânicos e farmacológicos. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 10, p. 1-10, 2022.

VÁSQUEZ, S. P. F.; MENDONÇA, M. S.; NODA, S. N. Etnobotânica de plantas medicinais em comunidades ribeirinhas do município de Manacapuru, Amazonas, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 44, n. 4, p. 457-472, 2014.

VIEIRA, B. B.; MILWARD-DE-AZEVEDO, M. A. A etnobotânica e o ecofeminismo em prol da conservação ambiental. **Diversidade e Gestão**, v. 2, n. 2, p. 178-188, 2018.

Wissen Editora, 2026 |ISBN 978-65-85923-87-3|DOI: http://www.doi.org/10.52832/wed.191



CAPÍTULO 2

EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA FENOLOGIA E DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES VEGETAIS ENDÊMICAS DO CERRADO

EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON THE PHENOLOGY AND DISTRIBUTION OF ENDEMIC PLANT SPECIES OF THE CERRADO

Djair Alves da Mata
Doutorando em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Areia-PB, Brasil

Antonio Manoel da Silva Filho
Doutorado em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande - PB, Brasil

Francisca Iris da Silva Souza
Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Areia-PB, Brasil

Teonis Batista da Silva
Doutor em Ciências Agrarias, Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina-PI, Brasil

Elany Pereira Marques da Silva
Doutora em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Areia-PB, Brasil

Jailson Borges de Assunção
Graduado em Ciências Biológicas, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Cuité-PB, Brasil

Romildo Araújo Macena
Mestre em Ciências Florestais, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Patos-PB, Brasil

Geiziane de Fátima da Silva
Mestra em Ciência do Solo, Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Areia-PB, Brasil

Aline Carla de Medeiros
D. Sc. em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande-PB, Brasil

Patricio Borges Maracaja
D. Sc. pela Universidade de Cordoba – Espanha (UCO)

DOI: 10.52832/wed.191.1086

Resumo: O Cerrado brasileiro enfrenta graves impactos das mudanças climáticas, que ameaçam diretamente o desenvolvimento de suas plantas, especialmente as espécies endêmicas. Esta revisão sistemática, baseada nas diretrizes PRISMA e em 87 estudos publicados entre 2000 e 2025, destaca a urgência de compreender a dinâmica da flora regional diante do risco de extinção de espécies únicas. Os principais achados revelam períodos prolongados de estiagem, pluviosidade irregular e projeções alarmantes para 2070: aumento de temperatura entre 2,5 e 4,8 °C. Essas condições já alteram a fenologia das plantas, com floração precoce em média 12 dias, deslocamento do pico floral, redução na qualidade de sementes e frutos, e menor sobrevivência. A fase vegetativa encurtou cerca de 14 dias, gerando dessincronia de 25–35% entre plantas e seus polinizadores. Modelos de nicho ecológico indicam contração severa (40–70%) nas áreas climaticamente adequadas para espécies endêmicas de veredas e nicho estreito, como *Pilocarpus microphyllus*, *Desmoscelis villosa* e *Dipteryx alata*, nos cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5, com migração limitada. Esses efeitos são intensificados pelo desmatamento desenfreado, resultando em perda de biodiversidade e de serviços ecossistêmicos. O texto enfatiza a necessidade urgente de estratégias de mitigação e conservação, incluindo corredores ecológicos, monitoramento fenológico contínuo, manejo sustentável de espécies e o desenvolvimento de pesquisas experimentais que integrem conhecimentos tradicionais e genômica populacional. A conservação ativa do Cerrado é essencial para preservar sua rica biodiversidade e funcionalidade ecológica diante dos desafios climáticos atuais e futuros.

Palavras-chave: Conservação Adaptativa. Distribuição de Espécies. Espécies Endêmicas. Fenologia Reprodutiva. Mudanças Climáticas.

Abstract: The Brazilian Cerrado is facing severe impacts from climate change, which directly threaten the development of its plants, especially endemic species. This systematic review, based on the PRISMA guidelines and comprising 87 studies published between 2000 and 2025, underscores the urgent need to understand the dynamics of the regional flora in the face of the extinction risk faced by unique species. Key findings reveal prolonged drought periods, irregular rainfall patterns, and alarming projections for 2070: a temperature increase of between 2.5 and 4.8 °C. These conditions are already altering plant phenology, causing early flowering by an average of 12 days, shifts in peak flowering periods, reduced seed and fruit quality, and lower survival rates. The vegetative phase has shortened by approximately 14 days, resulting in a 25–35% desynchronization between plants and their pollinators. Ecological niche models indicate severe contraction (40–70%) of climatically suitable areas for endemic species of veredas and narrow-niche habitats, such as *Pilocarpus microphyllus*, *Desmoscelis villosa*, and *Dipteryx alata*, under the SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios, with limited migration capacity. These effects are synergistically intensified by uncontrolled deforestation, leading to losses in biodiversity and ecosystem services. The text emphasizes the urgent need for mitigation and conservation strategies, including ecological corridors, continuous phenological monitoring, sustainable species management, and the development of experimental research integrating traditional knowledge and population genomics. Active conservation of the Cerrado is essential to preserve its rich biodiversity and ecological functionality in the face of current and future climate challenges.

Keywords: Adaptive Conservation. Species Distribution. Endemic Species. Reproductive Phenology. Climate Change.

1 INTRODUÇÃO

O Cerrado, o segundo maior bioma do Brasil, tem grande importância global, sendo reconhecido como um dos 25 principais pontos críticos de biodiversidade do planeta. Ele contém uma diversidade enorme, com mais de 12.000 espécies de plantas vasculares. Um número considerável dessas plantas, cerca de 4.400 espécies, só existe nesse bioma (Myers *et al.*, 2000; Klink; Machado, 2005; Strassburg *et al.*, 2017).

No entanto, nas últimas seis décadas, o Cerrado tem sofrido grandes alterações climáticas. As temperaturas aumentaram consideravelmente, com as máximas mensais subindo entre 2,2 e 4,0 °C e as temperaturas mínimas mensais aumentando entre 2,4 e 2,8 °C, entre 1961 e 2019. Além disso, a umidade relativa do ar diminuiu em cerca de 15% (Marengo *et al.*, 2018; Borges *et al.*, 2019). Essas mudanças fizeram com que a pressão de vapor diminuísse, dificultando a formação de orvalho noturno, o qual é uma fonte de água fundamental para muitas plantas durante a estação seca (Barkhordarian *et al.*, 2019; Lundquist, 2023).

A forma como as plantas do Cerrado se reproduz muda ao longo do ano, com a maioria das flores aparecendo no final da estação seca, especialmente em setembro. Nesse período, há uma grande variedade de cores e uma forte ligação entre as plantas e seus polinizadores, como as abelhas, algo que mostra as interações ecológicas especializadas do bioma (Oliveira; Gibbs, 2000; Martins *et al.*, 2021; Ávila *et al.*, 2023). Modelos de computador que simulam a distribuição de espécies sugerem que, entre 2061 e 2080, as áreas onde o clima é adequado para espécies que só existem nas áreas úmidas do Cerrado podem diminuir bastante. Em algumas espécies, como a *Desmocelis villosa*, essa redução pode ser de até 26%, dependendo dos cenários climáticos (Santos *et al.*, 2023).

Espécies que são importantes para a economia local, como o jaborandi e o baru, também devem ter uma área de distribuição menor nos estados do Maranhão e do Piauí, com pequenos ganhos apenas no sul de suas áreas de ocorrência (Vieira *et al.*, 2022a; Vieira *et al.*, 2022b). Ao mesmo tempo, estudos mostram que a diversidade genética em populações de caju está diminuindo, o que está ligado à perda de grupos regionais. Isso reforça a ideia de que a destruição de habitats e as mudanças ambientais afetam a diversidade genética (Banse *et al.*, 2023).

Embora tenha havido avanços no estudo do Cerrado, ainda existem grandes lacunas no nosso conhecimento sobre como as mudanças climáticas afetam a reprodução das plantas e a forma como as espécies se espalham. Por isso, este estudo busca entender como as mudanças climáticas estão afetando a reprodução e a distribuição de plantas que só existem no Cerrado (Siqueira; Peterson, 2003; Shirai *et al.*, 2024). O objetivo é ajudar a melhorar as formas de proteger o bioma das alterações climáticas.

Wissen Editora, 2026 |ISBN 978-65-85923-87-3|DOI: http://www.doi.org/10.52832/wed.191

2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo consiste em apresentar uma avaliação crítica das evidências disponíveis em relação aos impactos das alterações climáticas na fenologia reprodutiva e na distribuição das espécies vegetais endêmicas do Cerrado. O esforço voltado para a busca e análise da produção científica corroborou a elaboração desta sistemática. Dessa maneira, teve-se como objetivo a construção de uma síntese, na medida do possível, qualitativa e, em determinadas situações, quantitativa, visando, em última análise, à busca de padrões, à identificação de lacunas do conhecimento e à relevância para a conservação da biodiversidade. Tendo como base as diretrizes do PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), a partir do escopo da ecologia e biologia da conservação.

2.1 Estratégia de Busca

A execução das tarefas foi feita de forma organizada, tendo fontes de dados acadêmicos como "PubMed", "Scopus" e "Google Scholar". Também foi realizada uma busca no "SciELO" e na "Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações – BDTD". A periodicidade analisada vai de janeiro de 2000 até dezembro de 2025 com foco nas pesquisas mais recentes do IPCC e relacionadas aos relatórios AR5 e AR6 além dos impactos econômicos das mudanças.

Os léxicos de busca foram unidos por meio de operadores booleanos como E OU utilizando variações linguísticas e sinônimos com a intenção de aumentar a aceitação e a sensibilidade da busca. A estratégia incluiu uma mistura de ideias sobre as mudanças climáticas, a reprodução das espécies, a distribuição das plantas nativas e o bioma do Cerrado, levando em conta tanto a literatura em inglês quanto em português.

Além disso foram usados filtros específicos para documentos que abrangem partes de revisões e seções de livros com palavras-chave voltadas para acessos metodológicos e ferramentas amplamente utilizadas na área como paradigmas de distribuição de espécies MaxEnt e índices derivados do sensoriamento remoto como o NDVI além dos nomes de espécies vegetais importantes do ponto de vista ecológico e econômico como *Dipteryx alata*, *Pilocarpus microphyllus* e *Anacardium occidentale*.

A primeira busca resultou em 1.256 registros únicos, contando com a duplicação auxiliar do software Zotero. Assim, foi possível então realizar as etapas de triagem e seleção dos estudos.

2.2 Critérios de Inclusão e Exclusão

Na primeira fase foram selecionados os títulos e os resumos. Em uma segunda fase, para os textos que ainda faziam parte do conjunto de dados, foram selecionados os que respondiam a

Wissen Editora, 2026 |ISBN 978-65-85923-87-3|DOI: http://www.doi.org/10.52832/wed.191

uma série de critérios, tais como: (1) serem estudos sobre espécies do Cerrado, endêmicas ou nativas, com a identificação do táxon confirmada na Flora do Brasil; (2) os estudos que examinassem como os elementos do clima, como temperatura, precipitação, secas, e que afetam a fenologia, ou parte da fenologia como a sincronia da floração, ou a duração de estações reprodutivas, ou a distribuição de uma espécie em relação a contrações, expansões de nichos, ou mesmo a modulação de ecossistemas; (3) estudos que apresentassem dados empíricos em pesquisa temporal, ou estudos que utilizassem NDVI derivado do MODIS, (4) publicação em revistas de auditoria ou em teses e dissertações de referente reputação.

Perguntas sobre o gênero não nativo do Cerrado foram removidas e aquelas que se concentravam apenas em biomas vizinhos como a Amazônia ou a Caatinga também foram descartadas exceto as áreas de transições ecológicas, essas também foram excluídas de análise. Trabalhos que não tinham relação direta com mudanças climáticas como aqueles que tratavam apenas de desmatamento ou queimadas de forma isolada além de revisões repetitivas ou meta-análises também foram excluídas. Publicações antes do ano 2000 ou que mostraram dados que não eram suficientes para análise também foram consideradas inválidas. Esses estudos não atenderam aos requisitos.

Após a triagem inicial 458 textos foram escolhidos para leitura cuidadosa dos quais 87 atenderam todas as regras e foram incluídos na revisão final de acordo com o diagrama PRISMA. A qualidade dos métodos das análises foi avaliada com base em normas do Programa de Habilidades de Avaliação Crítica – CASP, considerando aspectos como precisão analítica que inclui a validação de modelos com medidas AUC e TSS acima de zero.

2.3 Extração e Síntese de Dados

A extração de dados foi feita de maneira organizada usando uma planilha no Microsoft Excel que reuniu informações como autores, ano da publicação, espécies analisadas, variáveis climáticas como BIO1 e BIO12 a 15, medidas fenológicas, início e fim da temporada reprodutiva, e amplitude fenológica. Também foram consideradas as alterações na distribuição espacial por porcentagem de áreas climáticas adequadas perdidas ou adquiridas avaliando cenários climáticos SSP2-4.5 e SSP-8.5.

Em cada momento os dados permitiram análises meta parciais que foram conduzidas usando o pacote metafor dentro do ambiente R. Com estimativas de magnitude de efeito como o Hedge's g para mudanças na duração fenológica. Além Disso a avaliação da variabilidade entre as pesquisas pelo Índice I^2 foi feita por eles. A síntese qualitativa se baseou na categorização temática dos resultados em três eixos principais. Esses eixos incluem os impactos sobre a fenologia

reprodutiva, redistribuição espacial das espécies e interações sinérgicas entre mudanças climáticas e outros fatores antrópicos.

Este método de trabalho garante uma pesquisa completa e imparcial, que permite um fundamento positivo para os efeitos das mudanças climáticas do Cerrado no Cerrado. Além disso, proporciona assistência à ordem pública e à possibilidade de alternância, como o aumento das áreas protegidas.

3 RESULTADOS

3.1 Tendências climáticas observadas e projetadas no Cerrado

O Brasil passou por grandes mudanças climáticas na última década. Entre 1981 e 2019, a temperatura média anual aumentou cerca de 1,2 °C, com as temperaturas mais elevadas na estação seca, e aumentou para 3,0 °C na região central do respectivo bioma (Hofmann *et al.*, 2021). Embora a precipitação anual ainda apresente tendências históricas de 1.200 a 1.800 mm, porém sua irregularidade se intensificou, sendo concentrada em alguns períodos do ano, e mesmo durante a estação chuvosa as estiagens podem durar por mais de 20 dias (Marengo *et al.*, 2022).

As projeções meteorológicas baseadas nas condições SSP2-4.5 e SSP5-8.5 apontam uma estimativa de aquecimento alarmante cerca de 2,5 a 4,8 ºC até o ano de 2070, isso atrelado a uma estimativa na redução das precipitações de 15 a 25% (Souza *et al.*, 2025). Ao mesmo tempo, o Déficit de Pressão (VOPO) aumentou cerca de 20% nas últimas duas décadas, apresentando um "ar" mais seco, uma intensificação da aridez, vindo a refletir no balanço hídrico das plantas, pois mesmo o solo com umidade, as condições atmosféricas impõem estresse a vegetação (Hofmann *et al.*, 2021).

3.2 Efeitos das mudanças climáticas na fenologia reprodutiva

3.2.1 Alterações no início, pico e fim da floração

As análises de séries temporais do sinal (NDVI) mostram um avanço médio de cerca de 12 dias no início da floração (start of season – SOS) das espécies arbóreas que são nativas, entre os anos 2000 e 2020. Ademais, essa translocação temporal está intimamente ligada ao aumento das temperaturas, especificamente ao aumento de 1,5ºC no período pré-chuvoso (Martins *et al.*, 2021). O auge da floração que normalmente acontece no mês de setembro passou a ocorrer de maneira precoce, por volta do mês de agosto, isso corresponde a cerca de 70% da vegetação observada no Cerrado central, isso com base em estudos de campo envolvendo 45 espécies (Cardoso *et al.*, 2025)

Wissen Editora, 2026 |ISBN 978-65-85923-87-3|DOI: http://www.doi.org/10.52832/wed.191

Além disso, a floração sofreu drasticamente com a intensificação das condições ambientais desfavoráveis, tendo uma redução de 8 a 10 dias, segundo estimativas de dados do sensor MODIS entre 2010 e 2022 (Almeida *et al.*, 2017).

3.2.2 Dessincronia planta–polinizador

Mudanças fenológicas também causaram alterações importantes nas interações biológicas. Estudos sobre as relações entre plantas e polinizadores mostraram uma redução de cerca de 25% no tempo em que flores aparecem e a atividade de insetos como abelhas em áreas do cerrado entre 2015 e 2023 (Rabeling *et al.*, 2019). Em espécies como Dyckia erectiflora foi observado uma redução de 35% na acessibilidade dos polinizadores durante os momentos esperados do ciclo da planta com base em amostragens semanais (Masrua *et al.*, 2025).

Resultados semelhantes foram registrados para Erythroxylum tortuosum cuja floração mostrou uma média de atraso de 15 dias em relação à atividade dos polinizadores, especialmente em áreas com bordas fragmentadas (Ishino *et al.*, 2012).

3.2.3 Mudanças na duração e intensidade da estação vegetativa

A duração da estação vegetativa teve uma redução média de 14 dias para gramíneas endêmicas entre 2002 e 2021, além de um aumento de 18% na frequência de secas prolongadas (Mariano *et al.*, 2019). As medições das amplitudes fenológicas também diminuem cerca de 22% para plantas do tipo lenhoso, segundo as análises das imagens Landsat (Camargo *et al.*, 2011).

Além disso, a intensificação da estação, estimada pela análise integral sazonal, revelou uma redução de 18% para as populações de Ichthyothere terminalis durante os períodos de estiagens, ocasionando uma perda na produtividade vegetal (Almeida *et al.*, 2017).

3.3 Impactos na distribuição geográfica de espécies endêmicas

3.3.1 Contração e expansão de áreas climaticamente adequadas

Os arquétipos de nicho ecológico representam uma combinação clara de áreas climáticas adequadas para várias espécies nativas do Cerrado. Para o Pilocarpus microphyllus estima-se uma redução em torno de 40% em relação a área potencial, isso até 2050 sob o cenário SSP2-4.5, se intensificando nas áreas de transposição entre a Amazônia e o Cerrado (Monteiro *et al.*, 2023). Entre as espécies relacionadas ao ambiente úmido da vereda, 12 das 20 nativas avaliadas apresentaram uma diminuição planejada variando entre 50 e 70% até 2080 sob o cenário SSP5-8.5 (Oliveira Passos *et al.*, 2025).

Wissen Editora, 2026 |ISBN 978-65-85923-87-3|DOI: http://www.doi.org/10.52832/wed.191

Algumas variedades como Vellozia spp conseguem mostrar aumentos pequenos entre 10 e 15% na região sudeste do bioma. Isso está de acordo com as previsões feitas com o algoritmo MaxEnt (Muniz *et al.*, 2024).

3.3.2 Padrões de migração altitudinal

Pesquisas feitas nos ecótonos de Cerrado e Floresta Seca mostraram que as populações de árvores locais se deslocaram cerca de 25 metros a cada dez anos entre 1990 e 2020. Esses ecótonos estão limitados pela baixa altitude do bioma que geralmente é menor que 800 metros (Ortiz-Colin; Hulshof, 2024). Em regiões de chapadas como a Chapada dos Veadeiros, espécies rupícolas mostraram deslocamentos mais acentuados com cerca de 35 metros por década baseando-se em conhecimentos de herbário e modelos paleoclimáticos (Vasconcellos *et al.*, 2024).

3.3.3 Espécies mais vulneráveis e potencialmente beneficiadas

Espécies como a Villosa Desmoscelis, que vivem em ambientes muito específicos, são super vulneráveis (Ferreira *et al.*, 2022). Ademais, conforme resultados de algumas modelagens, espécies como Kielmeyera coriaceae podem se beneficiar sob condições climáticas moderadas (Braga; Laurini, 2024). Já Hymenea stigonecarpa e Dipteryx allata também devem mostrar contrações significativas (Nabout *et al.*, 2010), com projeções sugerindo até 65% de redução em seus habitats até 2070 (Ferreira *et al.*, 2022).

3.3.4 Interações sinérgicas com fatores antrópicos

Os efeitos das mudanças climáticas são amplificados por pressões antropogênicas. A substituição da vegetação do Cerrado por pastagens aqueceu o solo em 3,5ºC, porém reduziram a perda de água em quase 42% entre 1985 e 2020 (Rodrigues *et al.*, 2022). Além disso, a fragmentação da vegetação ocasionou a intensificação dos longos períodos de seca em até 30% (Duku; Hein, 2023).

Além disso, as queimadas duplicaram a mortalidade pós-floração em 15 espécies únicas, de 2010 a 2022. Tornando evidente a interação negativa entre as recentes mudanças climáticas, fogo e perda de habitat (Spadoni *et al.*, 2025).

3.3.5 Lacunas de conhecimento

A revisão revelou grandes lacunas em nosso conhecimento. Apenas 15% dos artigos analisados abordaram a fenologia de espécies herbáceas endêmicas, tendo as plantas lenhosas o foco principal (Gonçalves-Souza *et al.*, 2023). Ademais, muitos autores também observaram a

escassez de testes in situ de manipulação climática em áreas úmidas (Braga; Laurini, 2024). A sub-representação Cerrado limita os resultados, além disso, são escassos trabalhos que relacionem o estudo genético com mapas de localização das espécies, tendo essa combinação aparecido em menos de 10% dos casos analisados (Carvalho *et al.*, 2017).

4 DISCUSSÃO

4.1 Comparação com outros biomas tropicais

Os padrões observados para a vegetação do Cerrado apresentam semelhantes aos descritos para outros biomas tropicais brasileiros. Além disso, essas plantas têm antecipado seu ciclo fenológico semelhantemente ao que ocorre com a vegetação de Caatinga, especialmente as espécies adaptadas as secas, se contrastando com as serras isoladas (Montanhosas), onde a vegetação resiste melhor aos estresses climáticos bruscos, com maior persistência ambiental do que as formações do Cerrado e da Caatinga em áreas mais planas (Raffan, 2019; Raman *et al.*, 2021).

Na Amazônia, a elevada umidade do ambiente traz grandes benefícios, pois proporciona menores alterações em relação ao ciclo fenológico das plantas. Já na Mata Atlântica, a vegetação está fragmentada, em pedaços isolados, além disso o relevo montanhoso dificulta a migração das espécies para as áreas mais altas, resultando em um menor espaço para se deslocar, perdendo gradualmente sua área de ocorrência, vindo, por conseguinte reduzir fortemente na distribuição da vegetação (Stelmakh *et al.*, 2017). Neste cenário, o Cerrado se destaca como um sistema intermediário, apresentando adaptações em virtude da sua diversidade sazonal.

4.2 Implicações ecológicas

A falta de sincronia entre plantas e os seus agentes polinizadores acarretam uma taxa de redução em 50% na polinização natural, afetando diretamente a produção de sementes e frutos, bem como, as cadeias tróficas como um todo, além dos sistemas socioculturais dependentes desses recursos (Root-Bernstein, 2016).

Atrelado a esse contexto, a perda da diversidade genética, assim como a falta da competição natural favorece o desenvolvimento de espécies genéricas, causando assim uma homogeneização biótica. O fato é que estão sendo perdidas espécies com funções específicas, restringindo as formas como o bioma pode lidar com os recorrentes desbalanço das mudanças climáticas. Com isso o equilíbrio do ecossistema é prejudicado, interrompendo os processos de ciclagem de nutrientes e o armazenamento do carbono.

4.3 Implicações para conservação e manejo

É preciso adaptar as estratégias de conservação para otimizar os seus efeitos. Sendo de suma importância o monitoramento do ciclo fenológico das plantas ao longo do tempo, além de propor cenários futuros para assim construir alternativas realmente eficazes. Além disso, o planejamento territorial deve estar na base dos projetos, a fim de evitar o isolamento ou a fragmentação das áreas naturais. Alternativamente os corredores ecológicos permite que as espécies possam se mover livremente, mantendo a diversidade biológica.

Atualmente, é recomendado usar modelos que acompanham as bruscas mudanças ambientais, ajudando no manejo adequado das espécies, a exemplo o jaborandi (Pilocarpus microphyllus), tornando o monitoramento mais eficiente.

4.4 Limitações

Apesar dos estudos constantes, ainda existem limitações a serem consideradas, principalmente aquelas relacionadas aos modelos de nicho climático estático. O fato é que esses modelos podem superestimar as perdas ao ignorar a plasticidade fenotípica, bem como as interações bióticas correspondentes.

4.5 Perspectivas Futuras

É de suma importância testar os efeitos do clima no campo, juntar os dados com análises genicas e verificar como estas espécies se adaptam. Além disso, imagens detalhadas de satélites proporcionam acompanhar as mudanças temporais ao longo do tempo, entendendo assim a dinâmica entre clima, ação antrópica e uso dos recursos naturais.

5 CONSIDERAÇÃOES FINAIS

A presente pesquisa revela os impactos das mudanças climáticas no crescimento e desenvolvimento da vegetação do Cerrado, ocasionando um florescimento precoce, bem como um crescimento raquítico. Além disso, as áreas de terra fértil estão se tornando menores. Esses pontos revelam grandes problemas neste ecossistema.

É preciso o engajamento de medidas para proteger as áreas naturais. Essas medidas precisam ser fáceis e estratégicas de implementar, e devem combinar o conhecimento científico, tradicional e estratégicas governamentais. Esse trabalho árduo e compartilhado é fundamental. Ajudando a preservar a diversidade dos recursos naturais encontrados neste local, algo extremamente necessário neste momento. O fato é que as mudanças climáticas continuam afetando o Cerrado severamente.

Wissen Editora, 2026 |ISBN 978-65-85923-87-3|DOI: http://www.doi.org/10.52832/wed.191

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. V. *et al.* Seasonal changes of fructans in dimorphic roots of Ichthyothere terminalis (*Spreng.*) Blake (*Asteraceae*) growing in Cerrado. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 598, p. 404-412, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.100

ÁVILA, M. A. *et al.* Local environment contributes to shape phenological patterns in *Mauritia flexuosa* L.f. **Forest Ecology and Management**, [S. l.], v. 545, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121252

BANSE, P. *et al.* Forward-in-time simulation of chromosomal rearrangements: the invisible backbone that sustains long-term adaptation. **Molecular Ecology**, [S. l.], v. 33, 2023. DOI: https://doi.org/10.1111/mec.17234

BRAGA, A.; LAURINI, M. Spatial heterogeneity in climate change effects across Brazilian biomes. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 14, n. 1, 2024. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-024-67244-x

BARKHORDARIAN, A. *et al.* A recent systematic increase in vapor pressure deficit over tropical South America. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 9, 2019. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-019-51857-8

BORGES, F. J. A. *et al.* Bird vulnerability to climate and land use changes in the Brazilian cerrado. **Biological Conservation**, [S. l.], v. 236, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.05.055

CARVALHO, D. L. *et al.* Delimiting priority areas for the conservation of endemic and threatened Neotropical birds using a niche-based gap analysis. **PLoS ONE**, [S. l.], v. 12, n. 2, 2017. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171838

CAMARGO, M. G. *et al.* Effects of environmental conditions associated to the cardinal orientation on the reproductive phenology of the cerrado savanna tree *Xylopia aromatica* (Annonaceae). Anais da Academia Brasileira de Ciências, [S. l.], v. 83, n. 3, 2011. DOI: https://doi.org/10.1590/S0001-37652011005000014

CARDOSO, J. C. F. *et al.* Pollination and plant reproduction in the Cerrado, the world's most biodiverse savanna. **Biological Reviews**, [S. l.], 2025. DOI: https://doi.org/10.1111/brv.70073

DUKU, C.; HEIN, L. Assessing the impacts of past and ongoing deforestation on rainfall patterns in South America. **Global Change Biology**, [S. l.], v. 29, n. 18, 2023. DOI: https://doi.org/10.1111/gcb.16856

FERREIRA, R. B. *et al.* Combining ecological niche models with experimental seed germination to estimate the effect of climate change on the distribution of endangered plant species in the Brazilian Cerrado. **Environmental Monitoring and Assessment**, [S. l.], v. 194, n. 4, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/s10661-022-09897-7

GONÇALVES-SOUZA, T. *et al.* Bringing light onto the Raunkiæran shortfall: A comprehensive review of traits used in functional animal ecology. **Ecology and Evolution**, [S. l.], v. 13, n. 4, 2023. DOI: https://doi.org/10.1002/ece3.1001

HOFMANN, G. S. *et al.* The Brazilian Cerrado is becoming hotter and drier. **Global Change Biology**, [S. l.], v. 27, n. 17, 2021. DOI: https://doi.org/10.1111/gcb.15712

ISHINO, M. N. *et al.* Edge effect and phenology in *Erythroxylum tortuosum* (Erythroxylaceae), a typical plant of the Brazilian Cerrado. **Brazilian Journal of Biology**, [S. l.], v. 72, n. 3, 2012. DOI: https://doi.org/10.1590/S1519-69842012000300023

IPCC. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. Disponível em:< https://www.clientearth.org/latest/news/the-latest-ipcc-report-a-wake-up-call-for-climate-action/?gad_source=1&gad_campaignid=19080916445&gbraid=0AAAADMxNArFLeqc9SRGOyYCcyO45t0ZN&gclid=Cj0KCQiAg63LBhDtARIsAJygHZ4QPtDk8GpBfyPASg_kAqSTu0MPHuw4eXGPAgukCps7EXIyGevGwzkaAsrsEALw_wcB> . Acessado em: 17/01/2026

KLINK, C. A. *et al.* Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, [S. l.], v. 19, n. 3, 2005. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x

LUNDQUIST, P. K. Chromoplast differentiation: a central role for plastoglobule lipid droplets comes into focus. **New Phytologist**, [S. l.], v. 237, n. 5, 2023. DOI: https://doi.org/10.1111/nph.18700

MARENGO, J. A. *et al.* Increased climate pressure on the agricultural frontier in the Eastern Amazonia-Cerrado transition zone. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 12, n. 1, 2022. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-021-04241-4

MARIANO, G. C. *et al.* RadialPheno: A tool for near-surface phenology analysis through radial layouts. Applications in Plant Sciences, [S. l.], v. 7, n. 6, 2019. DOI: https://doi.org/10.1002/aps3.1253

MARTINS, A. E. *et al.* Flowering Phenology and the Influence of Seasonality in Flower Conspicuousness for Bees. **Frontiers in Plant Science**, [S. l.], v. 11, 2021. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2020.594538

MASRUA, M. L. A. *et al.* Reproductive biology and phenology of *Dyckia erectiflora* (L.B.Sm.) Forzza (Bromeliaceae): An endemic bromeliad from rocky outcrops of the Northeastern Brazilian Cerrado. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [S. l.], v. 97, n. 4, 2025. DOI: https://doi.org/10.1590/0001-3765202520250273

MONTEIRO, W. P. *et al.* Potential Distribution of *Pilocarpus microphyllus* in the Amazonia/Cerrado Biomes under Near-Future Climate Change Scenarios. **Plants**, [S. l.], v. 12, n. 11, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/plants12112106

MUNIZ, A. C. *et al.* Non-adaptedness and vulnerability to climate change threaten *Plathymenia trees* (Fabaceae) from the Cerrado and Atlantic Forest. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 14, n. 1, 2024. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-024-75664-y

MARENGO, J. A. *et al.* Mudanças no Clima e Uso do Solo na Região Amazônica: Variabilidade e Tendências Atuais e Futuras. **Frontiers in Earth Science**, [S. l.], v. 6, 2018. DOI: https://doi.org/10.3389/feart.2018.00228

MYERS, N. *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, [S. l.], v. 403, 2000. DOI: https://doi.org/10.1038/35002501

NABOUT, J. C. *et al.* Combining multiple models to predict the geographical distribution of the Baru tree (*Dipteryx alata* Vogel) in the Brazilian Cerrado. **Brazilian Journal of Biology**, [S. l.], v. 70, n. 4, 2010. DOI: https://doi.org/10.1590/S1519-69842010000500001

OLIVEIRA PASSOS, L. *et al.* Predicting climate change impacts on *vereda* wetland plant species distribution in the Brazilian Cerrado. **Annals of Botany**, [S. l.], 2025. DOI: https://doi.org/10.1093/aob/mcaf120

OLIVEIRA, P. E.; GIBBS, P. E. Reproductive biology of woody plants in a cerrado community of Central Brazil. **Flora**, [S. l.], v. 195, n. 4, p. 311-329, 2000. DOI: https://doi.org/10.1016/S0367-2530(17)30990-8

ORTIZ-COLIN, P.; HULSHOF, C. M. Ecotones as windows into organismal-to-biome scale responses across Neotropical forests. **Plants**, [S. l.], v. 13, n. 17, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/plants13172396

RABELING, S. C. *et al.* Seasonal variation of a plant-pollinator network in the Brazilian Cerrado: implications for community structure and robustness. **PLoS ONE**, [S. l.], v. 14, n. 12, 2019. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224997

RAFFAN, S.; HALFORD, N. G. Acrylamide in food: progress in and prospects for genetic and agronomic solutions**. Annals of Applied Biology**, [S. l.], v. 175, n. 3, 2019. DOI: https://doi.org/10.1111/aab.12536

RAMAN, H. et al. The *Rlm13* gene, a new player of *Brassica napus-Leptosphaeria maculans* interaction maps on chromosome C03 in canola. **Frontiers in Plant Science**, [S. l.], v. 12, 2021. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2021.654604

RODRIGUES, A. A. *et al.* Cerrado deforestation threatens regional climate and water availability for agriculture and ecosystems. **Global Change Biology**, [S. l.], v. 28, n. 22, p. 6807-6822, 2022. DOI: https://doi.org/10.1111/gcb.16386

ROOT-BERNSTEIN, R. US prizewinners: Nobel launchpad is immaterial. **Nature,** [S. l.], v. 540, n. 7632, 2016. DOI: https://doi.org/10.1038/540199d

SANTOS, A. T. *et al.* Os feromônios podem contribuir para hipóteses filogenéticas? Um estudo de caso dos Chrysomelidae. **Journal of Chemical Ecology**, [S. l.], v. 49, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/s10886-023-01450-1

SIQUEIRA, M. F.; PETERSON, A. T. Consequences of global climate change for geographic distributions of cerrado tree species. **Biota Neotropica**, [S. l.], v. 3, n. 2, 2003. DOI: https://doi.org/10.1590/S1676-06032003000200005

SPADONI, G. L. *et al.* Devegetation is a widespread driver of fire in the Brazilian Cerrado. **Journal of Environmental Management**, [S. l.], v. 385, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125637

STELMAKH, S. *et al.* Effect of interaction of external surfaces on the symmetry and lattice distortion of CdSe nanocrystals by molecular dynamics simulations. **Journal of Nanoparticle Research**, [S. l.], v. 19, n. 12, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/s11051-017-4090-5

STRASSBURG, B. *et al.* Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**, [S. l.], v. 1, 2017. DOI: https://doi.org/10.1038/s41559-017-0099

SHIRAI, L. T. *et al.* "Savannization of the Amazon" is a term that reinforces the Cerrado neglect. **Perspectives in Ecology and Conservation**, [S. l.], v. 22, n. 3, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.pecon.2024.07.002

VASCONCELLOS, M. M. *et al.* Isolation by instability: historical climate change shapes population structure and genomic divergence of treefrogs in the Neotropical Cerrado savanna. **Molecular Ecology**, [S. l.], v. 28, n. 7, 2019. DOI: https://doi.org/10.1111/mec.15045

VIEIRA, L. A. *et al.* Revisão dos limites do Cerrado, padrões de distribuição da flora e status de conservação para decisões políticas. **Land Use Policy**, [S. l.], v. 115, 2022a. DOI: https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106038

VIEIRA, L. D. *et al.* Comparative population genomics in *Tabebuia* alliance shows evidence of adaptation in Neotropical tree species. Heredity, [S. l.], v. 128, n. 3, 2022b. DOI: https://doi.org/10.1038/s41437-021-00491-0

CAPÍTULO 3

DENSIDADE DE PLANTIO E SUA INFLUÊNCIA NA EFICIÊNCIA DE PRODUÇÃO DA SOJA (Glycine max [L.] MERRIL), CULTIVAR 'ÚNICA'

PLANTING DENSITY AND ITS INFLUENCE ON THE PRODUCTION EFFICIENCY OF SOYBEAN (Glycine max [L.] MERRIL) VARIETY 'ÚNICA'

Aline Silva Oliveira
Mestre em Zootecnia, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba – PR, Brasil

Gustavo Piacesi Rocha
Graduada em Agronomia, Instituto Federal do Sudeste de Minas – *Campus* Barbacena, Barbacena – MG, Brasil

Queila Gouveia Tavares
Mestre em Zootecnia, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba – PR, Brasil

DOI: 10.52832/wed.191.1087

Resumo: A soja desempenha um papel crucial na economia mundial, sendo uma das principais commodities agrícolas e fonte de renda para milhões de produtores em todo o globo. Sendo o carro-chefe da agricultura brasileira, com a maior área plantada no país, contribuindo significativamente para a balança comercial e gerando renda para milhões de agricultores. O objetivo principal deste estudo foi avaliar o impacto da densidade de plantio no rendimento de grãos da cultivar de soja Brasmax Única, visando contribuir para a otimização do manejo dessa cultura. O experimento foi conduzido no Parque Tecnológico do Núcleo de Agricultura (NA), localizado no Instituto Federal do Sudeste de Minas - *campus* Barbacena. A cultivar utilizada foi a Única, que apresenta um conjunto de características desejáveis para a produção de soja, como alto potencial produtivo, resistência a importantes doenças (nematóide)e do cisto e cancro da haste) e ciclo de cultivo longo. Foram realizados quatro tratamentos, T1: 200 mil plantas/ha; T2: 250 mil plantas/ha; T3: 300 mil plantas/ha; T4: 350 mil sementes/ha. A densidade de plantio mostrou-se um fator determinante para o rendimento da cultivar Única (ANOVA, p=0,031). A análise de regressão confirmou a existência de uma relação direta entre essas variáveis (R^2=0,0085, p=0,0085), exceto para o tratamento T1, que não apresentou influência significativa sobre o rendimento. Os resultados sugerem uma relação entre a densidade de plantas e o rendimento da soja, mas a complexidade do sistema exige mais pesquisas para entender completamente essa interação e estabelecer recomendações precisas para o manejo da cultura.

Palavras- chave: Competição. Densidade populacional. Soja.

Abstract: Soybean plays a crucial role in the global economy, being one of the most important agricultural commodities and a source of income for millions of producers around the world. It is the flagship crop of Brazilian agriculture, with the largest area planted in the country, contributing significantly to the balance of trade and generating income for millions of farmers. The main objective of this study was to evaluate the effect of planting density on the grain yield of the Brasmax Única soybean variety, with the aim of helping to optimize the management of this crop. The experiment was carried out in the Technology Park of the Agricultural Center (NA), located on the campus of the Federal Institute of Southeast Minas Gerais – Barbacena. The cultivar used was Única, which has a number of desirable characteristics for soybean production, such as high yield potential, resistance to major diseases (cyst nematode and stem canker) and a long growing cycle. There were four treatments, T1: 200,000 plants/ha; T2: 250,000 plants/ha; T3: 300,000 plants/ha; T4: 350,000 seeds/ha. Planting density proved to be a determining factor for the yield of the Única variety (ANOVA, p=0.031). Regression analysis confirmed the existence of a direct relationship between these variables (R^2=0.0085, p=0.0085), except for treatment T1, which had no significant effect on yield. The results suggest a relationship between plant density and soybean yield, but the complexity of the system requires further research to fully understand this interaction and establish accurate recommendations for crop management.

Keywords: Competition. Plant density. Soybean.

1 INTRODUÇÃO

A cultura da soja tem um papel crucial na economia mundial, uma vez que é cultivada em quase todos os países, tendo uma área plantada de 1,38,52 milhões de hectares, gerando uma produção de 395,91 milhões de toneladas USDA (2024). O Brasil ocupa posição de liderança no ranking internacional de produção de soja, sendo o país que detém a maior extensão territorial destinada ao cultivo deste grão, com uma área plantada de 45,98 milhões de hectares (CONAB,

2024). No decorrer de uma safra satisfatória, o país produziu em 2023, em média, 147,35 milhões de toneladas de soja, com produtividade de 3.205 kg/há (CONAB, 2024), índices maiores dos obtidos na safra 2021/2022, que registrou uma área de 41 milhões de hectares aproximadamente e uma produção de 140 milhões de toneladas do grão (BASF, 2024).

Dessa área total, 12,37 milhões de hectares pertencem somente ao estado do Mato Grosso, sendo o maior produtor de fato da soja, com uma produção de 39,34 milhões de toneladas e uma produtividade de 3.179 kg/há (CONAB, 2024). Seguido do Rio Grande do Sul com 6,76 milhões de hectares, 20,19 milhões de toneladas e produtividade de 2.985 kg/há, Paraná com 5,82 milhões de hectares, 18,35 milhões de toneladas e produtividade de 3.155 kg/há e Goiás com 4,80 milhões de hectares, 16,71 milhões de toneladas e produtividade de 3.480 kg/há respectivamente (CONAB, 2024).

A soja é versátil e amplamente utilizada na indústria alimentícia, na produção de biocombustíveis e em outras diversas aplicações, demonstrou em 2023 um consumo interno de 54.165 milhões de toneladas em grãos, 19.844 milhões de toneladas em farelo e 8.677 milhões de toneladas em óleo. As exportações desse *commodity* estratégico renderam US$ 67.914 milhões (ABIOVE, 2024).

O que justifica a necessidade de pesquisas científicas, que abrangem desde a mecanização e o desenvolvimento de novas cultivares até o manejo integrado de pragas e doenças, são o motor por trás do constante progresso e a intensificação no manejo da cultura da soja (Freitas, 2011).

A intensificação da produção nos últimos anos tem sido impulsionada por diversas tecnologias, dentre as quais se destaca o controle da densidade de plantas, a germinação uniforme e o desenvolvimento vigoroso das plântulas são fundamentais para otimizar a produtividade (Baudet; Peske, 2007; Silva, 1998).

A soja como também o milho são as principais culturas agrícolas globais, com aplicações que vão desde a alimentação humana e animal até a produção de insumos para setores de alta tecnologia e indústria (Garcia, 2020). Estas plantas demonstram uma notável plasticidade fenotípica, adaptando-se a diferentes condições ambientais e de manejo. Mutações morfológicas, ajustes na arquitetura da planta e modificações fisiológicas em resposta a fatores como fertilidade do solo, densidade de plantio e espaçamento entre linhas são exemplos dessa adaptabilidade (Pires *et al*., 2000; Rambo *et al*., 2003). Característica que sugere a existência de uma janela de densidade de plantas na qual a produtividade permanece relativamente estável. No entanto, a produtividade final é determinada por uma complexa interação entre a planta e o ambiente, sendo influenciada por práticas de manejo como época de plantio, escolha da cultivar, espaçamento entre linhas e fertilidade do solo (Mauad *et al*., 2010). No entanto, ao contrário do que a teoria sugere, diversos

estudos demonstram que a variação na população de plantas exerce um impacto significativo na produtividade (Ball *et al*., 2000; Peluzito *et al*.., 2002; Rigsby; Board, 2003; Rezende *et al*., 2004; Heitholt *et al*., 2005; Ludwig *et al*., 2007).

A definição da densidade de plantio ideal é uma etapa fundamental no manejo da cultura, interferindo diretamente no equilíbrio entre a área foliar e o número de plantas por área, impactando a captura de luz, fotossíntese e, consequentemente, a produção de grãos (Martins *et al*., 1999). A melhor população será a que oferecer condições para cobertura foliar acelerada do solo no espaço entre fileiras. Para que aconteça o ajuntamento de matéria seca na parte aérea, elevando o ganho de produtividade. Uma densidade excessiva pode levar à competição acirrada por luz, resultando em plantas mais altas e menos ramificadas, com redução na produção de vagens e grãos (Argenta *et al*., 2001).

A soja apresenta uma capacidade considerável de compensar variações na densidade de plantio, ajustando sua morfologia sem comprometer significativamente o rendimento de grãos (Gaudêncio *et al*., 1990). As alterações morfológicas observadas na cultura da soja em resposta às diferentes condições de cultivo incluem variações na altura de planta (Komori *et al*., 2004), número de ramificações Heiffig (2002), número de vagens por planta e número de grãos por vagem (Tourino *et al*., 2002; Heiffig, 2002).

A plasticidade fenotípica da soja permite que a cultura mantenha o rendimento de grãos em diferentes condições de competição, como evidenciado por estudos que avaliaram densidades de plantio entre 8 e 63 plantas por metro quadrado (Pires *et al*., 1998). Em baixas densidades, a emissão de um maior número de ramos e o desenvolvimento de hastes mais robustas compensam a menor quantidade de plantas por área, mantendo a produtividade, com maior número de ramos e hastes mais espessas, o que resulta em um aumento na produção por planta (Junior et al., 2015). Buscou-se neste estudo quantificar a influência da densidade de semeadura na produtividade de grãos da soja.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área Experimental

O experimento foi realizado no Parque Tecnológico do Núcleo de Agricultura (NA) do Instituto Federal do Sudeste de Minas – *Campus* Barbacena (MG). Localizado a 21° 13’ 33”S e 43° 46’ 25”O, o local possui clima tropical de altitude (Cwb), com temperatura média anual de 19°C e precipitação anual superior a 1400 mm, concentrada entre setembro e março. A radiação solar anual é de aproximadamente 1800 horas (INMET, 2025).

2.2 Metodologia da pesquisa

Utilizou-se a cultivar de soja Única, caracterizada por alto potencial produtivo, resistência a nematoides de cisto e cancro da haste, ciclo médio de 115-120 dias e hábito de crescimento indeterminado com baixa ramificação (BRASMAX, 2021).

O solo da área experimental, classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, foi submetido a análise química em agosto de 2019. Com base nos resultados e nos cálculos do 5º Aproximação (Ribeiro *et al..,* 1999), foram realizadas as correções necessárias, 90 dias antes do início do experimento.

O preparo do solo consistiu em gradagem e nivelamento. A semeadura manual foi realizada em linhas espaçadas a 50 cm, em uma área total de 16 m 2 dividida em quatro parcelas de 2,5 x 8 m.

Cada tratamento constituiu uma população específica, todas as populações com a mesma cultivar (Tabela 1).

Tabela 1 – Descrição do ensaio.

Tratamento	População esperada (mil)	População plantada (mil)	Sementes por linha	Sementes por bloco	Distância entre sementes (m)
1	200	220	88	440	0,91 m
2	250	275	110	550	0,727 m
3	300	330	132	660	0,606 m
4	350	385	154	770	0,519 m

Fonte: Autores, 2025.

Visando atingir as densidades de plantas desejadas, um excesso de 10% de sementes foi utilizado por parcela. A adubação de plantio foi realizada com a aplicação de 250 kg ha^{-1} de MAP e 200 kg ha^{-1} de cloreto de potássio. O manejo cultural incluiu capinas manuais aos 20 dias após a emergência, além de aplicações foliares de fungicida, herbicida e micronutrientes aos 40 dias, e de inseticida e fungicida aos 60 e 80 dias após a emergência. Nos últimos 40 dias do ciclo, não foram realizadas intervenções.

A colheita da soja foi realizada em 7 de abril de 2020, no *campus* de Barbacena. As plantas foram cortadas manualmente com roçadeira e os grãos foram separados utilizando um implemento acoplado a um trator. Os grãos colhidos foram pesados em uma balança digital de precisão.

Considerando a umidade relativa do ar (UR) de 13% no momento da colheita, realizou-se um ajuste para alcançar o teor de umidade recomendado de 15% (Embrapa, 2019).

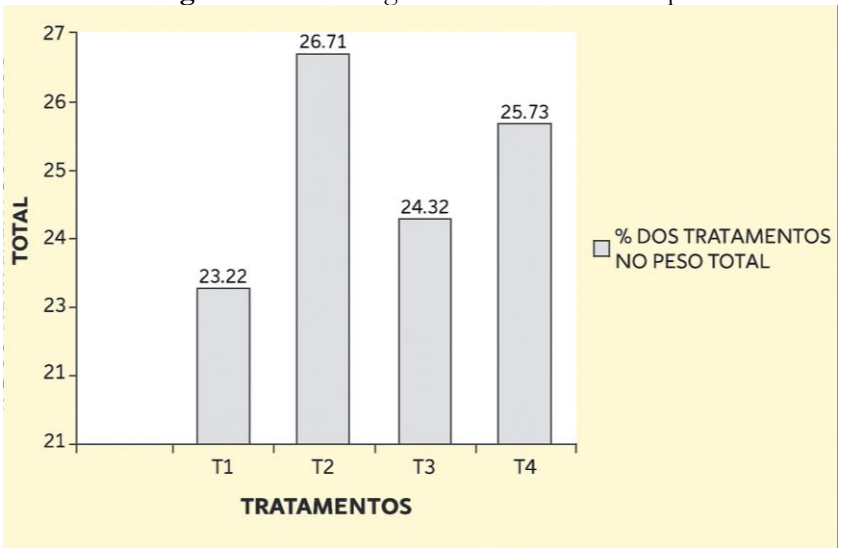
A fim de minimizar os efeitos de variabilidade ambiental, a área experimental foi dividida em blocos e os tratamentos foram alocados aleatoriamente dentro de cada bloco. O delineamento de blocos casualizados foi empregado, e a análise dos dados foi realizada por meio de análise de regressão no *software* R Studio.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A hipótese de que a densidade de plantio não afeta a produtividade da cultivar Única foi rejeitada pela análise de variância (ANOVA, *p-valor* = 0,03102). Os resultados demonstram que as diferentes densidades de plantio proporcionaram ambientes distintos, influenciando diretamente o rendimento de grãos.

A análise de regressão linear foi empregada para modelar a relação entre a variável resposta e os tratamentos quantitativos, permitindo avaliar a significância estatística de cada tratamento. A análise de regressão mostrou R^2 (*p-valor* = 0,0085) possui um efeito positivo e estatisticamente significativo sobre a variável dependente, que neste estudo tratou-se do rendimento do grão da soja, ou seja, à medida há alteração na densidade (variável independente), o rendimento se altera obrigatoriamente. Contudo a densidade do T1 não influenciou no rendimento da produção (Figura 1).

Figura 1 – Porcentagem dos tratamentos no peso total.



Fonte: Autores, 2025.

Após a conclusão do ensaio, a pesagem total da produção resultou em 113.260 kg. A análise da distribuição da produção entre os diferentes tratamentos, apresentada na Tabela 1, indicou que o tratamento T2, caracterizado por uma densidade de 250 mil plantas por hectare e espaçamento

Wissen Editora, 2026 |ISBN 978-65-85923-87-3|DOI: http://www.doi.org/10.52832/wed.191

entre linhas de 72 cm, superou os demais tratamentos, contribuindo com 26,71% da produção total. O desempenho superior do tratamento T2 pode ser explicado pelo espaçamento mais amplo, que é recomendado para cultivares de ciclo longo, como a utilizada neste estudo, com ciclo vegetativo de 115 a 120 dias. Esse espaçamento maior permitiu um maior desenvolvimento vegetativo e uma maior ramificação das plantas, favorecendo a produção de grãos.

A recomendação da Brax Genética (2020) para a utilização de populações entre 250 e 280 plantas por hectare em regiões como Barbacena mostrou-se adequada, conforme os resultados obtidos neste estudo. A pesquisa permitiu validar a indicação da empresa, demonstrando que a população de 250 mil plantas por hectare foi a mais produtiva nas condições edafoclimáticas da região.

Embora o tratamento T1 também apresentasse espaçamento amplo (91 cm), seu índice de produtividade (23,22%) foi inferior ao do tratamento T2. A análise dos resultados sugere que a competição entre plantas pode ter sido um fator limitante no tratamento T1. O fechamento mais lento do dossel nesse tratamento permitiu o estabelecimento de plantas espontâneas, que competiram com as plantas de soja por recursos essenciais ao crescimento e desenvolvimento, como luz, água e nutrientes. Essa competição pode ter reduzido tanto a quantidade quanto a qualidade da produção de grãos, tornando os grãos mais leves, conforme evidenciado por Heiffig *et al.* (2006). O período inicial da cultura da soja, especialmente os primeiros 80 dias, é crucial para o controle de plantas daninhas. Nesse estádio, a soja ainda não possui capacidade de competir efetivamente por recursos essenciais. A presença de plantas invasoras nesse período pode intensificar a competição, prejudicando o desenvolvimento da cultura e reduzindo a produtividade. Conforme Embrapa (2007), o fechamento do dossel da soja é um mecanismo natural de controle de plantas invasoras, uma vez que reduz a incidência de luz no solo, inibindo a germinação de sementes e o crescimento de plântulas. Além disso, elas podem servir como hospedeiras para diversas pragas e doenças, agravando os problemas fitossanitários da cultura.

Mesmo que o tratamento T4 tenha apresentado a maior densidade de plantas, com um espaçamento de apenas 51 cm entre linhas, seu rendimento foi levemente inferior ao do tratamento T2. As diferenças nas características do dossel, como incidência de luz, perfilhamento e altura de inserção da primeira vagem, entre os dois tratamentos, podem explicar essa pequena diferença na produtividade. A soja é uma cultura com alta plasticidade fenotípica, o que permite que ela se adapte a diferentes arranjos espaciais. No entanto, o menor espaçamento no T4 pode ter limitado o desenvolvimento individual das plantas, resultando em um ligeiro comprometimento da produtividade.

Wissen Editora, 2026 |ISBN 978-65-85923-87-3|DOI: http://www.doi.org/10.52832/wed.191

A literatura científica sugere que a densidade populacional ótima para a cultura da soja situa-se entre 200.000 e 350.000 plantas por hectare, com ajustes nos espaçamentos conforme as necessidades de cada cultivar e região. A definição da densidade populacional mais adequada para um determinado local depende de diversos fatores, como as características intrínsecas da cultivar (vigor, porte, ciclo), as propriedades do solo (fertilidade, textura) e as condições climáticas (temperatura, precipitação).

Andrade *et al.* (2012) demonstraram que o espaçamento afunilado pode elevar a produtividade de culturas. O crescimento mais rápido das plantas nesse sistema de plantio permite um fechamento precoce do dossel, suprimindo a competição com plantas daninhas e otimizando o uso da água e dos nutrientes do solo. Além disso, o espaçamento afunilado favorece a interceptação de radiação solar, aumentando a taxa fotossintética e consequentemente a produção de biomassa e grãos.

A redução de espaçamentos entre plantas pode aumentar a susceptibilidade da cultura à esclerotínia (*Sclerotinia sclerotiorum*), principalmente em regiões de alta altitude como Barbacena, a combinação de condições climáticas favoráveis e a alta densidade de plantas em espaçamentos reduzidos cria um ambiente propício para o desenvolvimento desse patógeno, aumentando o risco de ocorrência de mofo branco. Contrariando a ideia de que espaçamentos estreitos são mais adequados para cultivares precoces, contudo, o manejo fitossanitário eficaz permitiu controlar a incidência da doença, mesmo para um cultivar de ciclo mais longo e em espaçamentos reduzidos, o que implica a afirmar que se pode optar por uma densidade que priorize a produção, desde que atue de forma concisa no manejo fitossanitário.

Por fim, o T3 obteve um percentual de produtividade inferior aos tratamentos T2 e T4, mesmo com densidades populacionais diferentes. Essa diferença pode ser atribuída a diversos fatores, como competição intraespecífica, doenças, pragas ou condições climáticas adversas durante o desenvolvimento da cultura. Estudos mais detalhados seriam necessários para identificar a causa exata dessa menor produtividade.

4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos sugerem que a densidade de plantas é um fator importante a ser considerado no manejo da cultura, influenciando o rendimento de grãos. No entanto, os resultados deste estudo devem ser interpretados com cautela, uma vez que foram observadas variações consideráveis entre os tratamentos. Estudos futuros, com maior número de repetições e controle de variáveis adicionais, são necessários para confirmar os resultados e aprofundar o conhecimento sobre o tema.

Wissen Editora, 2026 |ISBN 978-65-85923-87-3|DOI: http://www.doi.org/10.52832/wed.191

REFERÊNCIAS

ABIOVE – Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. **Abiove**. [s.l.]: ABIOVE, [s.d.]. Disponível em: https://abiove.org.br/. Acesso em: 15 out. 2025.

ANDRADE, F. H. *et al*. Narrow rows improve soybean productivity. **Field Crops Research**, v. 127, p. 151–158, 2012.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G. Resposta da cultura da soja à densidade de semeadura em diferentes espaçamentos entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 7, p. 941–948, 2001.

BALL, R. A.; PURCELL, L. C.; VANTERPOOL, K. A. Soybean yield compensation in response to plant population and water regime. **Crop Science**, v. 40, p. 942–948, 2000.
BASF. Maiores produtores de soja. [S.l.]: BASF, [s.d.]. Disponível em: https://agriculture.basf.com/br/pt/conteudos/cultivos-e-sementes/soja/maiores-produtores.html. Acesso em: 15 out. 2025.

BAUDET, L.; PESKE, S. T. Qualidade de sementes e estabelecimento de plantas de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 1, p. 1–8, 2007.

BRASMAX. **Cultivares de soja:** Única. [S.l.]: Brasmax, 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2023/2024**. Brasília, DF: CONAB, 2024. Disponível em: https://www.conab.gov.br/. Acesso em: 15 out. 2025.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Soja em números: dados econômicos**. Londrina: Embrapa Soja, 2019. Disponível em: https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos. Acesso em: 25 mai. 2019.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil 2007**. Londrina: Embrapa Soja, 2007.

GAUDÊNCIO, C. A. et al. Efeito da densidade de semeadura sobre o rendimento de grãos de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25, n. 3, p. 329–336, 1990.

GARCIA, A. Aspectos produtivos e econômicos da soja e do milho no Brasil. ***Revista Campo & Negócios***, v. 10, n. 2, p. 15–22, 2020.

HEIFFIG, L. S. **Arquitetura de plantas e produtividade de soja em diferentes arranjos espaciais**. 2002. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, Piracicaba, 2002.

HEIFFIG, L. S. et al. Fechamento do dossel e produtividade de soja em diferentes populações de plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 5, p. 715–720, 2006.

HEITHOLT, J. J.; CAVINESS, C. E.; KNEBONE, D. L. Soybean leaf morphology and photosynthesis in response to plant population density. **Agronomy Journal**, v. 97, p. 1426–1431, 2005.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Portal INMET. Brasília, DF: INMET, [s.d.]. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/. Acesso em: 15 out. 2025.

JÚNIOR, C. R. *et al.* Efeito da densidade de plantio sobre o rendimento de soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38, n. 3, p. 456–462, 2015.

KOMORI, A. *et al.* Efeitos da densidade de semeadura e do espaçamento entre linhas sobre a produtividade da soja. **Ciência Rural**, v. 34, n. 1, p. 13–19, 2004.

LUDWIG, M. P. *et al.* Densidade de semeadura e rendimento de grãos de soja. **Bragantia**, v. 66, n. 2, p. 257–265, 2007.

MARTINS, M. B. G.; FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L. Influência da densidade de plantas no crescimento e produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 7, p. 1217–1222, 1999.

MAUAD, M. *et al.* Influência da densidade de semeadura sobre o crescimento e produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 4, p. 424–432, 2010.

PELÚZIO, J. M.; BARROS, H. B.; JUNIOR, V. D. Efeito da densidade de semeadura na produtividade de soja em diferentes espaçamentos entre linhas. **Revista Ceres**, v. 49, n. 281, p. 45–54, 2002.

PIRES, J. L. F. et al. Efeito da densidade de semeadura na produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 4, p. 843–849, 2000.

PIRES, J. L. F. et al. Efeitos da densidade de plantas e do espaçamento entre fileiras sobre o rendimento de grãos de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 7, p. 961–968, 1998.

RAMBO, L. et al. Densidade de plantas e arranjo espacial em soja. **Ciência Rural**, v. 33, n. 3, p. 391–396, 2003.

REZENDE, P. M. et al. Efeito da densidade de plantio na produtividade de soja. ***Revista Ciência e Agrotecnologia***, v. 28, n. 1, p. 107–113, 2004.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais:** 5ª aproximação. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999.

RIGSBY, L. L.; BOARD, J. E. Soybean yield responses to plant population and row spacing. **Agronomy Journal**, v. 95, p. 1012–1016, 2003.

SILVA, J. B. Aspectos fisiológicos da cultura da soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 21, n. 2, p. 45–52, 1998.

TOURINO, M. C. C.; REZENDE, P. M.; SILVA, A. A. Densidade de plantas e produtividade de soja em diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 8, p. 1071–1077, 2002.

USDA – United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. Oilseeds: World Markets and Trade. Washington, D.C.: USDA, 2024. Disponível em: https://www.fas.usda.gov/. Acesso em: 15 out. 2025.

CAPÍTULO 4

MODELAGEM PARA ESTIMATIVA NÃO-DESTRUTIVA DE ÁREA FOLIAR DO FEIJÃO-CAUPI [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] VARIEDADE PAULISTINHA

MODELING FOR NON-DESTRUCTIVE ESTIMATION OF LEAF AREA OF COWPEA [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] VARIETY PAULISTINHA

Maria Fernanda Guenes da Silva
Mestranda em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Areia-PB, Brasil

Rosana Araujo Martins Lucena
Mestranda em Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande, Brasil

Dayvid Mendes dos Santos
Graduado em Tecnologia em Agroecologia, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande-PB, Brasil

Ana Clara Anselmo Couto
Graduanda em Agronomia, Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Lagoa Seca-PB, Brasil

Denis Leandro Medeiros
Graduando em Agronomia, Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Lagoa Seca-PB, Brasil

Semako Ibrahim Bonou
Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande- PB, Brasil

Guilherme Felix Dias
Doutorando em Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande-PB, Brasil

Pâmela Monique Valões da Cruz
Mestranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande-PB, Brasil

Agda Malany Forte de Oliveira
Pós-Doutoranda em Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande-PB, Brasil

Rener Luciano de Souza Ferraz
Pós-Doutor em Ciências Agrárias pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Docente do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais (CCAA), Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Lagoa Seca-PB, Brasil

DOI: 10.52832/wed.191.1088

Resumo: O feijão-caupi é uma espécie de grande importância econômica, sociocultural e ambiental, sendo empregada para múltiplos usos. O estudo teve como objetivo ajustar modelos de regressão para estimar, de forma não destrutiva, a área foliar de folíolos de feijão-caupi, variedade Paulistinha, utilizando medidas lineares de comprimento, largura e o produto entre essas variáveis. A pesquisa foi realizada no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da UFCG, onde foram coletados 335 folíolos provenientes de plantas cultivadas em condições de campo. Para cada amostra, foram registrados dados do comprimento e a largura dos folíolos, sendo a área real posteriormente determinada por meio de processamento digital de imagens com o *software ImageJ*. Os dados foram submetidos a análises descritivas, teste de normalidade, avaliação de colinearidade e ajuste de modelos lineares simples. Três modelos foram testados, relacionando a área foliar observada com as variáveis comprimento (C), largura (L) e o produto entre comprimento e largura (CL). Os resultados demonstraram que todas as variáveis apresentaram forte correlação com a área foliar, porém o modelo baseado no produto CL se destacou por apresentar melhor desempenho estatístico, com coeficiente de determinação ajustado de 0,95 e menor erro na estimativa. O modelo final para estimar a área foliar foi AFE = 1,85 + 0,69×CL. Conclui-se que modelos alométricos são ferramentas eficientes e precisas para estimativas não destrutivas da área foliar do feijão-caupi, permitindo avaliações rápidas, de baixo custo e sem necessidade de remoção dos folíolos. Essa abordagem apresenta potencial para apoiar estudos agronômicos, fisiológicos e práticas de manejo voltadas ao aprimoramento da produtividade da cultura.

Palavras-chave: Medições Lineares. Agroecologia. Folíolos.

Abstract: Cowpea is a species of great economic, sociocultural, and environmental importance, and is used for multiple purposes. The aim of this study was to adjust regression models to estimate, non-destructively, the leaf area of cowpea leaflets, variety Paulistinha, using linear measurements of length, width, and the product of these variables. The research was conducted at the Center for Sustainable Development of the Semiarid Region of UFCG, where 335 leaflets were collected from plants grown under field conditions. For each sample, data on the length and width of the leaflets were recorded, and the actual area was subsequently determined through digital image processing using *ImageJ software*. The data were subjected to descriptive analyses, normality testing, collinearity assessment, and fitting of simple linear models. Three models were tested, relating the observed leaf area to the variables length (C), width (L), and the product of length and width (CL). The results showed that all variables had a strong correlation with leaf area, but the model based on the CL product stood out for having better statistical performance, with an adjusted coefficient of determination of 0.95 and lower estimation error. The final model for estimating leaf area was LAI = 1.85 + 0.69 × CL. It is concluded that allometric models are efficient and accurate tools for non-destructive estimation of cowpea leaf area, allowing for quick, low-cost assessments without the need to remove the leaflets. This approach has the potential to support agronomic and physiological studies and management practices aimed at improving crop productivity.

Keywords: Linear Measurements. Agroecology. Leaflets.

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] é uma espécie de leguminosa amplamente cultivada em países tropicais e subtropicais, onde se destaca como um dos principais componentes da dieta alimentar da população devido ao seu alto valor nutritivo (Varela *et al.*, 2019).

Diferentemente do cenário de produção do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), o cultivo do feijão-caupi no Nordeste brasileiro tem demanda crescente e atingiu 1,05 milhão de hectares de área cultivada e produção de 409,3 mil toneladas na safra 2018/2019, o que representa 67% da produção área cultivada e 55% da produção total de feijão nesta região (CONAB, 2019).

Segundo dados da CONAB (2021), na safra 2019/2020, o Brasil apresentou uma área plantada correspondente a 1.307.800,00 ha, com produção de 712,6 mil toneladas dessa leguminosa, sendo os maiores produtores os estados do Mato Grosso (150.600 ton.), Ceará (144.900 ton.) e Bahia (109.600 ton.).

O cultivo do feijão-caupi é de extrema importância, pois gera emprego e renda para pequenos e médios agricultores (Camara *et al*., 2018). A adaptabilidade às condições de seca, baixo custo de produção, curto tempo para completar o ciclo fenológico e produção de sementes em condições edafoclimáticas adversas são características que aumentam seu cultivo e relevância para a economia local (Martins *et al*., 2018).

No Brasil, o feijão-caupi é cultivado principalmente nas regiões Norte e Nordeste. Destaca-se nestas regiões pela contribuição relevante na renda da população através da comercialização de diversas cultivares até então lançadas no mercado (Rocha *et al*., 2017).

De acordo com Freire Filho e Costa (2020), o caupi é uma cultura geradora de postos de ocupação econômica e de trabalho formal, suprindo uma cadeia produtiva que se estende do agricultor familiar e de grandes empreendimentos agrícolas, passando por diversos atores da área de processamento, do comércio atacado e de varejo até o consumidor, nas pequenas e médias cidades e nos grandes centros urbanos.

A área foliar influencia diretamente os processos vitais das plantas, que incluem as trocas gasosas e a interceptação da irradiância (Córcoles *et al*., 2015). A forma e a quantidade de luz interceptada é fator determinante para a fotossíntese e interfere diretamente na aquisição de recursos essenciais para a formação de carboidratos (Mattos *et al*., 2020), portanto, a energia luminosa captada pelas folhas de uma cultura é fundamental para moldar seu crescimento (Liu *et al*., 2021).

Os métodos para estimar a área foliar podem ser diretos ou indiretos e diferem em plantas de amostragem destrutiva ou não-destrutiva. Os métodos diretos são economicamente inviáveis, limitados por fatores logísticos e impedem medições sucessivas de folhas (Hernandez-Fernandez *et al*., 2021). Por outro lado, um método indireto não-destrutivo de determinação da área foliar é por meio de relações alométricas e considera a proporcionalidade das dimensões lineares das folhas (Santos *et al*., 2021). Para monitorar o desenvolvimento foliar e quantificar um modelo de regressão

que estime a área foliar, é necessário o uso de métodos de processamento digital, ferramentas viáveis, precisas e econômicas para as culturas (Sauceda-Acosta *et al.*, 2017).

O presente trabalho teve como objetivo ajustar modelos de regressão para estimar, de forma não-destrutiva, a área foliar de folíolos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), variedade Paulistinha.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O cultivo do genótipo de feijão-caupi foi realizado no Campo Experimental do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido (CDSA), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), localizado no município de Sumé - PB, nas coordenadas de Latitude 7° 40' 18" S; Longitude 36° 52' 54" W e altitude de 518 m acima do nível do mar.

O clima local, segundo a classificação de Köppen-Geiger, é do tipo Bsh (semiárido quente), com temperatura média anual de 26 °C e precipitação pluviométrica média anual de 600 mm. Durante o cultivo, dados meteorológicos foram coletados de uma estação agrometeorológica automática instalada próximo da área.

A semeadura foi realizada no ano de 2022 feita de forma direta, com parcela possuindo tamanho de 1,5m de comprimento x 2 m de largura, espaçadas de 10 cm e três linhas com 50 cm, contabilizando um total de 60 plantas.

Foram utilizados 335 folíolos de *Vigna unguiculata* (L.) Walp variedade Paulistinha, e após a coleta, as amostras foram levadas para serem processadas.

A irrigação ocorreu diariamente no período da manhã e foi utilizado o método de irrigação localizada e um sistema de irrigação tipo gotejamento.

O manejo de plantas espontâneas foi realizado por método mecânico utilizando-se de enxadas e arranquio manual nas proximidades das plantas. Para o controle de insetos praga, foi utilizado o óleo de Nim (*Azadirachta indica* A. Juss), conforme recomendação de (Silva *et al.*, 2011) para a cultura do feijão-caupi.

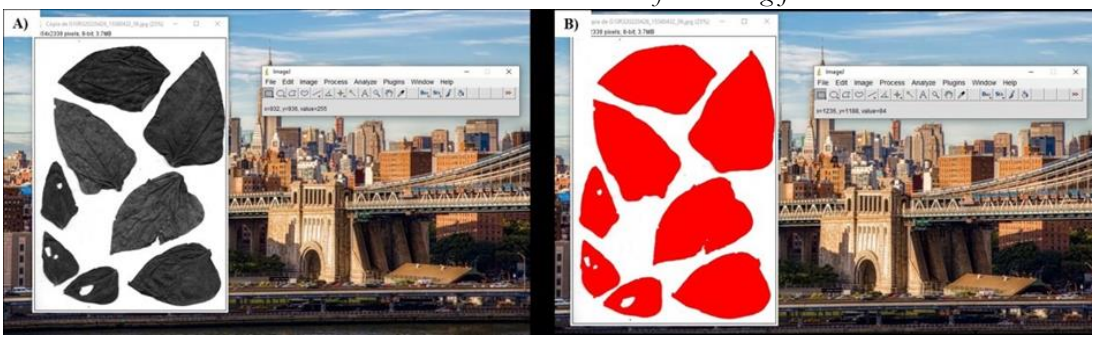
Para análise físico-química do solo foram retiradas amostras do solo representativas da área, na profundidade de 0-20 cm. Foram coletadas dez amostras simples submetidas ao processo de homogeneização, obtendo-se ao final uma amostra composta. As amostras foram submetidas a análises físico-químicas e hídricas, cujos resultados foram: pH em H_2O = 7,81; P = 3,28 mg g^{-1}; K = 0,68 mmolc dm^{-3}; Na = 0,38 $mmol_c$ dm^{-3}; Ca = 7,75 mmolc dm^{-3}; Mg = 5,85 $mmol_c$ dm^{-3}; Al = 0,0 $mmol_c$ dm^{-3}; H + Al = 0,0 $mmol_c$ dm^{-3}; T = 14,66 $mmol_c$ dm^{-3}; V = 33,33%; M.O. = 1,34%; CE (Extrato de saturação) = 0,70; areia = 68,12%; silte = 26,46%; argila = 5,42%; densidade do solo = 1,27 g cm^{-3}; densidade de partículas = 2,69 g cm^{-3}; porosidade = 52,79%; umidade natural

= 0,40%; água disponível = 8,65%; classe textural = franco arenoso e classificado como Luvissolo Crômico.

Após a realização das medidas morfométricas em uma sala na própria UFCG, os folíolos foram distribuídos em uma superfície contrastante de cor branca e digitalizados em uma impressora multifuncional Epson® EcoTank L396, adotando uma régua graduada em milímetros como referência de medida na imagem.

As medidas reais da área dos folíolos foram realizadas com o *software ImageJ*®, disponível gratuitamente na internet (http://rsbweb.nih.gov/ij/)(Figura 1). Este *software* captura a imagem dos folíolos e, através de procedimentos de contraste de cores, calcula a área total (Holgín *et al.*, 2019).

Figura 1 - Medições de comprimento, largura e área de folíolos da variedade crioula de feijão-caupi Paulistinha utilizando-se do *software ImageJ*®.



Fonte: Acervo da equipe de pesquisa (2023).

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk, 1965) e às análises estatísticas descritivas para cálculo da média aritmética amostral, desvio padrão amostral, valor mínimo e máximo. Posteriormente, os folíolos foram classificados de acordo com o comprimento, a largura e a área (pequenos, médios e grandes).

As classes pequena e grande foram baseadas no primeiro e terceiro quartis da curva de distribuição normal de frequências de comprimento (C, cm), largura (L, cm) e área foliar observada (AFO, cm^2). Os folíolos completos cujo as medidas de comprimento, largura e área que forem equidistantes entre grandes e pequenas foram consideradas como médias (Souza *et al.*, 2019). Para tanto, foi utilizado o *software* Microsoft Excel (Winston, 2016).

Para evitar a perda de precisão nas estimativas dos coeficientes de regressão, antes de ajustar os modelos alométricos entre a área observada dos folíolos e as medidas de comprimento e largura, avaliou-se o grau de colinearidade entre as medidas de C e L. Para isso, o fator de inflação de variância (FIV) foi calculado pelo método de Marquardt (1970), descrito por (Wang *et al.*, 2019).

$$FIV = 1 / 1 - r^2 \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

FIV - fator de inflação da variância; e, r - coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis regressoras C e L.

Ressalta-se que, se o valor de FIV for maior que 10, isso indica que C e L possuem multicolinearidade e, portanto, deverão ser desconsiderados para ajuste de modelos empíricos para predizer a área foliar; se o valor FIV for menor que 10, a multicolinearidade entre C e L é insignificante, de modo que estas medidas dos folíolos poderão ser mantidas no ajuste dos modelos.

Atendido o pressuposto de não haver multicolinearidade, foi modelada a relação entre a área foliar com as dimensões lineares de comprimento (C, cm) e largura (L, cm) dos folíolos ou o produto entre estas variáveis (CL, cm^2), por meio dos modelos descritos nas equações 2, 3, 4.

$$AFE = \beta 0 + \beta 1 \times C \quad \text{Eq.2}$$

$$AFE = \beta 0 + \beta 1 \times L \quad \text{Eq.3}$$

$$AFE = \beta 0 + \beta 1 \times CL \quad \text{Eq.4}$$

Onde:

AFE - área foliar estimada e representa a variável dependente;

$\beta 0$ e $\beta 1$ - parâmetros a serem estimados;

C - variável independente comprimento;

L - variável independente largura; e

CL - variável independente representada pelo produto do C pela L do folíolo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base no resumo das análises descritivas, verificou-se que os folíolos de feijão-caupi da variedade Paulistinha possuem comprimento médio de 10,92 ± 8,57 cm, com valores variando de 4,51 cm a 17,17 cm e coeficiente de variação percentual de 22,97% de modo que folíolos com comprimento menor ou igual a 8,57 cm são considerados pequenos, aqueles com comprimento maior que 8,57 cm e menor ou igual a 12,87 cm são médios e aqueles com comprimento maior que 12,87 cm são grandes.

A largura média dos folíolos foi de 7,20 ± 1,87 cm, variando de 3,15 a 11,20 cm, com coeficiente de variação percentual de 25,92%, sendo considerados pequenos folíolos com largura menor ou igual a 5,83 cm, aqueles com largura maior que 5,83 cm e menores ou iguais a 8,51 cm foram considerados médios e aqueles com largura maior que 8,51 cm foram considerados grandes.

Com relação à área dos folíolos, verificou-se que os folíolos apresentaram área média de 59,05 ± 25,05 cm^2, com valores variando de 9,40 cm^2 a 111,79 cm^2, com coeficiente de variação percentual de 42,78%. Folíolos com área menor ou igual a 45,53 cm^2 foram classificados como pequenos, aqueles com área maior que 43,53 cm^2 e menor ou igual a 77,66 cm^2 foram classificados como médios e aqueles com área maior que 77,66 cm^2 foram classificados como grandes (Tabela 1).

Tabela 1 - Resumo da análise descritiva e estimativa de classes de tamanho a partir das dimensões lineares e área dos folíolos de feijão-caupi, variedade Paulistinha.

Parâmetros	Dimensões lineares e área de folíolos usados para ajustar modelos			
	Comprimento (C, cm)	Largura (L, cm)	C×L	Área (AFO, cm^2)
Média	10,92	7,20	82,60	59,05
Desvio padrão	2,75	1,87	35,61	25,26
Mínimo	4,51	3,15	13,44	9,40
Máximo	17,17	11,20	163,51	111,79
CV%	22,97	25,92	43,11	42,78
Estimativa de Classes	Intervalo de Classes			
Classe de Folíolos Pequenos	≤ 8,57	≤ 5,83	≤ 63,46	≤ 43,53
Classe de Folíolos Médios	> 8,57 ≤ 12,87	> 5,83 ≤ 8,51	> 63,46 ≤ 113,49	> 43,53 ≤ 77,66
Classe de Folíolos Grandes	> 12,87	> 8,51	> 113,49	> 77,66

Fonte: Acervo da equipe de pesquisa.

Observou-se que, para cada cm^2 de incremento no comprimento do folíolo, há um aumento significativo de 9,37 ± 0,23 cm^2 na área do folíolo, sendo que o comprimento do folíolo explica 86% da área do folíolo. A largura do folíolo explica 88% da área do folíolo, e cada cm de largura estima uma área de 12,68 ± 0,29 cm^2. O produto entre comprimento e largura do folíolo explica 95% da área do folíolo, e para cada cm^2 do produto estima-se uma área de 0,69 ± 0,01 cm^2 (Tabela 2).

Esses resultados indicam que o produto entre comprimento e largura do folíolo tem maior capacidade preditiva e menor dispersão, devido ao maior coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado = 0,98) e menor desvio padrão estimado. Esta informação é ratificada por vários autores (Keramatlou *et al.*, 2015; Tondjo *et al.*, 2015; Cai; Di Jin., 2017; Liu *et al.*, 2017), que estudaram o

ajuste de modelos de regressão para estimar a área foliar de espécies vegetais a partir de medidas de comprimento e largura foliar.

Tabela 2 - Coeficientes ± erros padrão, valor F calculado e coeficiente de determinação ajustado dos modelos de regressão entre a área observada dos folíolos e as dimensões lineares dos folíolos do feijão-caupi, variedade Paulistinha.

Modelos	Coeficientes e estatísticas dos modelos			
	β_0	β_1	Fcalculado	R^2Ajustado
$AFE = \beta_0 + \beta_1 \times C$	-43,21±2,58	9,37±0,23**	1659,66	0,86
$AFE = \beta_0 + \beta_1 \times L$	-32,27±2,18	12,68±0,29**	1866,12	0,88
$AFE = \beta_0 + \beta_1 \times CL$	1,85±0,86	0,69±0,01**	5236,83	0,95

Nota: AFE – Área foliar estimada; β_0 - coeficiente linear da regressão; β_1 - coeficientes angulares da regressão; C - comprimento do folíolo; L - largura do folíolo; F - valores calculados do teste de Fisher; R^2 - coeficiente de determinação ajustado.

Fonte: Acervo da equipe de pesquisa.

A procura por aumento de produção para atender a demanda ocasionada pelo crescimento populacional, possui duas barreiras: alcance do potencial produtivo dos genótipos e limitação na abertura de novas áreas. O avanço em novas áreas agrícolas, pensando na preservação dos ecossistemas, não é a melhor opção. Sendo assim, manejos que busquem otimizar os recursos e diminuir a lacuna produtiva nas lavouras é a melhor opção. Neste sentido, o ajuste de modelos para estimativa de área foliar dos novos genótipos de feijão-caupi contribui para o incremento de tecnologias no campo visando aumento de produção da cultura (Souza *et al.*, 2019).

Estudos para estimativa da área foliar de diversas culturas por meio de modelos alométricos, utilizando o comprimento, a largura e o produto do comprimento pela largura, são realizados, sendo as estimativas em que se utiliza apenas o comprimento ou a largura as mais indicadas, pois diminuem assim, as chances de erros experimentais, uma vez que reduz o número de variáveis aferidas, além de otimizar o tempo de avaliação (Figueiredo *et al.*, 2012).

Em trabalhos objetivando estimar a área foliar de pupunheiras (Ramos *et al.*, 2008), e girassol (Aquino *et al.*, 2011) foram encontradas diferenças nas estimativas das áreas foliares por meio das relações alométricas, corroborando com os resultados obtidos no presente trabalho. Essas diferenças alométricas podem ser associadas às condições climáticas, idade das folhas,

características nutricionais e de desenvolvimento da cultura. Isso justifica o fato de os modelos apresentarem certa incerteza, ou seja, valores de R^2 diferentes de 1.

Carvalho e Christoffoleti (2007) consideram essas diferenças normais, e salientaram que nesse sentido, supõe-se que a disponibilidade de luz para atividade fotossintética é um dos fatores que mais pode alterar o tamanho das folhas e, também, a estimativa do parâmetro.

Resultados semelhantes foram observados por Araújo et al. (2005) em estudos realizados com as cultivares de mangueira Tommy Atkins e Haden. Ao estimarem a área foliar pela regressão linear utilizando o comprimento, a largura e o produto do comprimento pela largura, também encontraram que as estimativas em que se utilizou o produto do comprimento pela largura apresentaram maior precisão, com valor de R^2 igual a 0,99 para a cv. Haden e 0,93 para a cv. Tommy Atkins, e encontraram menor precisão quando utilizaram apenas uma das medidas lineares.

Lima *et al.* (2008), trabalhando com a cultura do feijão-caupi, verificaram que as equações que envolveram duas medidas, a soma e o produto, apresentaram melhor ajuste. Esses resultados mostram que todos os modelos apresentaram uma elevada precisão no processo de estimativa da área foliar, sendo constatados também nos trabalhos de Toebe *et al.* (2012) e Lima *et al.* (2008) para cultura de feijão.

4 CONCLUSÃO

Os modelos alométricos podem ser usados com alta precisão para estimar a área foliar do feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] variedade Paulistinha com o método não-destrutivo, a partir das medições lineares de comprimento, largura e o produto do comprimento pela largura do folíolo.

A área dos folíolos de feijão-caupi variedade Paulistinha pode ser estimada pelo modelo AFE = 1,85 + 0,69×CL.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande pelo suporte institucional ao desenvolvimento deste trabalho. Este estudo contou com financiamento da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Reconhecemos, ainda, o apoio da Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba, por meio da Chamada FAPESQ-PB/CNPq nº 77/2022, e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelos recursos referentes ao Processo 408952/2021-0, Chamada CNPq/MCTI/FNDCT nº 18/2021 – Faixa B – Grupos Consolidados, e ao Processo 307559/2022-0, Chamada 09/2022 – PQ.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, E. C. E.; SANTOS, E. P.; PRADO, C. H. B. A. Estimativa da área foliar da mangueira (*Mangifera indic*a L.) cvs. Tommy Atkins e Haden, utilizando dimensões lineares. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, p. 308-309, 2005.

AQUINO, L. A.; SANTOS JÚNIOR, V. C.; GUERRA, J. V. S.; COSTA, M. M. Estimativa da área foliar do girassol por método não destrutivo. **Bragantia**, v. 70, p. 832-836, 2011. ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. **Roma: FAO**, 1998. 300p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

CÓRCOLES, A. D.; MAGESAN, E.; SRINIVASAN, S. J.; CROSS, A. W.; STEFFEN, M.; GAMBETTA, J. M. E.; CHOW, J. M. Demonstration of a quantum error detection code using a square lattice of four superconducting qubits**. Nature Communications**, v. 6, p. 6979, 2015.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. V. 8-safra 2020/2021, nono levantamento, junho 2021.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira: Décimo segundo levantamento de grãos. Safra 2018/2019. Brasília: Conab, v. 6, 2019. 126p.

CAMARA, F. T.; MOTA, A. M. D.; NICOLAU, F. E. A.; PINTO, A. A.; SILVA, J. M. F. Produtividade de feijão-caupi crioulo em função do espaçamento entre linhas e número de plantas por cova**. Revista de Agricultura Neotropical**, v. 5, p. 19-24, 2018.

CARVALHO, S. J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Estimativa da área foliar de cinco espécies do gênero Amaranthus usando dimensões lineares do limbo foliar. **Planta Daninha**, v. 25, p. 317-324, 2007.

FREIRE FILHO, F. R.; COSTA, A. F. Feijão-caupi: classificação botânica e importância. *In:* **Cadernos do Semiárido riquezas & oportunidades / Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Pernambuco**, v. 17, p. 17-20, 2020.

FIGUEIREDO, E. S.; SANTOS, M. E.; GARCIA, A. Modelos de determinação nãodestrutiva da área foliar do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Nucleus**, v. 9, p.7984, 2012.

HERNANDÉZ-FERNANDEZ, IA, JARMA-OROZCO, A. E POMPELLI, MF (2021). Modelos alométricos para medição não destrutiva da área foliar da estévia: uma análise profunda e completa. **Horticultura Brasileira**, v. 39, p. 205-215.

HOLGUÍN, V. A. Estimation of leaf area of Tithonia diversifolia using allometric equations. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 22, p. 231-238, 2019.

KERAMATLOU, I. et al. A simple linear model for leaf area estimation in Persian walnut (*Juglans regia* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 184, p. 36-39, 2015.

LIMA, C. J. G. S.; OLIVEIRA, F. A; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, M. K. T.; OLIVEIRA FILHO, A. F. Modelos matemáticos para estimativa da área foliar de feijão-caupi. **Revista Caatinga,** v. 21, p. 120-127, 2008.

LIU, S., BARET, F., ABICHOU, M., MANCEAU, L., ANDRIEU, B., WEISS, M. E MARTRE, P. (2021). Importância da descrição da interceptação luminosa em modelos de crescimento de culturas. **Plant Physiology**, 186, 977-997.

MATTOS, E. M.; BINKLEY, D., CAMPOE OC, ÁLVARES, CA E STAPE, JL (2020). Variação na estrutura da copa, área foliar, interceptação luminosa e eficiência no uso da luz entre clones de Eucalyptus. **Forest Ecology and Management**, v. 463, p. 118038.

MARQUARDT, D. W. **Generalized inverse, ridge regression and biased linear estimation. Technometrics**, 12:591-612, 1970.

RAMOS, A.; BOVI, M. L. A.; FOLEGATTI, M.V.; DIOTTO, A. V. Estimativas da área foliar e da biomassa aérea da pupunheira por meio de relações alométricas. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 138-143, 2008.

ROCHA, M. M. *et al*. Yield adaptability and stability of semi-prostate cowpea genotypes in the Northeast region of Brazil by REML/BLUP. **Revista Ciência Agronômic**a, v.48, p. 879-888, 2017.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). **Biometrika Trust**, v. 52, p. 591-609, 1965.

SANTOS, J. N. B.; JARMA-OROZCO, A.; ANTUNES, W. C.; MENDES, K. R.; FIGUEIRO A. J. M.; PESSOA, J. M. E.; POMPELLI, M. F. Novas abordagens para prever a área foliar de espécies arbóreas lenhosas da Mata Atlântica, Brasil. **Austral Ecology**, v. 46, p. 613-626, 2021.

SAUCEDA-ACOSTA, CP, GONZALEZ-HERNANDEZ, VA, SANCHEZ-SOTO, BH, SAUCEDA-ACOSTA, R. H.; RAMIREZ-TOBIAS, H. M. E.; QUINTANA-QUIROZ, J. G. MACF-IJ, método automatizado para medição de cor e área foliar por meio de imagens digitais. **Agrociência**, v. 51, p. 409-423, 2017.

SILVA, D. C. O.; ALVES, J. M. A.; ALBUQUERQUE, J. A. A.; LIMA, A. C. S.; VELOSO. M. E. S.; SILVA, L. S. Controle de insetos-praga do feijão-caupi na savana de Roraima. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 5, p. 212-219, 2011.

SOUZA, L. F. et al. Sementes crioulas de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) para cultivo agroecológico Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds for agroecological cultivation. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 14, p. 33-40, 2019.

TOEBE, M.; FILHO, A.C.; BURIN, C.; FICK, A.L.; MARIO, I.; NEU, M.; CASAROTTO, G.; ALVES, B.M. Modelos para a estimação da área foliar de feijão de porco por dimensões foliares. **Bragantia**, v.71, p.37-41, 2012.

TONDJO, K. *et al*. **Non-destructive measurement of leaf area and dry biomass in Tectona grandis Trees**, v. 29, p. 1625-1631, 2015.

VARELA, A. L. N.; OLIVEIRA, J. T. A.; KOMATSU, S.; SILVA, R. G. G.; MARTINS, T. F.; SOUZA, P. F. N.; LOBO, A. K. M. VASCONCELOS, I. M.; CARVALHO. F. E. L.; SILVEIRA, J. A. G. A resistant cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) genotype became susceptible to cowpea severe mosaic virus (CPSMV) after exposure to salt stress. **Journal of Proteomics**, v. 194, p. 200-217, 2019.

WANG, Y. *et al*. Empirical models for measuring the leaf area and leaf mass across growing periods in broadleaf species with two life histories. **Ecological Indicators**, v. 102, p. 289-301, 2019.

WINSTON, W. Microsoft Excel data analysis and business modeling. **Microsoft press**, 2016.

Wissen Editora, 2026 |ISBN 978-65-85923-87-3|DOI: http://www.doi.org/10.52832/wed.191

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DE COMPOSTOS FENÓLICOS POR HPLC-UV E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ALELOPÁTICO DE SEIS ESPÉCIES VEGETAIS

ANALYSIS OF PHENOLIC COMPOUNDS BY HPLC-UV AND EVALUATION OF THE ALLELOPATHIC POTENTIAL OF SIX PLANT SPECIES

Edjane Vieira Pires
Doutora em ciências pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL), docente do Curso de Química, Universidade Estadual de Alagoas (UNEAL), Palmeira dos Índios-AL, Brasil

Erika Matias da Silva
Doutor em Ciências pela Universidade de São Paulo (USP), Docente do Centro de Ciências da Natureza (CCN), Departamento de Biologia, Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina-PI, Brasil

Cenira Monteiro de Carvalho
Doutora em biotecnologia pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió- AL, Brasil

Johnnatan Duarte de Freitas
Doutor em Ciências pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Docente do Curso de Química, Instituto Federal de ALagoas (IFAL), Maceió-AL, Brasil

DOI: 10.52832/wed.191.1089

Resumo: O uso de herbicidas sintéticos está associado a riscos à saúde humana e a impactos ambientais e econômicos. Este estudo investigou alternativas naturais com foco nas propriedades alelopáticas de seis espécies vegetais, por meio da análise de compostos fenólicos. Extratos etanólicos das cascas do caule foram preparados em diferentes concentrações (25, 50, 75 e 100%) e submetidos à análise por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência com detector UV (CLAE-UV). Foram realizados bioensaios de germinação e crescimento inicial de *Lactuca sativa* em laboratório. Doze compostos fenólicos foram alvo da análise, dos quais nove foram detectados entre as espécies. Todos os extratos apresentaram efeito inibitório na germinação, com destaque para *Delonix regia* e *Amburana cearensis*, que demonstraram maior potencial alelopático. Os resultados indicam o uso promissor dessas espécies no desenvolvimento de bioherbicidas como alternativa sustentável ao manejo de plantas daninhas.

Palavras-chave: bioherbicida. composição fenólica. alelopatia.CLAE.

Abstract: The use of synthetic herbicides is associated with risks to human health and environmental and economic impacts. This study investigated natural alternatives by focusing on the allelopathic properties of six plant species through the analysis of phenolic compounds. Ethanolic extracts from stem bark were prepared at different concentrations (25, 50, 75, and 100%) and analyzed using High-Performance Liquid Chromatography with UV detection (HPLC-UV). Germination and initial growth bioassays of *Lactuca sativa* were conducted under laboratory conditions. Twelve phenolic compounds were targeted in the analysis, nine of which were detected among the species. All extracts exhibited inhibitory effects on germination, with *Delonix regia* and *Amburana cearensis* showing the highest allelopathic potential. The results suggest that these species are promising for the development of bioherbicides as a sustainable alternative for weed management.

Keywords: bioherbicide. phenolic composition. allelopathy. HPLC.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é reconhecido como o país mais biodiverso do mundo (Sano *et al.*, 2019). Seu setor agrícola desempenha um papel vital tanto na economia nacional quanto na segurança alimentar. Em 2024, o agronegócio representou 49% de todas as exportações, contribuindo significativamente para um superávit comercial de US$ 164,4 bilhões (Brasil, 2025; Ministério da Agricultura e Pecuária, 2025). Além disso, o país é considerado referência global em produção agropecuária, mesmo diante de desafios ambientais crescentes (World Economic Forum, 2024).

Diante disso, práticas eficazes de manejo de pragas e plantas daninhas são essenciais, uma vez que infestações não controladas podem causar perdas econômicas severas e, muitas vezes, irreversíveis. O controle de plantas daninhas é geralmente realizado por meio da aplicação de herbicidas. No entanto, métodos químicos podem representar riscos ao meio ambiente e à saúde humana (Casimero *et al.*, 2022). O uso prolongado de herbicidas tem sido associado a diversos problemas de saúde, incluindo distúrbios reprodutivos, danos neurológicos, disfunções pancreáticas, câncer e silicose (Bhardwaj; Sharma, 2013). Além disso, herbicidas muitas vezes são

inacessíveis para agricultores familiares e incompatíveis com sistemas de cultivo orgânico, contexto reforçado em agendas ambientais internacionais como a COP 30 (World Economic Forum, 2024).

Assim, cresce o interesse por estratégias alternativas de manejo que sejam eficazes e ambientalmente sustentáveis. Entre elas, destaca-se o uso de bioherbicidas derivados de plantas com potencial alelopático. Segundo Cheema *et al.* (2012), aleloquímicos vegetais têm sido utilizados com sucesso em combinação com doses reduzidas de herbicidas sintéticos.

O termo Alelopatia, refere-se aos efeitos benéficos ou prejudiciais que uma planta (ou microrganismo) pode exercer sobre outro organismo, por meio da liberação de compostos químicos no ambiente (Rice, 1994). Neste contexto os compostos fenólicos são uma classe de metabólitos secundários, frequentemente envolvidos na atividade alelopática. Esses compostos podem interferir em diversos processos fisiológicos nas plantas, como divisão e alongamento celular, permeabilidade da membrana, absorção de nutrientes, fotossíntese, respiração, ação enzimática, síntese hormonal e produção de proteínas (John; Sarada, 2012; Kumar *et al.*, 2024). Por exemplo, em um estudo com *Canavalia ensiformis* L., extratos etanólicos inibiram tanto o percentual de germinação quanto o índice de velocidade de germinação de *Lactuca sativa*. (Pereira *et al.*, 2018).

A Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE ou HPLC) tem se mostrado uma técnica confiável para a análise qualitativa e quantitativa de compostos fenólicos. Este método é amplamente utilizado para análise de fenólicos não-voláteis como flavonoides e cumarinas (Hadacek, 2002).

Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial alelopático de extratos de seis espécies vegetais presentes no estado de Alagoas, Brasil, além de identificar a presença e quantidades de doze compostos fenólicos por meio de HPLC-UV.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Coleta e Preparo dos Extratos

Foram coletadas seis espécies vegetais da região agreste de Alagoas: *Cedrela odorata* (Meliaceae), *Amburana cearenses* (Fabaceae), *Delonix regia* (Fabaceae), *Tabebuia avellanedae* (Bignoniaceae), *Tabebuia serratifolia* (Bignoniaceae) e *Bathysa cuspidata* (Rubiaceae). Essas espécies são nativas ou amplamente encontradas no agreste do estado de Alagoas. As cascas do caule de cada espécie foram secas à sombra, trituradas e pesadas. Cada amostra foi macerada em etanol (1:5 p/v) e deixada em repouso por 72 horas. Após filtração, foram feitas novas extrações sucessivas com etanol. Os extratos foram concentrados em evaporador rotativo a aproximadamente 50°C. A solução estoque (100%) foi preparada com 1 g de extrato dissolvido em 250 mL de etanol P.A., sendo feitas diluições para 75%, 50% e 25%.

Wissen Editora, 2026 |ISBN 978-65-85923-87-3|DOI: http://www.doi.org/10.52832/wed.191

2.2 Prospecção Fitoquímica

Uma triagem fitoquímica dos extratos etanólicos foi realizada para identificar as classes de metabólitos secundários, com ênfase nos compostos fenólicos.

2.3 Bioensaio de Germinação

Os testes de germinação foram realizados em placas de Petri estéreis (9 cm), forradas com papel de filtro embebido com 5 mL de cada tratamento. As placas foram deixadas abertas por 48 horas para completa evaporação do álcool (Mazzafera, 2003). Em seguida, foram adicionados 3 mL de água destilada e 15 sementes de Lactuca sativa por placa. Foram utilizadas quatro repetições por tratamento ao longo das análises. Os dados obtidos foram organizados em planilhas do software Microsoft Excel 2010 e, posteriormente, analisados estatisticamente com auxílio do pacote STATISTIX®, versão 10.

O protocolo seguiu Macías et al. (2000), garantindo um volume máximo de solução de 0,2 mL por semente. As placas foram incubadas a 25°C por 7 dias em condições estéreis e controladas. Após a incubação, foram avaliados o percentual de germinação, o comprimento da radícula e o comprimento da parte aérea com auxílio de paquímetro digital.

2.4 Análise por HPLC dos Compostos Fenólicos

Para as Análises dos Compostos Fenólicos por HPLC, foram utilizados os seguintes padrões e reagentes: ácido gálico, catecol, catequina, ácido clorogênico, ácido cafeico, vanilina, siringaldeído, ácido p-cumárico, cumarina, rutina, miricetina e quercetina. Os solventes foram grau analítico: metanol (Sigma-Aldrich), ácido acético glacial (Vetec) e água ultrapura (sistema Milli-Q Direct 8, Millipore SAS®, França).

A separação dos compostos fenólicos foi realizada em equipamento de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) (Shimadzu®, Kyoto, Japão). A coluna cromatográfica utilizada nas análises foi de fase reversa (C18) (Shim-pack VP-ODS, 4,6 mm x 150 mm, 4,6 μm). Para a construção das curvas analíticas (10 pontos), foram feitas diluições de uma solução estoque com concentração de 200 ppm contendo uma mistura de todos os padrões (Mix). Para isso, foram preparadas soluções com concentrações variando de 1 a 10 ppm em uma solução de água:etanol (70:30 v/v).

Como fase móvel para a eluição dos compostos, utilizou-se uma solução de ácido acético a 0,1% em água (Solvente A) e metanol (Solvente B). As amostras e os padrões foram eluídos conforme o gradiente de variação do Solvente B: de 0 a 5 min (7-11%); 5 a 10 min (11-16%); 10 a 15 min (16-25%); 15 a 30 min (25%); 30 a 34 min (25-38%); 34 a 38 min (38-50%); 42 a 46 min

(60-65%); 46 a 50 min (65-70%); 54 a 58 min (75-85%); 58 a 62 min (85-25%); 62 a 63 min (25-7%); 63 a 80 min (7%). O comprimento de onda utilizado no detector UV-VIS foi de 290 nm, com fluxo de 0,6 mL.min^{-1}, volume de injeção de 20 µL e temperatura de 35 °C. As injeções dos padrões foram realizadas em triplicata e a identidade dos analitos nas amostras foi confirmada pelo tempo de retenção dos padrões injetados individualmente e na mistura. Os limites de detecção (LD) e os limites de quantificação (LQ) foram calculados para cada um dos padrões analisados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos são discutidos à luz da literatura científica, com ênfase na busca e quantificação de compostos fenólicos, certamente relacionados ao potencial alelopático de cada espécie. As análises visaram compreender a relação entre a presença de compostos fenólicos e os efeitos inibitórios sobre a germinação e o crescimento inicial de Lactuca sativa, permitindo a comparação do desempenho alelopático entre os extratos testados. Além disso, buscou-se verificar a eficácia da técnica de HPLC-UV, na identificação da presença de compostos fenólicos, com possível ação herbicida natural.

Os compostos fenólicos são conhecidos por inibir a germinação de sementes e o desenvolvimento de plantas daninhas. Neste estudo, a triagem fitoquímica confirmou a presença de ácidos fenólicos, flavonoides, taninos e outros metabólitos nos extratos etanólicos das seis espécies vegetais, com exceção de *Bathysa cuspidata*, que não apresentou ácidos fenólicos. Esses resultados estão de acordo com a literatura, que destaca os ácidos fenólicos, flavonoides e cumarinas como principais responsáveis pela atividade alelopática (Zeng *et al.*, 2008; Ohno *et al.*, 2000).

A análise por HPLC confirmou a presença e quantificação de doze compostos fenólicos-alvo (Tabela 1). A espécie *Tabebuia avellanedae* apresentou seis compostos diferentes, enquanto *Cedrela odorata* e *Amburana cearenses* apresentaram apenas dois. O composto mais abundante foi a catequina, com 5,802 ppm em *C. odorata*, o que está de acordo com Silva *et al.* (1999) e Giordani (2014). Apesar disso, *C. odorata* apresentou efeito alelopático limitado, com apenas 4,54% de inibição da germinação. Esse dado sugere que a eficácia alelopática depende não apenas da presença dos compostos, mas também da dose e das interações entre eles (Al *et al.*, 2015).

Tabela 1- Quantificação dos compostos fenólicos em cada espécie.

Compostos fenólicos	**Concentração (ppm)**					
	C. odorata	***A. cearenses***	***D. regia***	***T. avellanedae***	***T. serratifolia***	***B. cuspidata***
Gallic Acid (**1**)	0,274	-	-	-	-	-
Catechol (**2**)	-	-	-	-	-	-
Catechin (**3**)	5,802	-	-	-	-	-
Chlorogenic Acid (**4**)	0,557	0,509	0,779	0,715	0,715	0,559
Caffeic Acid (**5**)	-	-	0,270	0,418	-	0,290
Vanillin (6)	-	-	-	-	-	-
Syringaldehyde (**7**)	-	-	-	-	-	-
Coumaric Acid (**8**)	-	-	0,182	-	-	-
Coumarin (**9**)	-	-	-	0,183	0,176	0,264
Rutin (**10**)	-	-	-	1,982	2,356	1,665
Myricetin (**11**)	-	-	-	2,399	-	-
Quercetin (**12**)	-	0,680	0,997	0,613	0,619	-

Fonte: Autores, 2025.

A espécie *Delonix regia* presentou efeito inibitório claro e dependente da concentração. A inibição da germinação aumentou proporcionalmente à concentração do extrato, alcançando 100% na dose mais alta. Reduções semelhantes foram observadas no comprimento da raiz e da parte aérea (Figuras 1–3), resultado semelhante ao relatado por Pereira *et al.* (2018). Estudos anteriores de Chou e Leu (1992) também identificaram potencial alelopático em *D. regia* e isolaram compostos como ácido clorogênico e ácido cafeico, também identificados neste estudo. Além destes dois compostos, Li, et. (2010) isolaram também o ácido gálico, identificado pelo presente estudo. Os autores também descrevem que extratos aquosos de flores, folhas e galhos têm forte potencial alelopático contra alface (*Lactuca sativa*) e acelga chinesa (*Brassica chinensis*), causando inibições superiores a 30% mesmo após controle de efeitos de osmose e pH. Em estudo mais recente realizado por Mariyappillai e Pillai (2024), foram avaliados os efeitos alelopáticos de diferentes partes da *D. regia* (folhas, flores, vagens, casca) sobre crescimento do grão-mung (Vigna radiata) em cultura de vasos, de modo a comprovar que extratos aquosos de *D. regia* inibiram germinação, comprimento de raízes e brotos e peso fresco/seco das plantas.

Seis dos doze compostos procurados foram identificados e quantificados na espécie *Tabebuia avellanedae*. São eles: Cumarina, Rutina, Miricetina, Quercetina. A presença e/ou teor de

compostos fenólicos e flavonoides no ipê roxo também é relatada em outros estudos (Grochanke *et al*., 2016). No atual estudo, esta foi a espécie que apresentou menor caráter inibitório, com apenas 9% quando analisada a concentração de 75% (figura 1). Ao analisar o desenvolvimento da parte aérea e raiz, verifica-se que há um estímulo, ou seja, um favorecimento do seu crescimento, principalmente nas concentrações mais diluídas (figura 2-3). Isso indica possível antagonismo entre compostos ou baixa toxicidade alelopática.

Uma quantidade significativa de catequina foi observada em *C. odorata*, conforme Silva et al. (1999) e Giordani (2014). No entanto, houve apenas 4,54% de inibição da germinação. Embora esta espécie contenha maior concentração de compostos fenólicos em comparação às demais espécies, apresentou apenas 4,54% de inibição máxima, além de baixa inibição no desenvolvimento da área e das partes radiculares da semente testada em comparação ao tratamento aquoso (figuras 1-3). O pouco efeito alelopático observado pode estar relacionado ao teor desses compostos, principalmente a catequina, visto que são altas doses de catequina que contribuem para inibição significativa da taxa de germinação e do comprimento da raiz e da parte aérea, conforme afirmam Al et al., (2015) em estudo onde foi avaliado o efeito alelopático de diversos padrões fenólicos.

A análise dos gráficos de inibição vs. estímulo obtidos para a espécie *Amburana. cearensis* revelou que a concentração de 75% do extrato bruto foi responsável pela maior inibição na germinação das sementes receptoras. O desenvolvimento das sementes foi prejudicado em maior porcentagem, quando testado contra 100% de extrato bruto (figuras 1-3). Também chamado de camuru, seu extrato aquoso de folhas frescas apresenta alto nível de alelopatia, atingindo quase 100% de inibição da germinação. Além das folhas, é relatado que as frações hexânicas e diclorometanas do extrato de sementes de *A. cearensis* afetaram significativamente os processos de emergência (porcentagem e índice de velocidade de emergência) e crescimento inicial (porcentagem de plântulas normais, comprimento da parte aérea, comprimento da raiz e peso seco) de plântulas de melão (Lessa *et al*., 2017).

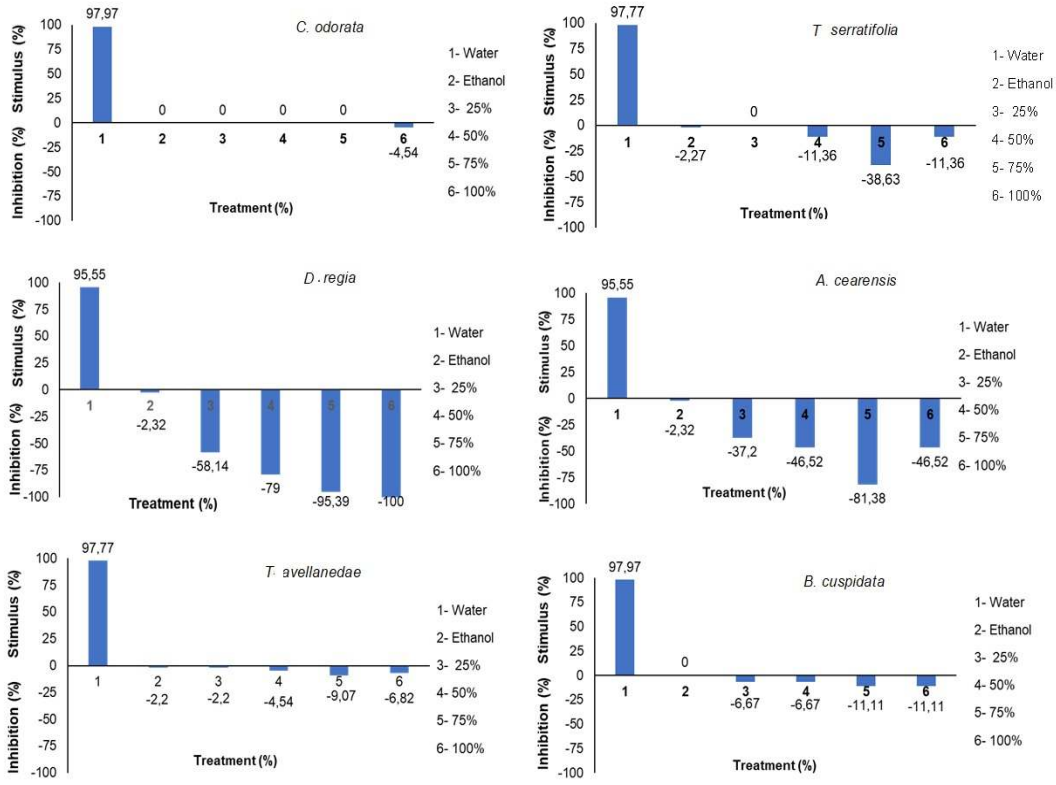
Apesar do bom efeito alelopático observado, a composição fenólica é composta por apenas dois dos doze compostos analisados, e a atividade pode ser atribuída a outros fenólicos não investigados aqui, uma vez que, Silva et al., (2020) cita diversos estudos que mostram a presença dessa classe de compostos em extratos de cascas de caule, obtidos em diferentes solventes. 1-benzopiran-2-nona, dihidrocumarina, ácido trans-metil-3,4-dimetoxicinâmico, ácido metil-3-metoxi-4-hidroxibenzóico e guaiacol são exemplos de padrões fenólicos encontrados (Silva *et al*., 2020), não investigados no presente estudo. Ou ainda ser atribuídos a compostos terpênicos, uma vez que compostos terpênicos com alto potencial aleloquímico já foram relatados, como a artemisinina, um sesquiterpeno fitotóxico, que atua em vários processos metabólicos da planta,

incluindo a redução do crescimento radicular (Duke; Oliva, 2004). Esta classe de metabólitos faz parte da composição fitoquímica das espécies de Umburana.

Quatro compostos foram quantificados em *Tabebuia. serratifolia* (ácido clorogênico, cumarina, rutina e quercetina), com inibição máxima de 38,63%. Não há relatos na literatura da ação alelopática desta espécie, mas ela já foi relatada em estudos que focam no reflorestamento de áreas degradadas (Rodrigues; Lopes, 2001). Neste estudo, ela é utilizada como espécie-alvo (receptora) em bioensaios de alelopatia, por ser considerada uma espécie vegetal com grande potencial para restauração.

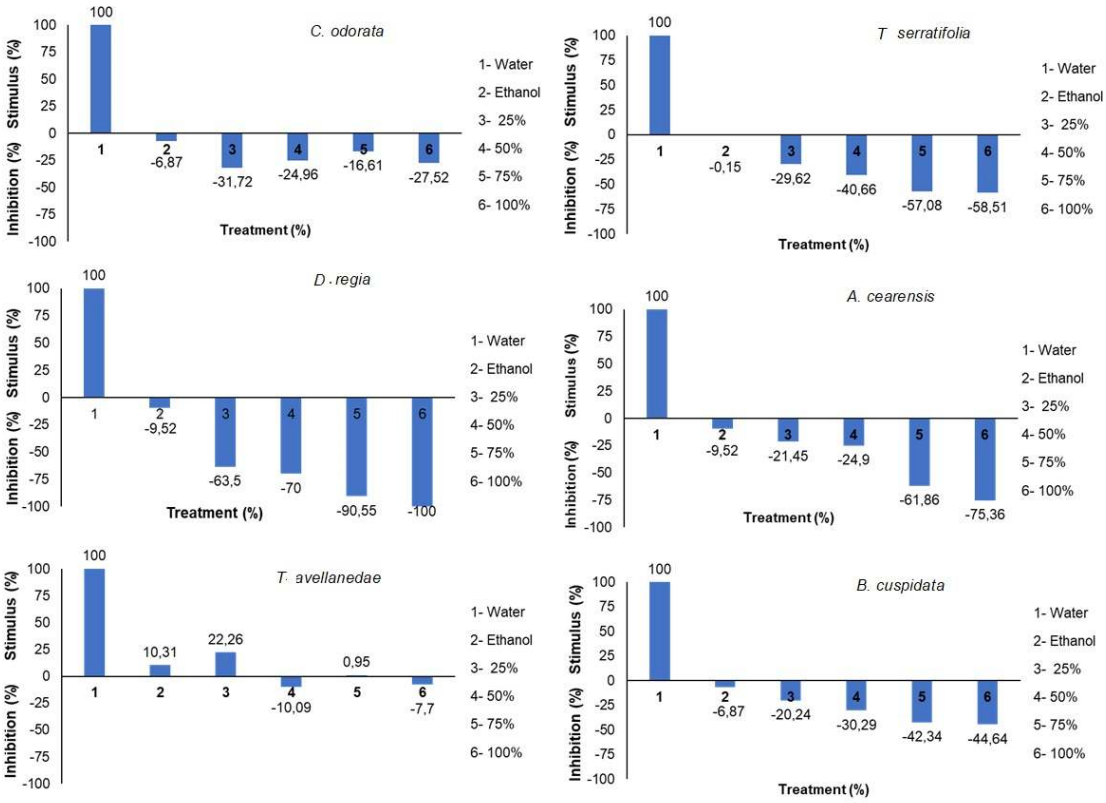
Com quatro compostos identificados (ácido clorogênico, ácido cafeico, cumarina e rutina), *Bathysa. cuspidata* apresentou baixa inibição de germinação (11%; figura 1). Seu efeito aumentou ligeiramente com a concentração, mas permaneceu limitado. Embora sua atividade alelopática não seja relatada, os compostos fenólicos estão associados à ação cicatrizante (Leite et al., 2015).

Figura 1 - Gráficos de inibição vs. estímulo da germinação das espécies estudadas.



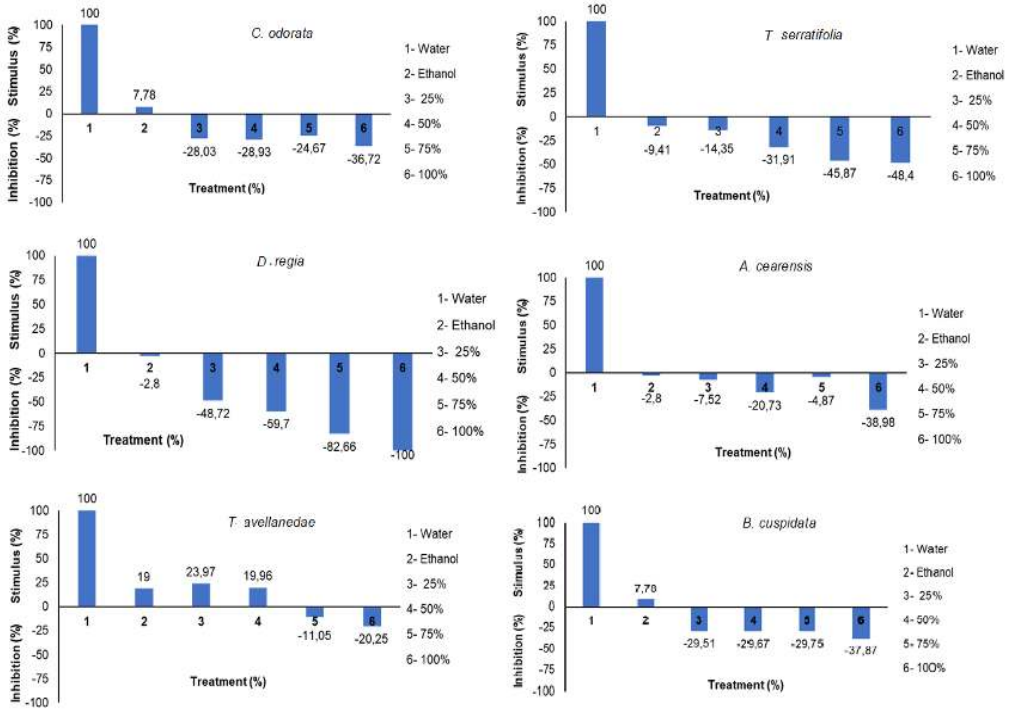
Fonte: Autores, 2025.

Figura 2 - Gráficos de inibição vs. estímulo do crescimento da parte aérea das espécies estudadas.



Fonte: Autores, 2025.

Figura 3 - Gráficos de inibição vs. estímulo do crescimento radicular das espécies estudadas



Fonte: Autores, 2025.

4 CONCLUSÃO

A prospecção fitoquímica confirmou a presença de compostos fenólicos nas seis espécies vegetais avaliadas, com destaque para flavonoides, ácidos fenólicos, taninos e cumarinas. A análise por HPLC-UV demonstrou ser eficiente na identificação e quantificação de doze compostos fenólicos, com forte linearidade, boa resolução cromatográfica e baixos limites de detecção e quantificação. Dentre os compostos detectados, destacam-se o ácido clorogênico, ácido cafeico, catequina, rutina, miricetina e quercetina, todos relacionados na literatura à atividade alelopática.

Os bioensaios com *Lactuca sativa* revelaram que *Delonix regia* apresentou o maior potencial alelopático, inibindo totalmente a germinação na concentração de 100%. Por outro lado, espécies como *Tabebuia avellanedae* e *Bathysa cuspidata* apresentaram efeitos inibitórios mais modestos ou até estimulantes em concentrações mais baixas. Esses achados reforçam a ideia de que a atividade alelopática não depende apenas da presença de compostos fenólicos, mas também de sua concentração, interação e sinergismo no extrato.

Portanto, os resultados obtidos indicam que espécies vegetais do agreste de Alagoas apresentam compostos bioativos com potencial para o desenvolvimento de bioherbicidas. Essa abordagem pode contribuir para alternativas mais sustentáveis ao manejo de plantas daninhas, reduzindo o uso de herbicidas sintéticos, especialmente em contextos de agricultura familiar e sistemas agroecológicos.

Novos estudos são recomendados para o isolamento e avaliação específica dos compostos majoritários identificados, bem como para a validação dos efeitos em diferentes espécies alvo e em condições de campo.

REFERÊNCIAS

BHARDWAJ, R.; SHARMA, P. Herbicide toxicity and its mitigation in crop plants. **Environmental Chemistry Letters**, v. 11, n. 2, p. 229–254, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Balança comercial do agronegócio: janeiro a dezembro de 2024**. Brasília: MAPA, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/balanca-comercial.

CASIMERO, M; ABIT, MARY. J; RAMIREZ, ANALIZA H; DIMAANO G. NIÑA; MENDOZA, J. Herb-icide use history and weed management in Southeast Asia. Advances in weed Science. Special Issue

CHEEMA, ZAHID. A; FAROOQET, M; WAHID, A. Allelopathy: current trends and future applications. **Springer Science & Business Media**, 2012.

HADACEK, F. Secondary metabolites as plant traits: current assessment and future perspectives. **Criti-cal Reviews in Plant Sciences**, v. 21, n. 4, p. 273–322, 2002.

JOHN, R.; SARADA, D. Allelopathic effects of selected tree species on germination and seedling growth of green gram (Vigna radiata). **Notulae Scientia Biologicae**, v. 4, n. 2, p. 77–83, 2012.

KUMAR N, SINGH H, GIRI K, KUMAR A, JOSHI A, YADAV S, SINGH R, BISHT S, KUMARI R, JEENA N, KHAIRAKPAM R, MISHRA G. Physiological and molecular insights into the allelopathic effects on agroecosystems under changing environmental conditions. **Physiology and Molecular Biology of Plants**. 2024 Mar;30(3):417-433.

LI, Z.-H.; WANG, Q.; RUAN, X.; PAN, C.-D.; JIANG, D.-A. Phenolics and Plant Allelopathy. **Molecules**, Basel, v. 15, n. 12, p. 8933–8952, dez. 2010. DOI: 10.3390/molecules15128933.

MARIYAPPILLAI, A.; PILLAI, S. C. Inhibitory Effect of Aqueous Extracts of Tree legumes on Germina-tion and Seedling Growth of Food Legume, Green Gram (Vigna radiata L.). Legume Research – An In-ternational Journal, Madurai, v. (ano não informado), p. (páginas não informadas), 2021. DOI: 10.18805/lr 4545

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. **Exportações do agronegócio atingem recorde em 2024**, Brasília, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/.

PEREIRA, JULIANA C; PAULINO, CYNTHIANE L DE A; GRANJA, BRUNA DA S; SANTANA, AN-TÔNIO E.G; ENDRES, L; DE SOUZA, RENAN C. Allelopathic potential and identification of secondary metabolites in extracts of Canavalia ensiformis L. **Plant Physiology and Morphology**, v. 65, n. 3, p. 243–252, 2018.

RICE, E. L. **Allelopathy**. 2. ed. New York: Academic Press, 1994.

SANO, EDSON. E; ROSA, R; SCARAMUZZA, CARLOS A. DE M; ADAMI, M; BOLFE, EDSON L; COUTINHO, ALEXANDRE C; ESQUERDO, JÚLIO C. D. M; MAURANO, LUÍS E. P; NARVAES, IGOR DA S; FILHO, FRANCISCO J. B. DE O; DA SILVA E. B; VICTORIA, DANIEL DE C.; FERREIRA, LAERTE G.; BRITO, JORGE L. S.; BAYMA, ADRIANA P; DE OLIVEIRA, GUSTAVO H; -SILVA, GUSTAVO B. Land use dynamics in the Brazilian Cerrado in the 2000s: changes and future projections. **Journal of Land Use Science**, v. 14, n. 1, p. 1–15, 2019.

SILVA, A. A.; SILVA, J. F. **Manejo integrado de plantas daninhas. Viçosa:** UFV, 2007.
WORLD ECONOMIC FORUM. Global risks report 2024: agriculture and biodiversity section. Geneva: WEF, 2024. Disponível em: https://www.weforum.org/publications/global-risks-report-2024/.



CAPÍTULO 6

USO DE INSETICIDAS BIORACIONAIS: COM ÊNFASE NOS INSETICIDAS BOTÂNICOS

THE USE OF BIORATIONAL INSECTICIDES WITH EMPHASIS ON BOTANICAL INSECTICIDES

Elivelto da Silva Cavalcante
Mestre em Entomologia e Conservação da Biodiversidade pela Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados-MS, Brasil

Dilma Marques dos Reis
Mestre em Entomologia e Conservação da Biodiversidade pela Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados-MS, Brasil

Jussara Gonçalves Fonseca
Mestre em Biologia Geral/Bioprospecção pela Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados-MS, Brasil

James Luan Noleto Leite
Mestre em Produção Animal, Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Parauapebas- PA, Brasil

João Eduardo Cavalcante da Silva
Graduando em Zootecnia, Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados- MS, Brasil

Beatriz da Silva Pinheiro
Graduando em Biotecnologia, Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados- MS, Brasil

Rosilda Mara Mussury Franco Silva
Doutora em Ciências Biológicas (Botânica) pela Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho (UNESP), Botucatu-SP, Brasil

DOI: 10.52832/wed.191.1090

Resumo: Para obter melhor rendimento em produções agrícolas é necessário a adoção de diversos métodos de controle de pragas e doenças das plantas. Produtos como os inseticidas bioracionais, pesticidas derivados de fontes naturais, como partes de plantas, bactérias, fungos, vírus, entre outros. E que vêm ganhando popularidade como alternativas aos inseticidas sintéticos convencionais, alavancados pela percepção de que são ambientalmente sustentáveis e seguros. Os compostos presentes nesses produtos, são realmente seguros aos seres humanos e a organismos não-alvo? A revisão a seguir, trata de fazer análise a cerca de evidências sobre os potenciais efeitos não intencionais dos inseticidas bioracionais, especialmente os botânicos, abordando impactos sobre outros organismos, seus efeitos subletais, resistência de pragas e riscos ambientais e à saúde humana. Mesmo com o crescimento da adoção desses compostos, é preciso que haja mais critérios de avaliação e regulamentação, para que se tornem mesnos duvidosas suas reais ações em programas de manejo de pragas.

Palavras-chave: Bioinseticidas. Organismos não-alvo. Efeitos Subletais. Manejo de Pragas. Regulamentação.

Abstract: To achieve higher yields in agricultural production, the adoption of various methods for controlling plant pests and diseases is necessary. Biorational insecticides, derived from natural sources such as plants, bacteria, fungi, and viruses, have gained popularity as alternatives to conventional synthetic insecticides. This trend is driven by the perception that they are environmentally sustainable and safe. However, are the compounds in these products truly safe for humans and non-target organisms? This review analyzes evidence concerning the potential unintended effects of biorational insecticides, particularly botanical ones. It addresses their impacts on non-target organisms, sublethal effects, the development of pest resistance, and associated environmental and human health risks. Despite the growing adoption of these compounds, more stringent evaluation criteria and regulations are required to reduce the uncertainties regarding their actual efficacy and safety within integrated pest management programs.

Keywords: Bioinsecticides. Non-target Organisms. Sublethal Effects. Pest Management.

1 INTRODUÇÃO

Históricamente, o controle de insetos-praga e doenças na agricultura tem sido dominado pelo uso de produtos químicos sintéticos, cujo desenvolvimento comercial se intensificou a partir da década de 1940 (Jarman e Ballschmiter, 2012). Essa abordagem, embora tenha proporcionado aumentos significativos na produtividade agrícola, trouxe consigo uma série de efeitos adversos (Ling, 2003; Tat, Heskett e Boss, 2024).

O uso contínuo, e muitas vezes indiscriminado de agrotóxicos sintéticos resulta em consequências negativas amplamente documentadas, como a contaminação do solo e da água, a presença de resíduos em alimentos, o desenvolvimento de resistência em populações de pragas, e impactos severos sobre organismos não-alvo, incluindo polinizadores, inimigos naturais e a saúde humana (Ling, 2003; Serrão *et al.*, 2022; Kariyanna *et al.*, 2024; Tat, Heskett e Boss, 2024).

Tais motivos, fizeram com que a busca por alternativas mais seguras e sustentáveis aumentassem, impulsionando o interesse pelos chamados inseticidas bioracionais (Thammayya *et al.*, 2024). Estes produtos, são obtidos por meio da introdução de derivados de fontes naturais

como plantas, microrganismos, animais e minerais, à sua composição, e são frequentemente percebidos pelo público e por parte da comunidade agrícola com mais seguros e ecologicamente corretos (Cai; Dimopoulos, 2025). Os inseticidas bioracionais podem ser classificados em quatro categorias principais, de acordo com sua origem e modo de ação (Tabela 1).

Tabela 1 – Categorias de Inseticidas Bioracionais.

Categoria	Descrição	Exemplos
Botânicos	Compostos extraídos de tecidos vegetais (folhas, sementes, casca, raízes, etc.) que possuem atividade inseticida.	Azadiractina (do nim), piretrinas (do crisântemo), rotenona.
Microbianos	Utilizam microrganismos (ou toxinas derivadas deles) que são patogênicos a insetos específicos.	*Bacillus thuringiensis* (Bt), fungos entomopatogênicos (*Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana*), vírus.
Bioquímicos	Substâncias naturais que controlam pragas por mecanismos não tóxicos, como a interrupção do acasalamento ou atração para armadilhas.	Feromônios sexuais, aleloquímicos, óleos essenciais.
Protetores Incorporados em Plantas (PIPs)	Material pesticida que a própria planta produz, a partir da inserção de genes de outras espécies por meio de engenharia genética.	Plantas geneticamente modificadas que expressam a toxina Bt para controle de lepidópteros.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025), a partir de Haddi *et al.* (2020).

Entre as categorias de bioracionais, os inseticidas botânicos, extraídos de plantas com atividade inseticida, representam uma das mais antigas e promissoras ferramentas de manejo, tendo inspirado, inclusive, o desenvolvimento de classes de inseticidas sintéticos como os piretroides e os neonicotinoides (Moreira *et al.*, 2006).

A crescente popularidade dos inseticidas botânicos é justificada por características desejáveis, como a rápida degradação no ambiente, menor persistência e, em muitos casos, maior seletividade a inimigos naturais (Khursheed *et al.*, 2022). Contudo, a premissa de que "natural" é sinônimo de "seguro" tem sido cada vez mais questionada pela comunidade científica (Cappa e Baracchi, 2024). A ideia de simplesmente substituir os agrotóxicos sintéticos por produtos bioracionais, sem uma avaliação criteriosa de seus potenciais efeitos não intencionais, pode levar a um uso inadequado e a consequências imprevistas (Haddi *et al.*, 2020).

Embora o interesse científico pelos inseticidas botânicos tenha crescido, os estudos ainda priorizam a eficácia sobre as pragas-alvo, ainda existe negligencia de seus possíveis impactos negativos, como efeitos subletais em polinizadores, toxicidade para organismos aquáticos, desenvolvimento de resistência e até mesmo riscos à saúde humana são exemplos de consequências

não intencionais que necessitam de maior investigação (Derstine *et al.*, 2025; Soto-Barajas *et al.*, 2025). Portanto, busca-se realizar uma análise crítica sobre o uso desses inseticidas, discutindo seus efeitos não intencionais com intuito de contribuir para um manejo de pragas verdadeiramente sustentável e seguro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foi conduzido um levantamento bibliográfico abrangente sobre o uso de inseticidas bioracionais, com o foco voltado para os inseticidas botânicos e efeitos não esperados. A pesquisa foi realizada em bases de dados como Portal de Periódicos da CAPES, Web of Science e Scopus, no qual foram utilizados descritores em português e inglês, como: Bioinseticidas; Organismos não-alvo; Efeitos subletais de inseticidas botânicos; Manejo integrado de Pragas; Bioinsecticides; Non-target Organisms; Sublethal Effects; Pest Management, dos quais foram selecionadas publicações entre 2003 e 2025, priorizando estudos que apresentassem dados sobre eficácia, vantagens e desvantagens, efeitos dos inseticidas botânicos em organismos não alvos, e as limitações e integração de métodos Bioracionais de controle da praga e que abordassem aplicações práticas e relevantes para a agricultura brasileira, os quais serviram de base para a elaboração desta síntese crítica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estudos analisados mostram que os inseticidas botânicos vêm apresentando bons resultados no controle de pragas agrícolas. Em diferentes culturas, extratos vegetais e óleos essenciais demonstraram alta eficácia, promovendo mortalidade significativa, atraso no crescimento e redução da fecundidade de diversas pragas (Ponsankar *et al.*, 2016; Thammayya *et al.*, 2024; Cai; Dimopoulos, 2025).

Em alguns casos, essa eficiência vem acompanhada de baixo impacto sobre organismos não-alvo, como minhocas e microrganismos do solo, indicando que há potencial de seletividade (Ponsankar *et al.*, 2016). O óleo essencial de *Ledum palustre*, por exemplo, mostrou ação inseticida contra mosquitos e moscas, sem causar genotoxicidade ou citotoxicidade relevante em células humanas (Benelli *et al.*, 2020). Esses resultados reforçam que, quando bem aplicados, os inseticidas de origem vegetal podem ser alternativas sustentáveis aos produtos sintéticos.

Outros pontos positivos observados na literatura incluem a biodegradabilidade rápida e a menor persistência ambiental desses compostos (Moreira *et al.*, 2006; Abromaitis *et al.*, 2016). A maioria dos extratos vegetais se degrada em poucos dias, reduzindo o risco de contaminação do solo e da água (Moreira *et al.*, 2006; Cordeau *et al.*, 2016). Além disso, alguns estudos relatam que a

presença de múltiplos compostos ativos dificulta a seleção de resistência imediata em pragas, pois os metabólitos secundários atuam de forma combinada sobre dife rentes vias fisiológicas (Rattan, 2010; Khursheed *et al*., 2022; Kamanga *et al*., 2025). Esses aspectos indicam que os inseticidas botânicos podem ser integrados de forma vantajosa a programas de manejo integrado de pragas (MIP), especialmente em sistemas de produção que buscam menor impacto ambiental.

Apesar dessas vantagens, os resultados também revelam limitações importantes. O principal erro de interpretação encontrado é considerar que produtos naturais são automaticamente seguros. A toxicidade de uma substância depende de sua estrutura química e da dose, não da origem (Moreira *et al*., 2006). Compostos como rotenona e nicotina, por exemplo, são naturais, mas se mostraram altamente tóxicos para mamíferos e peixes (Ling, 2003; Tat, Heskett; Boss, 2024).

Benelli *et al*. (2018) demonstraram que o extrato de *Boswellia ovalifoliolata* é tóxico para o peixe *Gambusia affinis*, usado no controle biológico de mosquitos, mostrando que mesmo produtos vegetais podem afetar espécies benéficas. Além disso, "baixo impacto" não significa "sem impacto". Pesquisas recentes mostram efeitos subletais em inimigos naturais e polinizadores, como alterações no comportamento, redução da taxa de predação e menor sucesso reprodutivo (Giunti *et al*., 2022; Tat, Heskett; Boss, 2024).

Guzman *et al*. (2024) observaram menor ocupação de abelhas selvagens em áreas tratadas com pesticidas vegetais, e Vayssières *et al*. (2007) relataram toxicidade do metil eugenol para polinizadores. Esses resultados apontam que o uso indiscriminado de inseticidas botânicos também pode prejudicar serviços ecossistêmicos essenciais, como a polinização e o controle biológico.

Outro ponto crítico é a extrapolação de resultados de laboratório para o campo. Condições ambientais reais envolvem variação de temperatura, umidade, radiação solar e interação entre espécies, o que pode alterar a toxicidade observada em testes controlados (Giunti *et al*., 2022).

A composição química dos extratos também varia conforme o tipo de planta, local de coleta e método de extração, tornando os resultados pouco padronizáveis. Novas formulações, como as nanoencapsuladas, podem aumentar a estabilidade e a persistência, mas também modificar o comportamento ecológico das substâncias, exigindo testes específicos (Modafferi *et al*., 2024).

Outro fator pouco estudado é o efeito de médio e longo prazo sobre organismos de solo ou sobre mais de uma geração de exposição, o que limita a compreensão real do impacto ambiental.

A falta de informações sobre o modo de ação de muitos compostos é outro entrave. Enquanto substâncias como a azadiractina têm mecanismo conhecido, a maioria dos extratos vegetais ainda é pouco compreendida (Haddi *et al*., 2020). Essa limitação impede a avaliação de risco detalhada e abre margem para efeitos inesperados. A literatura também evidencia um viés: a maior parte das pesquisas foca apenas na eficácia contra as pragas, deixando de lado os impactos

Wissen Editora, 2026 |ISBN 978-65-85923-87-3|DOI: http://www.doi.org/10.52832/wed.191

em organismos não-alvo (Haddi *et al*., 2020; Serrão *et al*., 2022).

Além disso, estudos sobre hormese e efeitos subletais são escassos. Rabelo *et al.* (2020) mostraram que doses baixas da toxina Bt favoreceram o crescimento de *Spodoptera eridania* (Cramer), mostrando que pequenas variações na dose podem alterar completamente a resposta biológica. Esse tipo de comportamento reforça a importância de estudos detalhados sobre concentração, tempo de exposição e interações entre compostos.

Do ponto de vista prático, há também desafios econômicos e regulatórios. Os inseticidas botânicos costumam ter custo de produção elevado, curta durabilidade e alta especificidade, o que limita o uso em larga escala. No Brasil, embora a Lei nº 14.785/2023 tenha atualizado o marco legal dos agrotóxicos, ainda não há uma regulamentação clara e robusta voltada aos bioracionais (Cione *et al*., 2024). A falta de exigência de testes toxicológicos e ecotoxicológicos equivalentes aos aplicados a pesticidas sintéticos continua sendo uma falha (Haddi *et al*., 2020; Mawcha *et al*., 2025).

Nesse cenário, podemos apontar que os inseticidas botânicos representam uma alternativa viável e promissora para o manejo de pragas, mas sua segurança e eficácia não podem ser presumidas apenas pela origem natural. É essencial avaliar a seletividade de forma ampla, considerando organismos benéficos, efeitos de longo prazo e condições reais de campo. Sendo assim, o avanço sustentável dessa tecnologia depende da padronização de testes, da ampliação dos estudos ecotoxicológicos e do fortalecimento das normas regulatórias que garantam o uso responsável desses produtos.

5 CONCLUSÃO

A transição para uma agricultura mais sustentável exige uma reavaliação crítica de todas as ferramentas de manejo de pragas, incluindo os inseticidas bioracionais. Somente assim será possível integrar os inseticidas bioracionais de forma eficaz e segura no manejo de pragas do futuro.

Agradecimentos e Financiamento

Ao Conselho Nacional de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Brasil, pela concessão de bolsas aos autores; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade ao último pesquisador e à Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT).

REFERÊNCIAS

ABROMAITIS, V. *et al.* Biodegradation of persistent organics can overcome adsorption–desorption hysteresis in biological activated carbon systems. **Chemosphere**, v. 149, p. 183-189, 2016. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.01.085

BRASIL. Lei nº 14.785, de 29 de dezembro de 2023. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, dentre outros, sobre o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, de produtos de controle ambiental, de seus produtos técnicos e afins. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 29 dez. 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/l14785.htm. Acesso em: 09 nov. 2025.

BENELLI, G. *et al.* Ascaridole-rich essential oil from marsh rosemary (Ledum palustre) growing in Poland exerts insecticidal activity on mosquitoes, moths and flies without serious effects on non-target organisms and human cells. **Food and Chemical Toxicology**, v. 138, p. 111184, 2020. DOI: 10.1016/j.fct.2020.111184

BENELLI, G. *et al.* Boswellia ovalifoliolata (Burseraceae) essential oil as an eco-friendly larvicide? Toxicity against six mosquito vectors of public health importance, non-target mosquito fishes, backswimmers, and water bugs. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 11, p. 10264-10271, 2018. https://doi.org/10.1007/s11356-017-8820-0

CAI, P.; DIMOPOULOS, G. Microbial biopesticides: A one health perspective on benefits and risks. **One Health**, v. 20, p. 100962, 2025. https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2024.100962

CAPPA, F.; BARACCHI, D. Bioinsecticides on honey bees: Exposure, sublethal effects, and risk assessment paradigms. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 41, p. 100569, 2024. https://doi.org/10.1016/j.coesh.2024.100569

CIONE, A. P. *et al.* A new regulatory paradigm for pesticide registration in Brazil. **Integrated Environmental Assessment and Management**, 2024. DOI: 10.1002/ieam.4923.

CORDEAU, S. *et al.* Bioherbicides: Dead in the water? A review of the existing products for integrated weed management. **Crop protection**, v. 87, p. 44-49, 2016. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.04.016

DERSTINE, N. *et al.* Sublethal pesticide exposure decreases mating and reproductive success. **Science of The Total Environment**, 2025. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2025.177656.

GIUNTI, G. *et al.* Non-target effects of essential oil-based biopesticides for crop protection: Impact on natural enemies, pollinators, and soil invertebrates. **Biological Control**, v. 176, p. 105071, 2022. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105071

GUZMAN, L. M. *et al.* Impact of pesticide use on wild bee distributions across the United States. **Nature Sustainability**, 2024. DOI: 10.1038/s41893-024-01413-8.

HADDI, K. *et al.* Rethinking biorational insecticides for pest management: unintended effects and consequences. **Pest Management Science**, v. 76, n. 7, p. 2286-2293, 2020. DOI: 10.1002/ps.5837.

JARMAN, W. M.; BALLSCHMITER, K. From coal to DDT: the history of the development of

the pesticide DDT from synthetic dyes till Silent Spring. Endeavour, v. 36, n. 4, p. 131-142, 2012. https://doi.org/10.1016/j.endeavour.2012.10.003.

KAMANGA, R. M. *et al*. Neem and Gliricidia Plant Leaf Extracts Improve Yield and Control Pests. **Insects**, v. 16, n. 2, p. 156, 2025. DOI: 10.3390/insects16020156.

KARIYANNA, B. *et al*. Comprehensive insights into pesticide residue dynamics. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, 2024. DOI: 10.1186/s40538-024-00708-4.

KHURSHEED, A. *et al*. Plant based natural products as potential ecofriendly and safer biopesticides: A comprehensive overview of their advantages over conventional pesticides, limitations and regulatory aspects. **Microbial Pathogenesis**, v. 173, p. 105854, 2022. https://doi.org/10.1016/j.micpath.2022.105854

LING, N. Rotenoneôa review of its toxicity and use for fisheries management. **Science for conservation**, v. 211, p. 1-40, 2003.

MAWCHA, K. T. *et al*. Recent Advances in Biopesticide Research and Development. **Plants**, 2025. DOI: 10.3390/plants14081076.

MOREIRA, M. D. *et al*. Uso de inseticidas botânicos no controle de pragas. *In*: VENZON, M.; PAULA JÚNIOR, T. J.; PALLINI, A. (Org.). **Controle alternativo de pragas e doenças**. Viçosa: EPAMIG/CTZM, 2006. p. 89-120.

PONSANKAR, A. *et al*. Target and non-target toxicity of botanical insecticide derived from Couroupita guianensis L. flower against generalist herbivore, Spodoptera litura Fab. and an earthworm, Eisenia foetida Savigny. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 133, p. 260-270, 2016. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2016.06.043

RABELO, M. M. *et al*. Bt-toxin susceptibility and hormesis-like response in the invasive southern armyworm (*Spodoptera eridania*)**. Crop Protection**, v. 132, p. 105129, 2020. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105129

RATTAN, R. S. Rameshwar Singh. Mechanism of action of insecticidal secondary metabolites of plant origin. **Crop protection**, v. 29, n. 9, p. 913-920, 2010. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.05.008

SERRÃO, J. E. *et al*. Side-effects of pesticides on non-target insects in agriculture: a mini-review. **The Science of Nature**, v. 109, n. 2, p. 17, 2022. DOI: 10.1007/s00114-022-01788-8

SOTO-BARAJAS, M. C. et al. Current and future perspectives on biopesticides analysis in soil. **Journal of Natural Pesticide Research**, v. 12, 100120, 2025. DOI: 10.1016/j.napere.2025.100120.

TAT, J.; HESKETT, K.; BOSS, G. R. Acute rotenone poisoning: A scoping review. **Heliyon**, v. 10, n. 7, 2024.

THAMMAYYA, S. K. *et al*. Comparative effectiveness of biorational pesticides for management of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley and *Paracoccus marginatus* Williams & Granara de Willink in Gymnema sylvestre (Retz.) **R. Br. ex Sm. Heliyon**, v. 10, n. 1, 2024. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23648

VAYSSIÈRES, J. F. *et al.* Impact of methyl eugenol and malathion bait stations on non-target insect populations in French Guiana during an eradication program for Bactrocera carambolae. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 125, n. 1, p. 55-62, 2007. https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2007.00599.x

CAPÍTULO 7

FENOTIPAGEM DE SEMENTES DE FEIJÃO-FAVA UTILIZANDO-SE DE REDE NEURAL ARTIFICIAL

PHENOTYPING OF LIMA BEAN SEEDS USING AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Rosana Araujo Martins Lucena
Mestranda em Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande- PB, Brasil

Ana Clara Anselmo Couto
Graduanda em Agronomia, Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Lagoa Seca- PB, Brasil

Denis Leandro Medeiros
Graduando em Agronomia, Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Lagoa Seca - PB, Brasil

Maria Fernanda Guenes da Silva
Mestranda em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Areia- PB, Brasil

Emanuel Nunes Teixeira
Graduando em Agronomia, Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Lagoa Seca- PB, Brasil

Pâmela Monique Valões da Cruz
Mestranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande- PB, Brasil

Semako Ibrahim Bonou
Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande- PB, Brasil

Guilherme Felix Dias
Doutorando em Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande- PB, Brasil

Mario Sergio de Araujo
Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Docente do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais (CCAA), Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Lagoa Seca- PB, Brasil

Rener Luciano de Souza Ferraz
Pós-Doutor em Ciências Agrárias pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Docente do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais (CCAA), Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Lagoa Seca-PB, Brasil

DOI: 10.52832/wed.191.1091

Resumo: O aumento demográfico e as mudanças climáticas trazem grandes desafios para o setor agrícola e para a segurança dos materiais genéticos, como, por exemplo, na catalogação de sementes. Nesse sentido, a adoção de tecnologias inovadoras no setor, como o uso de redes neurais artificiais, sobretudo para auxílio na fenotipagem de espécies vegetais, é de grande importância para a proteção dos recursos genéticos. Assim, objetivou-se realizar a fenotipagem de sementes de acessos e variedades crioulas do feijão-fava utilizando-se de rede neural artificial. Para tanto, imagens digitais de cem sementes dos acessos ACS-005-TX-PB e ACS-008-TX-PB e da variedade Espírito Santo foram obtidas na posição relativa ao ângulo de 90°, 45° norte, 45° sul, 45° leste e 45° oeste na direção em que as sementes estavam dispostas, seguindo da vetorização com o "*embbeder*" VGG19 utilizando o *software Orange Data Mining* v. 3.36.1. Ainda, para os ajustes dos modelos de fenotipagem, foi utilizado o algoritmo rede neural artificial (NN - *Neural Network*), mantendo-se a função de ativação "*tanh*" e o solver "*adam*" e, variando-se a quantidade de neurônios na camada oculta (2, 3, 4, 5, 10, 15, 20 e 25), visando a obtenção da melhor performance possível. Na etapa de validação dos modelos, foi utilizado o método de teste em dados de teste (*Test on test data*), utilizando-se de vetores de imagens das obtidas inicialmente e que não foram utilizadas na etapa de ajuste dos modelos. Verificou-se que 25 neurônios promoveram as melhores métricas em relação às demais camadas. A inteligência artificial do tipo rede neural artificial com 25 neurônios na camada oculta possui elevado desempenho para identificação de sementes de variedades crioulas de feijão-fava a partir da vetorização de imagens digitais.

Palavras-chave: Inteligência artificial, *Phaseolus lunatus* L., Variedades tradicionais.

Abstract: Population growth and climate change pose significant challenges to the agricultural sector and the security of genetic materials, such as in seed cataloging. In this context, the adoption of innovative technologies in the sector, such as the use of artificial neural networks, especially for assisting in the phenotyping of plant species, is of great importance for the protection of genetic resources. Thus, the objective was to perform the phenotyping of seeds from landrace varieties of broad bean using an artificial neural network. To this end, digital images of one hundred seeds from the accessions ACS-005-TX-PB and ACS-008-TX-PB and the Espírito Santo variety were obtained at relative angles of 90°, 45° north, 45° south, 45° east, and 45° west in the direction in which the seeds were arranged, followed by vectorization with the VGG19 embedder using Orange Data Mining v. 3.36.1 software. Furthermore, for the adjustments of the phenotyping models, the artificial neural network (NN) algorithm was used, maintaining the activation function "tanh" and the solver "adam", and varying the number of neurons in the hidden layer (2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, and 25) to obtain the best possible performance. In the model validation stage, the test-on-test-data method was used, utilizing image vectors obtained initially and not used in the model adjustment stage. It was found that 25 neurons provided the best metrics compared to the other layers. The artificial intelligence of the neural network type with 25 neurons in the hidden layer has high performance for identifying seeds of creole varieties of broad beans from the vectorization of digital images.

Keywords: Artificial intelligence. *Phaseolus lunatus* L.. Traditional varieties.

1 INTRODUÇÃO

O aumento demográfico acarreta necessidades para o setor alimentício e para os setores agrícolas. Na medida em que ocorre o crescimento populacional, aumenta a demanda por alimentos, fazendo-se necessário que a agricultura se adapte para garantia da segurança alimentar (Oluwole *et al*., 2023). Assim, o feijão-fava (*Phaseolus lunatus* (L.) com propriedades nutricionais e

fibras em sua composição, apresenta ampla variabilidade genotípica e fenotípica, por este motivo, adapta-se em diversos agroecossistemas, por exemplo em regiões semiáridas (Lopes *et al.*, 2024).

Nesse contexto, se faz necessária a busca por ferramentas que facilitem as análises de fenotipagem de sementes de espécies agrícolas. Com isso, o uso de redes neurais artificiais (RNAs) é uma ferramenta promissora para otimizar estudos de processos agrícolas. Ainda pouco explorados, estudos voltados às espécies vegetais com o uso de redes neurais artificiais já podem ser localizados nas bases de dados, *e.g.*, Odah et al. (2025) que, ao estudarem técnicas de aprendizado de máquina para previsão de rendimento de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), identificaram que 42,11% dos modelos utilizados em pesquisas são as redes neurais artificiais.

Diante dos resultados dos estudos supracitados, é possível que a fenotipagem de variedades crioulas e acessos de feijão-fava seja realizada utilizando-se de inteligência artificial, sobretudo modelos de RNA. Atualmente a fenotipagem é realizada, geralmente, por métodos tradicionais, o que demanda tempo, de modo que entender as características físicas e biológicas das sementes é crucial para identificar e classificar esses materiais genéticos de forma precisa (Barros *et al.*, 2024). Com base nessas informações, objetivou-se desenvolver a fenotipagem dos acessos ACS-005-TX-PB e ACS-008-TX-PB e da variedade crioula de feijão-fava Espírito Santo, utilizando-se de rede neural artificial por meio de processamento de imagens digitais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em Abril de 2025, no Laboratório de Estudos em Ciências Agrárias no Semiárido, localizado no Centro de Ciências Agrárias e Ambientais (CCAA) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), no município de Lagoa Seca - PB, nas coordenadas Latitude 7º 09' S, Longitude 35º 52' W, e 634 m de altitude. O clima da região segundo a classificação de Köppen é As' (tropical úmido), com temperatura média anual de 22 ºC, temperaturas mínimas e máximas de 18 ºC e 33 ºC respectivamente, precipitação pluviométrica de 800 mm e umidade relativa do ar de 80% (Costa *et al.*, 2024).

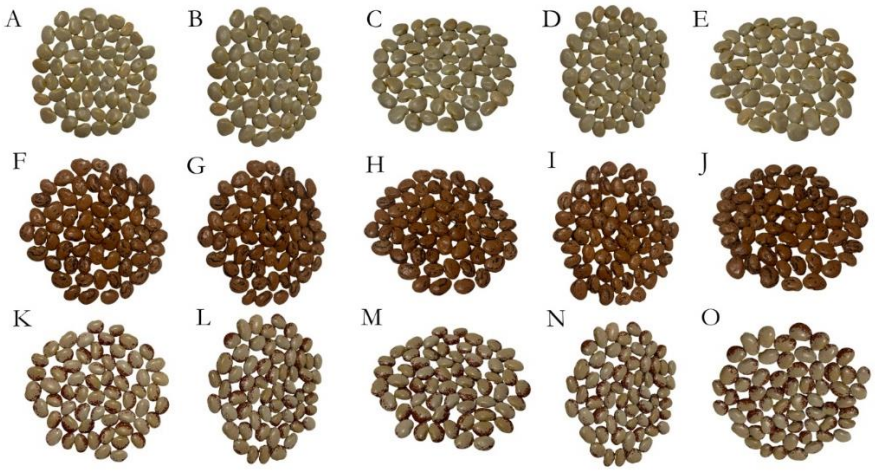
Foram utilizadas sementes de feijão-fava dos acessos ACS-005-TX-PB, ACS-008-TX-PB e da variedade crioula Espiríto Santo colhidas na safra de 2024, doadas por agricultores familiares da comunidade Bastiana do município de Teixeira, PB, e armazenadas em garrafas de Politereftalato de Etileno (PET) acondicionadas em ambiente abrigado da luz. Posteriormente, foram obtidas imagens digitais (n = 15) de cem sementes de cada variedade. Para tanto, foi utilizado um smartphone iPhone 15, iOS 17, câmera dupla de 48 MP + 12 MP de resolução.

As imagens foram capturadas no modo sRGB de 8 bits e salvas no formato .jpeg. Das 15 imagens, 3 foram obtidas na posição relativa ao ângulo de 90° em relação à superfície onde as

Wissen Editora, 2026 |ISBN 978-65-85923-87-3|DOI: http://www.doi.org/10.52832/wed.191

sementes foram dispostas, 3 na posição relativa ao ângulo de 45° na direção Norte, 3 na posição relativa ao ângulo de 45° na direção Sul, 3 na posição relativa ao ângulo de 45° na direção Leste e 3 na posição relativa ao ângulo de 45° na direção Oeste, todas a 30 cm de distância (Figura 1).

Figura 1. Sementes dos acessos de feijão-fava: ACS-005-TX-PB (A, B, C, D e E); ACS-008-TX-PB (F, G, H, I e J); e da variedade crioula Espiríto Santo (K, L, M, N e O). Imagens feitas nas posições 90º, 45º ao sul, 45º a norte, 45º a leste, 45º a oeste, em relação à superfície onde as sementes foram dispostas.



Fonte: Acervo da equipe de pesquisa.

Para o processamento das imagens foi utilizado o *software Orange Data Mining* v. 3.36.1. Inicialmente, das 15 imagens obtidas, 10 foram importadas utilizando-se do widget "*Import Images*" contido no add-on "*Image Analytics*". Posteriormente, as imagens foram processadas e vetorizadas utilizando-se do widget "*Image Embedding*". A vetorização das imagens foi realizada utilizando-se do "*Embedder*" de rede neural artificial VGG19 (Godec *et al*., 2019).

Para os ajustes dos modelos de fenotipagem de sementes de cada variedade de feijão-fava, foi utilizado o algoritmo rede neural artificial (NN - *Neural Network*), mantendo-se a função de ativação *tanh* e o solver *adam* e, variando-se a quantidade de neurônios na camada oculta em oito unidades (2, 3, 4, 5, 10, 15, 20 e 25) visando obtenção da melhor performance possível.

A performance dos modelos foi avaliada utilizando-se do método de amostragem por validação cruzada (*Cross-validation*) do *Orange Data Mining*. Para validação dos modelos, foi utilizado o método de teste em dados de teste (*Test on test data*), utilizando-se de vetores de 5 imagens das 15 obtidas inicialmente e que não foram utilizadas na etapa de ajuste dos modelos. Para a avaliação da performance dos modelos na validação, foram utilizadas estatísticas de desempenho.

Para modelos de classificação, foram utilizadas: a área sob a curva ROC de operação do receptor (*Area under* ROC), acurácia da classificação (*Classification accuracy*), média harmônica ponderada de precisão e *Recall* (F-1), precisão (*Precision*), recordação (*Recall*), especificidade (*Specificity*), perda de entropia cruzada (*LogLoss*), tempo de treinamento (*Train time*) e tempo de teste (*Test time*).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com 25 neurônios na camada oculta da rede neural artificial, foi observado menor perda de entropia cruzada com o valor de 0,007. Por outro lado, quando utilizados 5 neurônios houve redução no desempenho estatístico referente a perda de entropia cruzada, métrica importante para determinar a precisão da fenotipagem. Na etapa de validação, o modelo de rede neural ajustado obteve melhor performance, haja vista que teve capacidade preditiva de 100%, conforme métricas de desempenho observadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Estatísticas de desempenho para quantidades de neurônios de rede neural artificial para fenotipagem de sementes crioulas de feijão-fava.

Quantidade de Neurônios	TTr	TTe	AUC	CA	F-1	Precision	Recall	LogLoss	Specificity
	Desempenho na modelagem								
2	4,822	3,683	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,537	1,000
3	5,102	3,548	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,210	1,000
4	5,392	3,582	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,077	1,000
5	5,279	3,710	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,251	1,000
10	5,357	3,589	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,024	1,000
15	4,956	3,592	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,013	1,000
20	6,037	4,081	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,008	1,000
25	5,121	3,588	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,007	1,000
	Desempenho na validação								
25	N/A	N/A	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,005	1,000

TTr: tempo de treinamento, TTe: tempo de teste, AUC: área sob a curva de operação do receptor, CA: acurácia, (F-1: uma média harmônica ponderada de precisão e recall, Precision: precisão, Recall: recordação, LogLoss: perda de entropia cruzada, Specificity: especificidade e N/A: não aplicável.

Fonte: Acervo da equipe de pesquisa.

Essas informações indicam que 25 neurônios são eficientes, dentre as demais quantidades, para processamento de imagens de sementes de feijão-fava, notadamente, por apresentar menor perda de entropia cruzada (LogLoss).

Em complemento, observa-se na matriz de confusão que, de fato, o modelo de rede neural artificial com 25 neurônios consegue predizer as classes de sementes de variedades crioulas de feijão-fava com elevado desempenho, haja vista que consegue prever 100% das classes de imagens de cada variedade corretamente (Tabela 2).

Tabela 2 - Matriz de confusão da etapa de modelagem para classificação de sementes crioulas de feijão-fava.

		Previsto			
		ACS-005-TX-PB	**ACS-008-TX-PB**	**Espírito Santo**	∑
Real	**ACS-005-TX-PB**	100,0 %	0,0 %	0,0 %	**10**
	ACS-008-TX-PB	0,0 %	100,0 %	0,0 %	**10**
	Espírito Santo	0,0 %	0,0 %	100,0 %	**10**
	∑	**10**	**10**	**10**	**30**

Fonte: Acervo da equipe de pesquisa.

A alta performance na etapa de validação foi comprovada pelas métricas de desempenho (Tabela 1). Além disso, a predição realizada nessa etapa comprova o desempenho do modelo de rede neural artificial com 25 neurônios, alcançando 100% de acerto na classificação de sementes de variedades crioulas de feijão-fava (Tabela 3).

Tabela 3 - Matriz de confusão da etapa de validação para classificação de sementes crioulas de feijão-fava.

		Previsto			
		ACS-005-TX-PB	**ACS-008-TX-PB**	**Espírito Santo**	∑
Real	**ACS-005-TX-PB**	100,0 %	0,0 %	0,0 %	**5**
	ACS-008-TX-PB	0,0 %	100,0 %	0,0 %	**5**
	Espírito Santo	0,0 %	0,0 %	100,0 %	**5**
	∑	**5**	**5**	**5**	**15**

Fonte: Acervo da equipe de pesquisa.

Wissen Editora, 2026 |ISBN 978-65-85923-87-3|DOI: http://www.doi.org/10.52832/wed.191

Os resultados desta pesquisa evidenciam o algoritmo de rede neural artificial como ferramenta promissora para adoção em tarefas de identificação de espécies vegetais a partir de imagens digitais de sementes. Outros pesquisadores já utilizaram a ferramenta com finalidade semelhante e obtiveram êxito, por exemplo Ferraz *et al.* (2021), verificaram que redes neurais artificiais foram eficientes para classificar plântulas de *Moringa oleifera* cultivadas em condições restrição de água no substrato.

4 CONCLUSÃO

Para realizar a fenotipagem de sementes dos acessos ACS-005-TX-PB e ACS-008-TX-PB e da variedade crioula de feijão-fava Espírito Santo é recomendado o uso de rede neural artificial com 25 neurônios na camada oculta.

Agradecimentos e Financiamento

Universidade Estadual da Paraíba; Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001; Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba Chamada – FAPESQ-PB/CNPq n 77/2022; Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Processo: 408952/2021-0, Chamada – CNPq/MCTI/FNDCT Nº 18/2021 – Faixa B – Grupos Consolidados e processo 307559/2022-0, Chamada 09/2022 - PQ; e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Agricultura Sustentável no Semiárido Tropical (INCTAgris).

REFERÊNCIAS

BARROS, E. S.; SARIGU, M.; LALLAI, A.; NICOLAU, J. P. B.; BENEDITO, C. P.; BACCHETTA, G.; TORRES, S. B. Phenotypic identification of landraces of Phaseolus lunatus L. from the northeastern region of Brazil using morpho-colorimetric analysis of seeds. **Horticulturae**, v. 10, p. e948, 2024.

COSTA, P. S.; FERRAZ, R. L. S.; DANTAS NETO, J.; MARTINS, V. D.; VIEGAS, P. R. A.; MEIRA, K .S.; NHALALA, A. R.; AZEVEDO, C. A. V..; MELO, A. S. Seed priming with light quality and *Cyperus rotundus* L. extract modulate the germination and initial growth of *Moringa oleifera* Lam. seedlings. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. e255836, 2024.

FERRAZ, R. L. de S.; COSTA, P. da S.; MACIEL, R. de S.; COSTA, D. T. da; AZEVEDO, C. A. V. de; MELO, A. S. de. Redes neurais artificiais para diagnóstico de estresse hídrico por imagens de plântulas de Moringa oleifera. In: **INOVAGRI MEETING VIRTUAL**, 2021.

GODEC, P.; PANČUR, M.; ILENIČ, N.; ČOPAR, A.; STRAŽAR, M.; ERJAVEC, A.; PRETNAR, A.; DEMŠAR, J.; STARIČ, A.; TOPLAK, M.; ŽAGAR, L.; HATMAN, J.; WANG, H.; BELLAZZI, R.; PETROVIČ, U.; GARAGNA, S.; ZUCCOTTI, M.; PARK, D.;

SHAULSKY, G.; ZUPAN, B. Democratized image analytics by visual programming through integration of deep models and small-scale machine learning. **Nature Communications**, v. 10, p. 4551, 2019.

OLUWOLE, O.; IBIDAPO, O.; AROWOSOLA, T.; RAJI, F.; ZANDONADI, R. P.; ALASQAH, I.; LHO, L. H.; HAN, H.; RAPOSO, A. Sustainable transformation agenda for enhanced global food and nutrition security: a narrative review. **Frontiers in Nutrition**, v. 10, p. e1226538, 2023.

ODAH,K. A.; HOUETOHOSSOU, S. C. A.; HOUNDJI, V. R.; KAKAI, R. L. G. Machine learning techniques for tomato yield prediction: A comprehensive analysis. **Smart Agricultural Technology**, v. 12, p. e101067, 2025.

Wissen Editora, 2026 |ISBN 978-65-85923-87-3|DOI: http://www.doi.org/10.52832/wed.191



Informações sobre a Editora
Wissen Editora
Homepage: www.editorawissen.com.br
Teresina – Piauí, Brasil
E-mails: contato@wisseneditora.com.br
wisseneditora@gmail.com

Siga nossas redes sociais:
@wisseneditora