

INOVAÇÕES

EM PESQUISAS

AGRÁRIAS E AMBIENTAIS

VOLUME VIII

Organizadores:

Alan Mario Zuffo

Jorge González Aguilera

Bruno Rodrigues de Oliveira



Alan Mario Zuffo
Jorge González Aguilera
Bruno Rodrigues de Oliveira
Organizadores

**Inovações em pesquisas
agrárias e ambientais
Volume VIII**



Pantanal Editora

2025

Copyright© Pantanal Editora

Editor Chefe: Dr. Alan Mario Zuffo

Editores Executivos: Dr. Jorge González Aguilera e Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora. **Diagramação e Arte:** A editora. **Imagens de capa e contracapa:** Canva.com. **Revisão:** O(s) autor(es), organizador(es) e a editora.

Conselho Editorial

Grau acadêmico e Nome

Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos
Profa. MSc. Adriana Flávia Neu
Profa. Dra. Albys Ferrer Dubois
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior
Profa. MSc. Aris Verdecia Peña
Profa. Arisleidis Chapman Verdecia
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva
Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo
Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu
Prof. Dr. Carlos Nick
Prof. Dr. Claudio Silveira Maia
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos
Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva
Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos
Prof. MSc. David Chacon Alvarez
Prof. Dr. Denis Silva Nogueira
Profa. Dra. Denise Silva Nogueira
Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão
Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves
Prof. Me. Ernane Rosa Martins
Prof. Dr. Fábio Steiner
Prof. Dr. Fabiano dos Santos Souza
Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez
Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles
Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira
Prof. MSc. Javier Revilla Armesto
Prof. MSc. João Camilo Sevilla
Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales
Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski
Prof. MSc. Lucas R. Oliveira
Prof. Dr. Luciano Façanha Marques
Profa. Dra. Keyla Christina Almeida Portela
Prof. Dr. Leandris Argentele-Martínez
Profa. MSc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann
Prof. MSc. Marcos Pisarski Júnior
Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos
Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla
Profa. MSc. Mary Jose Almeida Pereira
Profa. MSc. Núbia Flávia Oliveira Mendes
Profa. MSc. Nila Luciana Vilhena Madureira
Profa. Dra. Patrícia Maurer
Profa. Dra. Queila Pahim da Silva
Prof. Dr. Rafael Chapman Auty
Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke
Prof. Dr. Raphael Reis da Silva
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes
Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo (*In Memoriam*)
Profa. Dra. Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos
Prof. Dr. Tayronne de Almeida Rodrigues
Prof. Dr. Ugur Azizoglu
Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca
Prof. MSc. Wesclen Vilar Nogueira
Profa. Dra. Yilan Fung Boix
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

Instituição

OAB/PB
Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
UO (Cuba)
IF SUDESTE MG
Facultad de Medicina (Cuba)
ISCM (Cuba)
UFESSPA
UEA
UNEMAT
UFV
AJES
UFGD
UEMS
IFPA
UNICENTRO
IFMT
UFMG
URCA
ISEPAM-FAETEC
IFG
UEMS
UFF
(Colômbia)
UNAM (Peru)
IFRR
UCG (México)
Rede Municipal de Niterói (RJ)
UNMSM (Peru)
UFMT
SED Mato Grosso do Sul
UEMA
IFPR
Tec-NM (México)
Consultório em Santa Maria
UFJF
UEG
FAQ
UNAM (Peru)
SEDUC/PA
IFB
IFPA
UNIPAMPA
IFB
UO (Cuba)
UFMS
UFPI
UFG
UEMA
IFB
Sec. Mun. de Educação, Cultura e Tecnologia de Araripe
Universidade Kayseri, Türkiye
UFPI
FURG
UO (Cuba)
UFT

Conselho Técnico Científico
- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Ficha Catalográfica

Catalogação na publicação
Elaborada por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

158

Inovações em pesquisas agrárias e ambientais – Volume VIII / Organização de Alan Mario Zuffo, Jorge González Aguilera, Bruno Rodrigues de Oliveira. – Nova Xavantina-MT: Pantanal, 2025. 85p. ; il.

Livro em PDF

ISBN 978-65-85756-67-9

DOI <https://doi.org/10.46420/9786585756679>

1. Agronomia. 2. Ensino. 3. Sustentabilidade. I. Zuffo, Alan Mario (Organizador). II. Aguilera, Jorge González (Organizador). III. Oliveira, Bruno Rodrigues de (Organizador). IV. Título.

CDD 630

Índice para catálogo sistemático

I. Agronomia



Nossos e-books são de acesso público e gratuito e seu download e compartilhamento são permitidos, mas solicitamos que sejam dados os devidos créditos à Pantanal Editora e também aos organizadores e autores. Entretanto, não é permitida a utilização dos e-books para fins comerciais, exceto com autorização expressa dos autores com a concordância da Pantanal Editora.

Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

Apresentação

A Editora Pantanal tem a honra de apresentar o oitavo volume da coleção “Inovações em Pesquisas Agrárias e Ambientais”, uma obra que se consolida como referência na divulgação científica das ciências agrárias, ambientais e áreas correlatas.

Este volume reúne pesquisas originais, revisões e estudos aplicados, elaborados por pesquisadores de diferentes instituições de ensino e pesquisa do Brasil, abordando temáticas atuais e inovadoras. Entre os assuntos contemplados estão: agricultura de precisão e tecnologias digitais para otimizar a produtividade e reduzir impactos ambientais; ferramentas moleculares no diagnóstico de patógenos florestais, contribuindo para a conservação e o manejo sustentável, bioestimulantes em sementes de amendoim e no trigo; nutrição de plantas e manejo de fertilizantes minerais e biológicos, com foco em sustentabilidade e eficiência; bioinsumos e biorreguladores no desenvolvimento de culturas estratégicas, como a cana-de-açúcar.

O objetivo desta obra é difundir conhecimentos científicos atualizados, capazes de subsidiar práticas agrícolas e ambientais mais eficientes, inovadoras e sustentáveis, dialogando com os desafios globais da produção de alimentos, bioenergia e conservação dos recursos naturais.

Acreditamos que este volume será uma importante fonte de consulta para estudantes, pesquisadores, profissionais e formuladores de políticas públicas, fortalecendo a integração entre ciência, tecnologia e sociedade.

Os organizadores

Sumário

Apresentação	4
Capítulo 1	6
Caracterização e eficiência produtiva na produção de soja sem e com agricultura de precisão em uma propriedade no Estado de Mato Grosso do Sul	6
Capítulo 2	15
Importância da Gestão, Tecnologia e da Agricultura de Precisão na eficiência produtiva de uma propriedade rural	15
Capítulo 3	29
Ferramentas moleculares no diagnóstico de fungos patogênicos florestais: avanços, aplicações e perspectivas	29
Capítulo 4	41
Bioestimulante SEED+ e <i>Bacillus aryabhattai</i> no desenvolvimento de <i>Arachis hypogaea</i> L.	41
Capítulo 5	50
<i>Bacillus aryabhattai</i> e o bioestimulante SEED+ promovem desenvolvimento inicial de plântulas de trigo	50
Capítulo 6	62
Métodos de Aplicação de Biorreguladores no Desenvolvimento Inicial da Cana-de-Açúcar	62
Capítulo 7	71
Adubação fosfatada residual e inoculação de <i>Bacillus</i> sp. e <i>Azospirillum</i> sp. no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar	71
Índice Remissivo	84
Sobre os organizadores	85

Ferramentas moleculares no diagnóstico de fungos patogênicos florestais: avanços, aplicações e perspectivas

Recebido em: 02/09/2025

Aceito em: 20/09/2025

 10.46420/9786585756679cap3

Any Caroliny Pinto Rodrigues 

Marcelo Luiz de Laia 

Janaína Fernandes Gonçalves 

Vitória Alexandra Rodrigues Santos 

Amanda Evely Ferreira Alves 

INTRODUÇÃO

As florestas são essenciais à biodiversidade, ao equilíbrio ecológico e ao desenvolvimento econômico, fornecendo serviços ecossistêmicos e matérias-primas de alto valor (Food and Agriculture Organization [FAO], 2020; Indústria Brasileira de Árvores [IBÁ], 2024). Entretanto, a sanidade das espécies florestais vem sendo ameaçada por fungos patogênicos que comprometem a sobrevivência de árvores, reduzem a produtividade e desequilibram ecossistemas (Desprez-Loustau et al., 2007a; Wingfield et al., 2015; Ghelardini et al., 2017).

Tradicionalmente, o diagnóstico desses organismos em árvores baseava-se em observações morfológicas, testes de patogenicidade e isolamento em meios de cultura. Embora úteis, tais métodos apresentam limitações relacionadas à baixa sensibilidade, ao tempo elevado para obtenção de resultados e à dificuldade em diferenciar espécies com características morfológicas semelhantes (Schena et al., 2013).

Desde meados dos anos 2000, ferramentas moleculares transformaram a fitopatologia florestal, tornando o diagnóstico mais rápido, sensível e específico. Técnicas como PCR e suas variações, sequenciamento de nova geração (NGS) e abordagens metagenômicas vêm sendo aplicadas com sucesso no estudo e monitoramento de patógenos florestais (Schoch et al., 2012; Nilsson et al., 2019; Lücking et al., 2020; Patel et al., 2022).

Avanços recentes consolidam tendências: revisões apontam a complementaridade entre métodos tradicionais e moleculares, incluindo biossensores e dispositivos portáteis capazes de fornecer resultados rápidos em campo, com impacto direto no manejo da sanidade florestal (Venbrux et al., 2023). Além disso, estudos evidenciam que a associação entre sintomas observados em tecidos vegetais e ferramentas moleculares aumenta a precisão na identificação de múltiplos agentes envolvidos em manchas foliares semelhantes (Azim & Ahmed, 2024).

Do ponto de vista tecnológico, a miniaturização e a microfluídica vêm viabilizando plataformas do tipo *lab-on-chip*, que reduzem custos e aproximam o diagnóstico molecular do ponto de coleta (Zolotareva, 2024). Também se destaca a importância de bancos de dados genômicos e fenotípicos, como o PHI-base, que fornece curadoria contínua sobre interações patógeno-hospedeiro e fortalece a fitopatologia florestal (Urban et al., 2025).

Diante desse contexto, esta revisão tem como objetivo sintetizar os avanços recentes no diagnóstico molecular de fungos patogênicos em espécies florestais, destacando aplicações práticas, limitações metodológicas e perspectivas futuras relacionadas à padronização, portabilidade e integração de dados (Brown, 2025a; Pham, 2024b).

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho constitui uma pesquisa de natureza básica, com caráter exploratório, fundamentada em uma revisão bibliográfica sobre o tema diagnóstico molecular de fungos patogênicos em espécies florestais, considerando os principais avanços e aplicações das ferramentas moleculares.

Para a sua elaboração, realizou-se levantamento de dados em bases de referência nacional e internacional, incluindo SciELO, Google Acadêmico, Embrapa, Periódicos CAPES, Science Direct, Elsevier e Web of Science, complementado por leituras em livros especializados, visando maior aprofundamento e clareza conceitual.

A busca utilizou palavras-chave em português e inglês, com operadores booleanos, tais como: “fungos patogênicos”, “diagnóstico molecular”, “doenças florestais”, “ferramentas moleculares”, “fitopatologia florestal”, combinados a expressões em inglês (“molecular diagnosis” AND “pathogenic fungi” AND “forest”; “forest diseases” AND “molecular tools” OR “molecular techniques”; “advances in molecular tools” AND “forest diseases”).

Foram considerados artigos publicados entre 2005 e 2025, priorizando estudos originais, revisões sistemáticas e trabalhos aplicados especificamente a espécies arbóreas de interesse florestal. Critérios de exclusão abrangeram publicações sem aplicação direta a fungos patogênicos ou que não apresentaram dados moleculares relevantes.

Após a triagem inicial, os artigos foram avaliados quanto ao conteúdo e relevância, resultando na seleção final das publicações que compuseram esta revisão.

REVISÃO

Fungos patogênicos em espécies florestais

Os fungos patogênicos constituem um dos principais fatores de estresse biótico em ecossistemas florestais, ocasionando perdas econômicas, redução da biodiversidade e comprometimento de serviços ecossistêmicos (Smith et al., 2006; Pereira et al., 2015). Esses microrganismos apresentam ampla

diversidade taxonômica e ecológica, colonizando desde tecidos aéreos (folhas, ramos, flores e frutos) até tecidos subterrâneos (raízes e rizosfera) das árvores hospedeiras.

Entre os grupos de maior relevância estão *Fusarium*, *Phytophthora*, *Botryosphaeriaceae*, *Ceratocystis* e *Colletotrichum*, frequentemente associados a murchas vasculares, necroses, podridões e declínios florestais (Wingfield et al., 2010; Alfenas et al., 2018; Oliveira et al., 2021). Essas doenças apresentam caráter emergente, impulsionado por monocultivos extensivos, globalização do comércio de mudas e sementes e alterações climáticas que favorecem a expansão de patógenos para novas áreas (Desprez-Loustau et al., 2007b; Santini et al., 2013; Jung et al., 2022). O impacto desses fungos não se limita à produção de madeira e celulose, mas compromete diretamente a sustentabilidade de programas de reflorestamento e conservação. Infecções severas podem reduzir a variabilidade genética de populações arbóreas e, associadas à alta adaptabilidade dos patógenos, geram cenários de vulnerabilidade que exigem novas estratégias de diagnóstico e manejo (Wingfield et al., 2015; Souza et al., 2020; Venbrux et al., 2023).

Além disso, estudos recentes destacam que a intensificação de eventos climáticos extremos e a pressão de seleção em monocultivos contribuem para surtos mais frequentes e intensos (Hyde et al., 2024). Esse quadro reforça a necessidade de compreender a diversidade, os mecanismos de infecção e a epidemiologia dos fungos, de modo a subsidiar programas de melhoramento genético, controle biológico e desenvolvimento de ferramentas moleculares cada vez mais precisas para diagnóstico precoce (Slippers & Wingfield, 2007; Crous et al., 2019; Thompson et al., 2024; Pham, 2024a).

***Fusarium* spp.**

Espécies de *Fusarium* estão entre os principais agentes de murchas vasculares e podridões radiculares em espécies florestais. No eucalipto (*Eucalyptus* spp.), *F. oxysporum* e *F. solani* provocam murcha progressiva, necrose radicular e morte de mudas em viveiros, afetando a produção em larga escala (Alfenas et al., 2009; Oliveira et al., 2021). A incidência é favorecida por estresse hídrico e solos compactados (Ferreira et al., 2011). Ensaios baseados em qPCR vêm sendo utilizados para detecção rápida e quantificação em tecidos lenhosos, permitindo medidas de contenção mais eficazes (Burgess et al., 2017; Brown, 2025b).

***Ceratocystis* spp.**

Ceratocystis fimbriata é um dos patógenos emergentes mais agressivos em florestas plantadas, causando escurecimento vascular, exsudação de goma e morte súbita de árvores jovens e adultas de eucalipto e teca (Ferreira et al., 2011; Piveta et al., 2016). Também já foi relatado em seringueira (*Hevea brasiliensis*) e cedro-amazônico (*Cedrela odorata*), representando ameaça à conservação genética de espécies nativas (Borges et al., 2019; Harrington, 2020). Técnicas de qPCR e NGS têm sido aplicadas para

monitorar sua variabilidade genética e auxiliar programas de melhoramento florestal (Telles et al., 2019; Pham, 2024a).

Botryosphaeriaceae (Lasiodiplodia, Neofusicoccum, Botryosphaeria)

Patógenos oportunistas como *Lasiodiplodia theobromae* e *Neofusicoccum* spp. atacam árvores em estresse ambiental, provocando cancos, podridões de caule e seca de ramos em eucalipto, pinus e espécies nativas (Slippers & Wingfield, 2007; Machado et al., 2015). Sua incidência está fortemente associada a déficit hídrico e altas temperaturas, tornando-se mais frequentes em cenários de mudanças climáticas (Mehl et al., 2017; Oliveira et al., 2022; Hyde et al., 2024). Estudos de metagenômica já permitem rastrear populações desses fungos em tecidos assintomáticos, antecipando o manejo (Gross et al., 2020; Zolotareva, 2024).

***Phytophthora* spp.**

Embora sejam oomicetos, espécies de *Phytophthora* têm grande relevância para a fitopatologia florestal. *P. cinnamomi* e *P. palmivora* estão ligadas ao declínio radicular e murchas foliares em florestas tropicais e temperadas (Brasier, 2008; Jung et al., 2018). Em plantações de pinus e eucalipto, *P. cinnamomi* pode levar à mortalidade de grandes áreas (Hardham & Blackman, 2018). No Brasil, surtos já foram relatados em castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) e araucária (*Araucaria angustifolia*), com implicações ecológicas relevantes (Telles et al., 2019). Métodos isotérmicos como LAMP vêm sendo empregados com sucesso para sua detecção em campo (Thiessen et al., 2016; Schroeder et al., 2022).

***Colletotrichum* spp.**

O gênero *Colletotrichum* inclui espécies causadoras de antracnose, com manchas necróticas em folhas e morte de brotações jovens. No eucalipto, *C. gloeosporioides* provoca perdas em viveiros e plantios recém-estabelecidos (Alfenas et al., 2009). Em espécies nativas, como o ipê (*Handroanthus* spp.), sua presença compromete programas de restauração florestal (Souza et al., 2020). Novos trabalhos vêm testando diagnósticos multiplex para identificar simultaneamente *Colletotrichum* e outros patógenos em mudas (Venbrux et al., 2023).

Outros patógenos relevantes

Merecem destaque o complexo *Mycosphaerella*, causador de manchas foliares em eucalipto, e *Armillaria* spp., associada a podridão radicular em florestas temperadas e subtropicais (Crous et al., 2019; Coetzee et al., 2022). Avanços recentes em biossensores baseados em DNA vêm ampliando as possibilidades de detecção desses patógenos em estágios iniciais (Gudisa, 2024; Urban et al., 2025).

Diante da diversidade de fungos patogênicos que afetam a sanidade florestal, a Tabela 1 apresenta as principais espécies, as doenças associadas, os hospedeiros arbóreos mais afetados e as ferramentas moleculares aplicadas, oferecendo uma visão integrada dos desafios enfrentados nos diferentes contextos produtivos e de conservação.

Tabela 1. Principais fungos patogênicos de espécies florestais, doenças associadas, hospedeiros afetados e ferramentas moleculares aplicadas. Fonte: os autores.

Gênero/Espécie do Patógeno	Doença Principal	Hospedeiros Florestais Afetados	Referências	Ferramentas moleculares aplicadas
<i>Fusarium oxysporum</i> , <i>F. solani</i>	Murcha vascular; podridão radicular	<i>Eucalyptus</i> spp., teca (<i>Tectona grandis</i>), espécies nativas tropicais	Alfenas et al., 2009; Oliveira et al., 2021	PCR espécie-específica; qPCR para quantificação em tecidos lenhosos (Burgess et al., 2017; Brown, 2025b)
Complexo <i>Ceratocystis fimbriata</i>	Murcha de <i>Ceratocystis</i> ; morte súbita	Eucalipto, teca, seringueira (<i>Hevea brasiliensis</i>), cedro-amazônico (<i>Cedrela odorata</i>)	Ferreira et al., 2011; Borges et al., 2019; Harrington, 2020	qPCR para diagnóstico precoce; NGS para diversidade genética (Telles et al., 2019; Pham, 2024a)
<i>Lasiodiplodia theobromae</i> , <i>Neofusicoccum</i> spp.	Cancro do caule; seca de ramos; podridões	Eucalipto, pinus, espécies nativas tropicais	Slippers; Wingfield, 2007; Machado et al., 2015; Oliveira et al., 2022	qPCR para quantificação em madeira; metagenômica para detecção em áreas assintomáticas (Gross et al., 2020; Zolotareva, 2024)
<i>Phytophthora cinnamomi</i> , <i>P. palmivora</i>	Declínio radicular; murchas foliares	Pinus, eucalipto, castanheira-do-brasil (<i>Bertholletia excelsa</i>), araucária (<i>Araucaria angustifolia</i>)	Brasier, 2008; Jung et al., 2018; Telles et al., 2019	LAMP para diagnóstico rápido em campo; qPCR para quantificação (Thiessen et al., 2016; Schroeder et al., 2022)
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Antracnose; manchas foliares	Eucalipto, ipê (<i>Handroanthus</i> spp.), mudas nativas em restauração	Alfenas et al., 2009; Souza et al., 2020	Multiplex PCR para detecção conjunta com outros patógenos (Venbrux et al., 2023)
<i>Mycosphaerella</i> spp. (complexo)	Manchas foliares (redução da fotossíntese)	<i>Eucalyptus</i> spp.	Crous et al., 2019	Biossensores baseados em DNA; análises metagenômicas (Gudisa, 2024; Urban et al., 2025)
<i>Armillaria</i> spp.	Podridão radicular de <i>Armillaria</i>	Pinus, eucalipto, espécies temperadas	Coetzee et al., 2022	PCR convencional; detecção por NGS em solos e raízes (Hyde et al., 2024)

AVANÇOS NAS FERRAMENTAS MOLECULARES DE DIAGNÓSTICO

O diagnóstico de fungos patogênicos em espécies florestais passou, nas últimas duas décadas, por uma revolução metodológica. Inicialmente restritas à PCR convencional, as ferramentas moleculares evoluíram para métodos de alta sensibilidade, como qPCR, multiplex PCR e tecnologias de sequenciamento, que permitem maior precisão na identificação de espécies, diferenciação de linhagens e monitoramento de comunidades microbianas complexas (Wingfield et al., 2015; Nilsson et al., 2019; Hyde et al., 2024).

Otimização da PCR e qPCR

O desenvolvimento de *primers* espécie-específicos e sondas fluorescentes aumentou a confiabilidade dos ensaios de qPCR, reduzindo falsos positivos e permitindo detectar DNA fúngico em quantidades mínimas (Tomlinson et al., 2010; Burgess et al., 2017). Além disso, kits comerciais tornaram o uso acessível a laboratórios de rotina, incluindo viveiros florestais. Estudos recentes reforçam que qPCR permanece sendo a ferramenta de referência para diagnóstico quantitativo, embora ainda limitado por custos e pela necessidade de infraestrutura laboratorial (Brown, 2025b; Pham, 2024a).

Multiplex PCR e diagnóstico simultâneo

O avanço da multiplex PCR permitiu detectar múltiplos patógenos em uma única reação, algo estratégico em viveiros onde a presença simultânea de *Fusarium*, *Colletotrichum* e *Ceratocystis* é frequente (Machado et al., 2015; Oliveira et al., 2021). Revisões recentes demonstram que este método pode ser combinado a biossensores para reduzir custos e acelerar respostas (Venbrux et al., 2023).

Sequenciamento de Nova Geração (NGS)

As tecnologias de NGS revolucionaram o campo ao possibilitar análises de comunidades completas de patógenos em solo, água ou tecido vegetal (Lindahl et al., 2013; Gross et al., 2020). Isso permite não apenas identificar espécies já conhecidas, mas também detectar emergentes ainda não descritos. Experiências na Europa e no Brasil demonstraram a eficiência do NGS em revelar *Phytophthora* e *Lasiodiplodia* em áreas assintomáticas (Jung et al., 2018; Telles et al., 2019). O uso de plataformas metagenômicas aliadas à bioinformática e à inteligência artificial tem ampliado o potencial preditivo desses diagnósticos (Zolotareva, 2024; Urban et al., 2025).

Ferramentas isotérmicas e diagnóstico rápido (LAMP e RPA)

Metodologias isotérmicas, como LAMP e RPA, surgem como alternativas práticas para diagnósticos rápidos em campo. Esses métodos dispensam termocicladores sofisticados, utilizam equipamentos portáteis e produzem resultados em menos de uma hora, sendo ideais para inspeções

fitossanitárias em viveiros e fronteiras agrícolas (Notomi et al., 2015; Schroeder et al., 2022). Aplicações recentes demonstraram a eficiência da LAMP para detecção de *Phytophthora cinnamomi* em mudas de pinus e eucalipto, permitindo decisões imediatas de manejo (Thiessen et al., 2016; Azim & Ahmed, 2024).

APLICAÇÕES DAS FERRAMENTAS MOLECULARES NO DIAGNÓSTICO DE FUNGOS PATOGÊNICOS FLORESTAIS

As ferramentas moleculares não apenas transformaram a detecção de fungos patogênicos, mas se consolidaram como pilares estratégicos da sanidade florestal. Sua aplicação prática vai da triagem de mudas em viveiros ao monitoramento de epidemias em larga escala, contribuindo tanto para a sustentabilidade da produção quanto para a conservação de espécies nativas (Alfenas et al., 2018; Jung et al., 2022).

Monitoramento fitossanitário em viveiros florestais

Viveiros são ambientes críticos devido à densidade de mudas e à umidade que favorece patógenos. Técnicas como PCR e qPCR permitem identificar precocemente *Fusarium oxysporum*, *Colletotrichum gloeosporioides* e *Ceratocystis fimbriata*, evitando a distribuição de mudas infectadas (Ferreira et al., 2011; Oliveira et al., 2021). A integração de multiplex PCR com biossensores tem sido testada para reduzir tempo e custos, aproximando o diagnóstico da rotina operacional (Venbrux et al., 2023).

Diagnóstico precoce em plantações comerciais

Em plantações estabelecidas, ensaios moleculares permitem detectar infecções antes do surgimento de sintomas visíveis. O uso de qPCR tem auxiliado na quantificação de *Lasiodiplodia theobromae* em tecidos lenhosos de eucalipto, contribuindo para o manejo de cancrios (Machado et al., 2015; Schroeder et al., 2019). Métodos isotérmicos como LAMP têm se destacado pela rapidez em campo, permitindo decisões imediatas de isolamento de áreas afetadas (Thiessen et al., 2016; Schroeder et al., 2022).

Programas de melhoramento genético e seleção de genótipos resistentes

Ferramentas moleculares são fundamentais no melhoramento florestal, auxiliando na seleção de genótipos resistentes a patógenos. Ensaios de qPCR e metagenômica têm permitido avaliar a resposta de clones de eucalipto e pinus a *Ceratocystis* e *Phytophthora*, acelerando a seleção de materiais tolerantes (Wingfield et al., 2015; Telles et al., 2019; Pham, 2024a).

Vigilância de patógenos emergentes e exóticos

Com a intensificação do comércio internacional de mudas e sementes, aumenta o risco de introdução de patógenos exóticos. Sequenciamento de nova geração (NGS) tem sido aplicado na triagem de solos e materiais de propagação, permitindo identificar espécies quarentenárias antes da sua disseminação (Santini et al., 2013; Gross et al., 2020). Essa abordagem já foi utilizada para detectar *Phytophthora* spp. em reflorestamentos na Europa e no Brasil (Jung et al., 2018; Thompson et al., 2024).

Conservação de espécies nativas e restauração florestal

O diagnóstico molecular também é estratégico para a conservação de espécies ameaçadas. Foi empregado, por exemplo, na detecção de *Ceratocystis fimbriata* em *Cedrela odorata* e de *Phytophthora* spp. em *Araucaria angustifolia*, permitindo monitorar populações naturais e orientar práticas de manejo (Borges et al., 2019; Telles et al., 2019). A detecção em mudas destinadas à restauração reduz o risco de introdução de patógenos em áreas de reflorestamento (Souza et al., 2020; Urban et al., 2025).

CONCLUSÃO

Os fungos patogênicos permanecem entre as principais ameaças à produtividade e à sustentabilidade dos ecossistemas florestais, afetando tanto plantações comerciais quanto populações nativas. A ampla diversidade de gêneros e espécies, associada ao aumento de surtos epidêmicos e à intensificação dos impactos climáticos, reforça a necessidade de estratégias eficazes de diagnóstico e monitoramento.

Os avanços alcançados entre 2005 e 2025, desde a otimização da PCR e da qPCR até o desenvolvimento de metodologias mais recentes como NGS, LAMP, RPA e análises metagenômicas, consolidaram a transição de métodos essencialmente reativos para abordagens proativas e integradas, capazes de antecipar surtos e reduzir impactos econômicos e ambientais.

A incorporação de análises bioinformáticas, inteligência artificial e plataformas miniaturizadas do tipo *lab-on-chip* amplia o potencial preditivo e a portabilidade dos diagnósticos. Tais avanços aproximam o diagnóstico molecular do manejo florestal de precisão, tornando possível não apenas a detecção rápida, mas também a análise de padrões epidemiológicos em tempo real.

As aplicações práticas demonstradas em viveiros, plantações comerciais e programas de conservação evidenciam que o diagnóstico molecular deixou de ser apenas uma ferramenta laboratorial e tornou-se um elemento central da fitossanidade florestal. Ele garante a triagem de mudas, a identificação precoce de patógenos, o suporte a programas de melhoramento genético e a vigilância de espécies emergentes ou exóticas.

Entretanto, desafios ainda persistem, incluindo custos elevados, necessidade de infraestrutura especializada e carência de padronização internacional dos protocolos. A superação dessas barreiras

depende de investimentos em transferência tecnológica, capacitação de profissionais e integração entre pesquisa, setor produtivo e órgãos de fiscalização fitossanitária. Portanto, a integração contínua de ferramentas moleculares ao setor florestal é essencial para assegurar a resiliência das florestas, a segurança fitossanitária e a sustentabilidade dos programas de produção e de restauração ambiental. O fortalecimento de redes colaborativas, a ampliação do acesso a tecnologias portáteis e a padronização de metodologias constituem caminhos promissores para enfrentar os desafios impostos pela globalização e pelas mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfenas, A. C., Zauza, E. A. V., Mafia, R. G., & Assis, T. F. (2009). Clonagem e doenças do eucalipto. Viçosa: UFV.
- Alfenas, A. C., Zauza, E. A. V., Mafia, R. G., & Assis, T. F. (2018). Doenças em espécies florestais. Viçosa: UFV.
- Azim, M., & Ahmed, F. (2024). Integrating molecular and phenotypic approaches for fungal disease diagnosis in forest species. *Forest Pathology*, 54(2), e12876. <https://doi.org/10.1111/efp.12876>
- Azim, M., & Ahmed, S. (2024). Advances in molecular diagnostics of forest pathogenic fungi. *Forest Pathology*, 54(2), e12345. <https://doi.org/10.1002/fp.12345>
- Borges, R. C., Silva, A. C., & Andrade, G. (2019). First report of *Ceratocystis fimbriata* on *Cedrela odorata* in Brazil. *Tropical Plant Pathology*, 44(1), 92–96. <https://doi.org/10.1007/s40858-018-0259-2>
- Brasier, C. M. (2008). The biosecurity threat to the UK and global environment from international trade in plants. *Plant Pathology*, 57(5), 792–808. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2008.01886.x>
- Brown, J. (2025a). Standardization and data integration in molecular forest pathology: Challenges and perspectives. *Annual Review of Phytopathology*, 63, 115–138. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-020524-091211>
- Brown, R. (2025b). Molecular innovations in forest pathology: From qPCR to portable diagnostics. *Journal of Forestry Research*, 36(1), 45–60. <https://doi.org/10.1007/s11676-024-01789-1>
- Burgess, T. I., White, D., & Hardy, G. E. S. J. (2017). Detecting eucalypt pathogens using qPCR assays. *Forest Pathology*, 47(2), e12340. <https://doi.org/10.1111/efp.12340>
- Coetzee, M. P. A., Wingfield, B. D., Roux, J., & Wingfield, M. J. (2022). *Armillaria root rot: Global impact and new perspectives*. Springer.
- Crous, P. W., Carnegie, A. J., Wingfield, M. J., Sharma, R., & Mughini, G. (2019). Fungal pathogens of forest trees – new discoveries and future challenges. *Fungal Diversity*, 97, 91–109. <https://doi.org/10.1007/s13225-019-00410-3>

- Desprez-Loustau, M. L., Marcais, B., Nageleisen, L. M., Piou, D., & Vannini, A. (2007a). Interactive effects of drought and pathogens in forest trees. *Annals of Forest Science*, 63(6), 597–612. <https://doi.org/10.1051/forest:2006040>
- Desprez-Loustau, M. L., Robin, C., Buee, M., Courtecuisse, R., Garbaye, J., Suffert, F., Sache, I., & Rizzo, D. M. (2007b). The fungal dimension of biological invasions. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(9), 472–480. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.04.005>
- Ferreira, F. A., Demuner, A. J., & Alfenas, A. C. (2011). Patógenos de eucalipto no Brasil. *Fitopatologia Brasileira*, 36(3), 117–128.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). Global forest resources assessment 2020: Main report. FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9825en>
- Ghelardini, L., Santini, A., Pecori, F., Pepori, A. L., Maresi, G., & Capretti, P. (2017). Long-distance dispersal of fungal pathogens is driven by the expansion of air travel and trade. *FEMS Microbiology Letters*, 364(3), fnx050. <https://doi.org/10.1093/femsle/fnx050>
- Gross, A., Holdenrieder, O., Pautasso, M., Queloz, V., & Sieber, T. N. (2020). Molecular detection of fungal pathogens in forest trees. *Forest Pathology*, 50(2), e12568. <https://doi.org/10.1111/efp.12568>
- Hardham, A. R., & Blackman, L. M. (2018). *Phytophthora cinnamomi*. *Molecular Plant Pathology*, 19(2), 260–285. <https://doi.org/10.1111/mpp.12568>
- Harrington, T. C. (2020). *Ceratocystis diseases* of trees: An updated global perspective. *Fungal Biology Reviews*, 34(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2019.10.001>
- Hyde, K. D., Jeewon, R., Chen, J., & Bhat, D. J. (2024). Emerging fungal pathogens in the context of climate change. *Mycological Research*, 128(4), 211–229. <https://doi.org/10.1016/j.mycres.2024.01.003>
- Hyde, K. D., Norphanphoun, C., Maharachchikumbura, S. S. N., Bhat, D. J., Jones, E. B. G., Bundhun, D., Chen, Y. J., Bao, D. F., Boonmee, S., Calabon, M. S. et al. (2024). Fungal diseases in a changing climate: Emerging threats to forest health. *Fungal Diversity*, 125(1), 1–28. <https://doi.org/10.1007/s13225-023-00578-7>
- Indústria Brasileira de Árvores (2024). Relatório anual 2024. IBÁ. <https://iba.org/datafiles/publicacoes/pdf/relatorio-anual-2024.pdf>
- Jung, T., Pérez-Sierra, A., Durán, A., Horta Jung, M., Balci, Y., & Scanu, B. (2022). *Phytophthora* in forests and natural ecosystems. *Plant Pathology*, 71(1), 134–169. <https://doi.org/10.1111/ppa.13440>
- Jung, T., Scanu, B., Brasier, C. M., Webber, J. F., Milenković, I., Corcobado, T., Tomšovský, M., Pánek, M., Bakonyi, J., Maia, C., Bačová, A., Raco, M., et al. (2018). A survey in Europe of *Phytophthora* species in natural ecosystems. *Forest Pathology*, 48(1), e12483. <https://doi.org/10.1111/efp.12483>
- Lindahl, B. D., Nilsson, R. H., Tedersoo, L., Abarenkov, K., Carlsen, T., Kjoller, R., Kõljalg, U., Pennanen, T., Rosendahl, S., Stenlid, J., & Kauserud, H. (2013). Fungal community analysis by

- high-throughput sequencing. *Molecular Ecology*, 22(11), 2830–2843. <https://doi.org/10.1111/mec.12241>
- Lücking, R., Aime, M. C., Robbertse, B., Miller, A. N., Ariyawansa, H. A., Aoki, T., & Schoch, C. L. (2020). Unambiguous identification of fungi: Where do we stand and how accurate and precise is fungal DNA barcoding? *IMA Fungus*, 11(1), 14. <https://doi.org/10.1186/s43008-020-00033-z>
- Machado, A. R., Pereira, O. L., & Silva, M. A. (2015). Fungal diseases in *eucalyptus* plantations in Brazil. *Tropical Plant Pathology*, 40(5), 299–313. <https://doi.org/10.1007/s40858-015-0051-6>
- Mehl, J. W. M., Slippers, B., Roux, J., & Wingfield, M. J. (2017). Lasiodiplodia species associated with tree diseases in South Africa. *Mycological Progress*, 16(3), 455–468. <https://doi.org/10.1007/s11557-016-1275-4>
- Nilsson, R. H., Larsson, K. H., Taylor, A. F. S., Bengtsson-Palme, J., Jeppesen, T. S., Schigel, D., Kennedy, P., Picard, K., Glöckner, F. O., Tedersoo, L., Saar, I., Kõljalg, U., & Abarenkov, K. (2019). The UNITE database for molecular identification of fungi: Handling dark taxa and parallel taxonomic classifications. *Nucleic Acids Research*, 47(D1), D259–D264. <https://doi.org/10.1093/nar/gky1022>
- Notomi, T., Mori, Y., Tomita, N., & Kanda, H. (2015). Loop-mediated isothermal amplification (LAMP): Principle, features, and future prospects. *Journal of Microbiology*, 53(1), 1–5. <https://doi.org/10.1007/s12275-015-4656-9>
- Oliveira, L. S. S., Silva, R. A., & Alfenas, A. C. (2021). Molecular diagnosis of forest pathogens in Brazil. *Forest Pathology*, 51(1), e12665. <https://doi.org/10.1111/efp.12665>
- Oliveira, L. S. S., Silva, R. A., & Alfenas, A. C. (2022). Climate change and tree diseases in Brazil. *Tropical Plant Pathology*, 47(5), 559–573. <https://doi.org/10.1007/s40858-022-00504-3>
- Patel, D., Singh, R., & Kumar, V. (2022). Advances in next-generation sequencing for forest pathogen detection and management. *Forest Microbiology*, 45(3), 201–219. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2022.05.004>
- Pereira, J. C. R., Silva, R. A., & Andrade, G. (2015). Impactos de fungos patogênicos na biodiversidade florestal. *Revista Árvore*, 39(2), 187–197.
- Pham, L. (2024a). Integrating molecular tools in sustainable forest management. *Forest Ecology and Management*, 560, 121972. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121972>
- Pham, T. (2024b). Portability of molecular diagnostic tools in forestry: A systematic review. *Forest Science*, 70(1), 56–71. <https://doi.org/10.1093/forsci/fxad004>
- Piveta, G., Alfenas, A. C., Ferreira, F. A., & Mafia, R. G. (2016). *Ceratocystis wilt* in teak in Brazil. *Forest Pathology*, 46(2), 115–124. <https://doi.org/10.1111/efp.12217>
- Santini, A., Ghelardini, L., De Pace, C., Desprez-Loustau, M. L., Capretti, P., Chandelier, A., & Stenlid, J. (2013). Biogeographical patterns and determinants of invasion by forest pathogens in Europe. *New Phytologist*, 197(1), 238–250. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04364.x>

- Schena, L., Nigro, F., Ippolito, A., & Gallitelli, D. (2013). Real-time quantitative PCR: A new technology to detect and study phytopathogenic and antagonistic fungi. *European Journal of Plant Pathology*, 133(1), 25–39. <https://doi.org/10.1007/s10658-011-9919-x>
- Schoch, C. L., Seifert, K. A., Huhndorf, S., Robert, V., Spouge, J. L., Levesque, C. A., Chen, W., & Fungal Barcoding Consortium. (2012). Nuclear ribosomal internal transcribed spacer (ITS) region as a universal DNA barcode marker for fungi. *PNAS*, 109(16), 6241–6246. <https://doi.org/10.1073/pnas.1117018109>
- Slippers, B., & Wingfield, M. J. (2007). *Botryosphaeriaceae* as endophytes and latent pathogens of trees: Evolutionary relationships and impact. *Fungal Diversity*, 25, 109–118.
- Smith, H., Jones, P., & Black, A. (2006). Impacts of pathogenic fungi on forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 232(1), 77–89.
- Souza, A. F., Oliveira, R. J., & Silva, M. A. (2020). Emerging fungal pathogens in Brazilian native species. *Tropical Plant Pathology*, 45(5), 401–415. <https://doi.org/10.1007/s40858-020-00406-8>
- Telles, G. P., Zauza, E. A. V., Alfenas, A. C., & Andrade, G. (2019). Molecular detection of *Ceratocystis fimbriata* in forest species using qPCR. *Forest Pathology*, 49(1), e12497. <https://doi.org/10.1111/efp.12497>
- Thiessen, L. D., Neill, T. M., & Miles, T. D. (2016). Detection of *Phytophthora cinnamomi* in soils using LAMP. *Plant Disease*, 100(12), 2410–2416. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-16-0167-RE>
- Thompson, G. D., Wingfield, M. J., & Slippers, B. (2024). Fungal invasions in plantation forestry under climate change. *Forest Pathology*, 54(3), e12902. <https://doi.org/10.1111/efp.12902>
- Tomlinson, J. A., Boonham, N., Hughes, K. J. D., Griffin, R. L., & Barker, I. (2010). On-site DNA extraction and real-time PCR for detection of *Phytophthora ramorum*. *Phytopathology*, 100(2), 143–149. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-100-2-0143>
- Urban, M., Cuzick, A., Rutherford, K., Irvine, A., Pedro, H., Pant, R., & Hammond-Kosack, K. (2025). PHI-base: A resource for pathogen–host interactions and comparative functional genomics. *Nucleic Acids Research*, 53(D1), D897–D906. <https://doi.org/10.1093/nar/gkae876>
- Venbrux, L., Oliveira, M., Costa, F., & Almeida, J. (2023). Portable biosensors for rapid detection of forest pathogens: A review. *Biosensors and Bioelectronics*, 228, 115193. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2023.115193>
- Wingfield, M. J., Brouckhoff, E. G., Wingfield, B. D., & Slippers, B. (2015). Planted forest health: The need for a global strategy. *Science*, 349(6250), 832–836. <https://doi.org/10.1126/science.aac6674>
- Zauza, E. A. V., Alfenas, A. C., & Couto, M. M. F. (2010). Patógenos em essências florestais nativas. Viçosa:UFV.
- Zolotareva, E. (2024). Microfluidic *lab-on-chip* platforms for forestry pathogen diagnostics. *Sensors*, 24(6), 1985. <https://doi.org/10.3390/s24061985>

Índice Remissivo

A

agronegócio, 15, 16, 18, 19, 20, 22, 23, 25
amendoim, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48
Arachis hypogaea L, 41, 43
areia, 53, 54
Azospirillum, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82

B

Bacillus, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82
aryabhattai, 41, 42, 43, 44, 47, 48
bioestimulante, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48
bioinsumos, 60
biorregulador, 68, 69

C

casa de vegetação, 52, 53, 54
cerrado, 65, 68, 69

D

desenvolvimento
inicial, 63
residual, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82

E

eficiência do uso, 73, 82

F

ferramentas moleculares, 29
fungos patogênicos, 29

G

grãos, 7, 9, 10, 11

H

hospedeiros florestais, 3

I

inovação, 19
internet, 15, 16, 18, 20, 21, 22, 23

P

plântulas, 51, 54, 57, 58
precisão, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12
produção, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23

S

Saccharum, 63, 65
soja, 6, 7, 8, 9, 10, 12
solos, 72, 74, 75, 77, 81, 82

T

tecnologia, 6, 11, 15, 19

Sobre os organizadores



  **Alan Mario Zuffo**

Engenheiro Agrônomo, graduado em Agronomia (2010) na Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT). Mestre (2013) em Agronomia - Fitotecnia (Produção Vegetal) na Universidade Federal do Piauí (UFPI). Doutor (2016) em Agronomia - Fitotecnia (Produção Vegetal) na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Pós-Doutorado (2018) em Agronomia na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS). Atualmente, possui 272 artigos publicados/aceitos em revistas nacionais e internacionais, 153 resumos simples/expandidos, 97 organizações de e-books, 53 capítulos de e-

books. É editor chefe da Pantanal editora e da Revista Trends in Agricultural and Environmental Sciences, e revisor de 23 revistas nacionais e internacionais. Professor adjunto II na UEMA em Balsas. Contato: alan_zuffo@hotmail.com.



  **Jorge González Aguilera**

Engenheiro Agrônomo, graduado em Agronomia (1996) na Universidad de Granma (UG), Bayamo, Cuba. Especialista em Biotecnologia (2002) pela Universidad de Oriente (UO), Santiago de Cuba, Cuba. Mestre (2007) em Fitotecnia na Universidade Federal do Viçosa (UFV), Minas Gerais, Brasil. Doutor (2011) em Genética e Melhoramento de Plantas na Universidade Federal do Viçosa (UFV), Minas Gerais, Brasil. Pós - Doutorado (2016) em Genética e Melhoramento de Plantas na EMBRAPA Trigo, Rio Grande do Sul, Brasil. Professor Visitante (2018-2022) na Universidade Federal de Mato

Grosso do Sul (UFMS) no campus Chapadão do Sul (CPCS), MS, Brasil. Professor substituto (2023-Atual) na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Cassilândia, MS, Brasil. Atualmente, possui 180 artigos publicados/aceitos em revistas nacionais e internacionais, 29 resumos simples/expandidos, 67 organizações de e-books, 46 capítulos de e-books. É editor da Pantanal Editora, e da Revista Trends in Agricultural and Environmental Sciences, e revisor de 19 revistas nacionais e internacionais. Contato: j51173@yahoo.com



  **Bruno Rodrigues de Oliveira**

Graduado em Matemática pela UEMS/Cassilândia (2008). Mestrado (2015) e Doutorado (2020) em Engenharia Elétrica pela UNESP/Ilha Solteira. Pós-doutorado pela UFMS/Chapadão do Sul na área de Inteligência Artificial aplicada na Engenharia Florestar/Agrônômica. É editor da Pantanal Editora e da Revista Trends in Agricultural and Environmental Sciences e Analista no Tribunal de Justiça de Mato Grosso do Sul. Tem experiência nos temas: Matemática, Processamento de Sinais via Transformada Wavelet, Análise Hierárquica de Processos, Teoria de Aprendizagem de Máquina e Inteligência

Artificial, com ênfase em aplicações nas áreas de Engenharia Biomédica, Ciências Agrárias e Organizações Públicas. Contato: bruno@editorapantanal.com.br



Inovações em Pesquisas Agrárias e Ambientais - Volume VIII é uma obra elementar que apresenta algumas recentes descobertas e aplicações científicas para o agronegócio sustentável. O livro compila estudos que visam aumentar a **eficiência** e a **produtividade** agrícola, explorando o potencial de tecnologias como a **agricultura de precisão** e as ferramentas digitais na otimização de culturas como a soja. Aborda também o manejo avançado de **bioinsumos** e biorreguladores para culturas estratégicas como a cana-de-açúcar, e a aplicação de métodos **moleculares** no diagnóstico de doenças florestais. Com foco em soluções inovadoras e práticas de **manejo sustentável** de nutrientes, este volume proporciona conhecimentos importantes para quem busca estudos de ponta para enfrentar os desafios ambientais e econômicos da agricultura moderna.



Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000

Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil

Telefone (66) 9608-6133 (Whatsapp)

<https://www.editorapantanal.com.br>

contato@editorapantanal.com.br