

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS - UFSCar  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CCA  
DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGIA E PRODUÇÃO VEGETAL E ANIMAL -  
DBPVA

THIAGO KASISKI DE ALMEIDA

**UTILIZAÇÃO DE FUNGOS ENDOFÍTICOS NO  
CONTROLE DE PRAGAS AGRÍCOLAS: UMA  
REVISÃO**

Araras  
2025

THIAGO KASISKI DE ALMEIDA

**UTILIZAÇÃO DE FUNGOS ENDOFÍTICOS NO CONTROLE DE PRAGAS AGRÍCOLAS:  
UMA REVISÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao Departamento de Biotecnologia e Produção Vegetal e Animal da Universidade Federal de São Carlos, para obtenção do título de bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Neves Marques

Araras  
2025

Almeida, Thiago Kaziski de

Utilização de fungos endofíticos no controle de pragas agrícolas: uma revisão / Thiago Kaziski de Almeida -- 2025.  
39f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus Araras, Araras

Orientador (a): Rodrigo Neves Marques

Banca Examinadora: Flavia de Moura Manoel Bento,  
Ruana Regina Negrão de Souza

Bibliografia

1. Manejo integrado de pragas. 2. Microbiologia agrícola. I. Almeida, Thiago Kaziski de. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática  
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Helena Sachi do Amaral - CRB/8  
7083



Dedico este trabalho:

Aos meus familiares, que sempre foram exemplo para mim, sendo alicerce nos momentos difíceis e companhia nos bons momentos.

A minha namorada, que me apoiou durante essa jornada, torcendo por mim e me apoiando em minhas escolhas.

Aos meus amigos, dos quais já dividi o mesmo teto, vocês me ensinaram valores que não aprendemos em sala de aula, mas que servem para a vida.

Aos meus colegas de turma, com quem dividi as dores e felicidades provenientes do curso, torço por cada um de vocês.

“Nunca a fortuna põe um homem em tal altura que não precise de um amigo”  
**Sêneca, Cartas a Lucílio.**

## **AGRADECIMENTOS**

Por meio deste venho agradecer aos envolvidos nessa jornada que foi e está sendo minha graduação. Professor Dr. Ricardo Viani, obrigado por me receber em meu primeiro ano no LASPEF, do qual eu me despedi em 2021, com uma bagagem enorme de aprendizados e boas memórias.

Professor Dr. Rodrigo Marques, agradeço a oportunidade de fazer parte do seu grupo de estudos que está em fase de crescimento, e em breve trará bons frutos para a pesquisa, agradeço também a orientação, os ensinamentos e a paciência durante esse período.

A Prof. Dra. Alessandra Penha, que muitas vezes foi uma fonte valiosa de bons conselhos e exemplo de profissional, agradeço por todo o cuidado e tempo que dedicou em me apoiar.

Aos demais mestres que tive o prazer de aprender e dividir o mesmo espaço, agradeço o profissionalismo e também os ensinamentos, esses são de verdadeira importância para quem eu sou.

Aos colegas de grupo de estudos que estiveram comigo em meu processo de aprendizagem e desenvolvimento, agradeço a companhia e também os bons momentos compartilhados.

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise abrangente sobre o uso de fungos endofíticos no controle de pragas agrícolas, discutindo mecanismos biológicos, interações planta–microrganismo, aplicações práticas e potencial agrônomo dessa tecnologia. A partir de uma revisão aprofundada da literatura, foram examinados aspectos ecológicos, metabólicos e fisiológicos relacionados ao papel dos endófitos na defesa vegetal, destacando sua contribuição para o manejo integrado de pragas, a redução do uso de defensivos químicos e a ampliação da sustentabilidade nos sistemas produtivos. O estudo evidencia que esses microrganismos atuam por rotas distintas e complementares, como antibiose, competição, indução de resistência sistêmica e modulação hormonal, resultando em proteção contínua e multifuncional. Também foram analisados os desafios operacionais, limitações ambientais, requisitos técnicos para inoculação e variáveis que influenciam a colonização em campo. Os resultados da revisão demonstram que os fungos endofíticos constituem alternativa promissora e de alto valor estratégico para a agricultura contemporânea, oferecendo soluções biologicamente eficientes e alinhadas às demandas econômicas e ambientais atuais. O trabalho conclui que o fortalecimento das pesquisas, a padronização de protocolos e o aprimoramento das formulações comerciais serão determinantes para a consolidação dessa biotecnologia em larga escala.

**Palavras-chave:** Fungos endofíticos; Biocontrole; Agricultura sustentável; Manejo integrado de pragas; Microbiologia agrícola.

## **ABSTRACT**

### **USE OF ENDOPHYTIC FUNGI ON AGRICULTURAL PEST CONTROL: A REVIEW**

This study presents a comprehensive analysis of the use of endophytic fungi in the biological control of agricultural pests, addressing biological mechanisms, plant–microorganism interactions, practical applications, and the agronomic potential of this technology. Based on an extensive literature review, ecological, metabolic, and physiological aspects related to the role of endophytes in plant defense were examined, emphasizing their contribution to integrated pest management, the reduction of chemical pesticide use, and the advancement of sustainable agricultural systems. The findings reveal that these microorganisms act through multiple and complementary pathways, such as antibiosis, competition, systemic resistance induction, and hormonal modulation, resulting in continuous and multifunctional protection. Operational challenges, environmental limitations, inoculation requirements, and field colonization variables were also evaluated. Overall, the review demonstrates that endophytic fungi represent a highly promising and strategic alternative for modern agriculture, offering biologically efficient solutions aligned with contemporary economic and environmental demands. The study concludes that strengthening research, standardizing protocols, and improving commercial formulations will be essential for the large-scale consolidation of this biotechnology.

**Keywords:** Agricultural microbiology; Biocontrol; Endophytic fungi; Integrated pest management; Sustainable agriculture.

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....   | 8         |
| <b>2. OBJETIVOS</b> .....  | 9         |
| <b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....   | 9         |
| <b>4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....  | 9         |
| 4.1 FUNGOS ENDOFÍTICOS.....  | 9         |
| 4.1.1 FUNGOS ENDOFÍTICOS: CONCEITO, DIVERSIDADE E ECOLOGIA .....                                 | 9         |
| 4.1.2 INTERAÇÕES ENDOFÍTICAS E DEFESA VEGETAL.....   | 12        |
| 4.2 ENDÓFITOS NO CONTROLE DE PRAGAS .....  | 14        |
| <b>5. APLICAÇÕES PRÁTICAS DO USO DE FUNGOS ENDOFÍTICOS NO CONTROLE DE PRAGAS AGRÍCOLAS</b> ..... | 24        |
| 5.1 PROTOCOLOS DE INOCULAÇÃO E ESTABELECIMENTO ENDOFÍTICO EM CAMPO .....                         | 24        |
| 5.2 MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS (MIP) COM USO DE FUNGOS ENDOFÍTICOS ..                            | 26        |
| 5.3 LIMITAÇÕES, RISCOS E BOAS PRÁTICAS PARA APLICAÇÃO AGRONÔMICA DE FUNGOS ENDOFÍTICOS .....     | 28        |
| <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....  | <b>31</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....  | <b>31</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

A agricultura contemporânea enfrenta um cenário de crescente complexidade atrelado a presença de pragas agrícolas em seus sistemas produtivos, a perda atribuída a esse único fator representa cerca de 18% a 26% da perda global na agricultura mundial. Esse valor ultrapassa a marca de 400 bilhões de dólares anualmente (Culliney, 2014). Dentro das práticas de manejo, a utilização de agroquímicos falha em alguns cenários, por conta de seus impactos ambientais negativos, e também considerando a dinâmica de resistência dos insetos alvo, resultantes do manejo inadequado das moléculas, e também de características individuais das espécies pragas (Culliney, 2014).

Nesse cenário, surge a necessidade de adoção de novas práticas sustentáveis para agregar ao Manejo Integrado de Pragas (MIP), sendo uma técnica promissora a utilização de fungos endofíticos com o objetivo de controlar a população dos insetos. Essa classe de Microrganismos coloniza internamente os tecidos vegetais, sem causar sintomas negativos às plantas (Panwar e Szczepaniec, 2024). Entretanto, as reações resultantes do processo de colonização, podem atuar no controle direto e / ou indireto de insetos praga, com diferentes mecanismos de atuação (Kour et al., 2024; Mattoo e Nonzom, 2021).

Por se tratar de um processo biológico com múltiplas espécies, a relação entre o complexo Fungo-Planta-Praga é altamente específica, podendo resultar em diferentes cenários caso um desses pilares mude, assim como as variáveis ambientais, que estão diretamente relacionadas com os processos biológicos presentes nessas interações multifatoriais (Kour et al., 2024; Mattoo e Nonzom, 2021; Panwar e Szczepaniec, 2024).

A complexidade das interações biológicas somada a necessidade atual de novas técnicas de controle de insetos praga, surge como ponto de partida para a investigação científica alvo deste trabalho.

## 2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste projeto é a obtenção e organização de dados e informações da literatura científica sobre a utilização de fungos endofíticos no controle de pragas agrícolas.

E como objetivo específico, este trabalho possui a finalidade de verificar e relatar as diferentes interações entre Fungo-Planta-Praga e seus respectivos mecanismos de atuação, assim como a utilização prática desses microrganismos em sistemas de agrícolas.

## 3. MATERIAL E MÉTODOS

A obtenção de dados foi realizada de forma *online* utilizando bases de dados disponíveis como *Google Scholar* e a biblioteca online CAFE. Os termos pesquisados incluem: “controle de pragas endofíticos”, “endófito”, “endofítico”, “endophitic”, “endophyte”, “endophitic fungi”, “fungos endofítico”, “pest management endophitic”.

Os critérios de seleção dos materiais foram tipo do material e resultados do trabalho. Artigos foram priorizados em relação aos demais tipos de materiais, e trabalhos cujo os resultados demonstraram relevância para o tema.

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 FUNGOS ENDOFÍTICOS

#### 4.1.1 FUNGOS ENDOFÍTICOS: CONCEITO, DIVERSIDADE E ECOLOGIA

Os fungos endofíticos constituem um grupo extremamente diverso de microrganismos que habitam os tecidos internos das plantas sem causar sintomas aparentes de doença, estabelecendo uma relação que se caracteriza pela neutralidade inicial mas que frequentemente evolui para um estado de mutualismo funcional, pois tais organismos contribuem para a fisiologia vegetal, para o fortalecimento defensivo e para a estabilidade metabólica das culturas agrícolas, enquanto a planta oferece abrigo, nutrientes e condições microambientais estáveis que favorecem a sobrevivência e a disseminação do microrganismo, formando uma parceria que, sustenta boa parte da capacidade adaptativa das espécies vegetais em ambientes diversos e sob pressão biótica intensa (Gowtham et al., 2024; Rabbee et al., 2024).

Observa-se que as rotas de colonização podem ocorrer tanto por vias como; estômatos, lenticelas, raízes jovens ou fissuras de crescimento, quanto por processos mediados por insetos e organismos do solo, o que reforça a ideia de que os endófitos integram uma teia ecológica complexa que envolve múltiplos níveis de interação, ultrapassando a simples relação microrganismo–hospedeiro e incluindo todo o ambiente circundante (Mattoo e Nonzom, 2021; Panwar e Szczepaniec, 2024).

Essa diversidade se expressa também em sua funcionalidade, pois diferentes grupos taxonômicos apresentam capacidades distintas de produzir metabólitos secundários, enzimas hidrolíticas, compostos voláteis e substâncias bioativas que interferem diretamente no metabolismo vegetal e no comportamento de pragas e patógenos, criando camadas múltiplas de proteção que atuam simultaneamente por mecanismos de antibiose, competição, parasitismo, indução de resistência sistêmica e modulação hormonal da planta, características amplamente documentadas em estudos com culturas como maracujá, tomate, café, banana e cana-de-açúcar (Franzin et al., 2022; Garcia et al., 2024; Pereira, 2025; Tavares et al., 2018; Wei et al., 2020).

A ecologia dos fungos endofíticos revela ainda que sua entrada e permanência no tecido vegetal não são resultados de uma colonização aleatória, mas de processos seletivos altamente refinados ao longo da evolução, pois a planta reconhece o microrganismo através de sinais moleculares específicos e responde modulando mecanismos de defesa para permitir sua permanência estável, evitando que a interação se torne patogênica, o que demonstra que o equilíbrio endofítico é também um fenômeno regulado pelo sistema imunológico vegetal, exigindo harmonia entre tolerância e vigilância (Mendes et al., 2025). A estabilidade dessa relação depende de fatores como espécie vegetal, genótipo, condições do solo, microbiota rizosférica, temperatura, umidade, competição entre endófitos e presença de pragas ou fitopatógenos que alteram drasticamente o ambiente interno da planta (Mattoo e Nonzom, 2021).

Estudos realizados em ambientes naturais, como restingas, mostram que a biodiversidade endofítica alcança níveis extremamente elevados, com espécies adaptadas a solos pobres, salinos ou altamente estressantes, sugerindo que boa parte da resiliência das plantas nativas está associada à capacidade de recrutar endófitos com funções estratégicas para sobrevivência sob condições adversas. Esses microrganismos apresentam, por exemplo, maior tolerância à dessecação, ao

estresse osmótico, à radiação UV e à competição microbiana intensa, características que os tornam excelentes candidatos para uso como agentes de biocontrole em ambientes agrícolas com desafios semelhantes, como regiões de clima semiárido, áreas de cultivo intensivo e solos degradados por manejo inadequado ou histórico de uso excessivo de agroquímicos (Freire et al., 2015; Tavares et al., 2018).

A ecologia endofítica também está ligada aos processos de colonização inicial, que podem ocorrer desde o estágio de semente, configurando uma herança microbiana vertical que influencia o desenvolvimento da planta desde seus primeiros estágios. Muitos fungos endofíticos estão presentes no embrião ou nos tecidos do tegumento, sendo transmitidos de geração em geração e garantindo que a progênie já inicie seu desenvolvimento com um consórcio microbiano protetor que, ao longo do tempo, se expande para caules, raízes e folhas (Kour et al., 2024).

Paralelamente, grande parte dos endófitos é adquirida por transmissão horizontal, ou seja, por organismos presentes no solo, água, ar ou transportados por insetos. A rizosfera é especialmente rica nesse processo, pois constitui um hotspot de interação biológica onde exsudatos radiculares modulam a composição microbiana e onde fungos com potencial endofítico competem entre si e com outros organismos pela oportunidade de adentrar o sistema vascular da planta (Oliveira et al., 2025).

Após a entrada, os endófitos precisam superar barreiras imunológicas, evitar reações de hipersensibilidade e estabelecer equilíbrio com a microbiota residente, o que mostra que a colonização é um processo dinâmico, cujo sucesso depende tanto das estratégias do fungo quanto da receptividade da planta (Kour et al., 2024; Vega, 2018).

Em relação à funcionalidade ecológica, destaca-se o papel dos endófitos como defensores internos contra pragas, pois muitos deles produzem toxinas, enzimas e compostos voláteis que alteram o comportamento de insetos ou afetam sua fisiologia diretamente (Li et al., 2023).

Essa funcionalidade pode ser visualizada em *Metarhizium* spp., que embora seja amplamente associado como fungo entomopatogênico aplicado de forma exógena, estudos recentes demonstram que algumas espécies desse gênero de fungos podem se comportar como endófitos em algumas culturas como o café, translocando-se via xilema e floema dentro da planta e conferindo resistência sistêmica contra pragas como *Leucoptera coffeella*, reduzindo substancialmente sua capacidade de penetrar as folhas e formar as galerias características dessa praga.

Esse fenômeno amplia o escopo da entomopatogenicidade clássica para uma versão endofítica mais duradoura, que não depende de reaplicações constantes e apresenta maior estabilidade ambiental (Franzin et al., 2022).

Outro elemento ecológico relevante é a capacidade dos endófitos de modular vias de sinalização hormonal vegetal, como ácido jasmônico, etileno, auxinas e ácido salicílico, ativando rotas metabólicas associadas à resistência sistêmica induzida, processo pelo qual a planta eleva seu estado basal de defesa, tornando-se menos suscetível a ataques futuros (Sá et al., 2024).

Por fim, a ecologia dos fungos endofíticos também inclui interações com outros microrganismos, formando redes de coexistência ou competição dentro dos tecidos vegetais. Em culturas como a banana, endófitos antagonistas já demonstraram capacidade de inibir o avanço de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, agente causal do Mal-do-Panamá, através da produção de metabólitos antifúngicos ou competição por espaço e nutrientes (Taping et al., 2023). Em produtos hortícolas, endófitos podem retardar deterioração pós-colheita ao competir com microrganismos sapróbios ou patogênicos que se desenvolvem durante o armazenamento (Franco et al., 2022).

Em síntese, os fungos endofíticos representam a intersecção entre diversidade microbiana e ecologia funcional aplicada à agricultura. Sua diversidade taxonômica, plasticidade ecológica, produção de metabólitos bioativos e capacidade de modular a fisiologia vegetal podem integrar estratégias eficientes de controle de insetos praga (Li et al., 2023; Vega, 2018)

#### 4.1.2 INTERAÇÕES ENDOFÍTICAS E DEFESA VEGETAL

A planta, ao detectar a presença de um endófito, não desencadeia uma resposta imune completa contra o fungo como ocorre diante de patógenos, mas ativa mecanismos de tolerância e ajusta a sensibilidade dos receptores de reconhecimento molecular, o que permite que o fungo colonize os tecidos sem desencadear dano fisiológico, criando um estado fisiológico intermediário que favorece tanto a planta quanto o microrganismo e estabelece a base para a defesa sistêmica induzida (Garcia et al., 2024; Mendes et al., 2025; Rabbee et al., 2024).

As vias de defesa vegetal moduladas por fungos endofíticos incluem respostas mediadas por ácido jasmônico, etileno e ácido salicílico, que constituem os principais

eixos de sinalização associados à resistência sistêmica induzida (RSI) e à resistência sistêmica adquirida (RSA), dois processos fundamentais na defesa de culturas agrícolas contra insetos e patógenos. O ácido jasmônico e o etileno estão envolvidos na resposta a pragas mastigadoras e sugadoras, bem como a danos físicos, enquanto o ácido salicílico está associado ao combate a patógenos biotróficos e necrotróficos (Choudhary et al., 2007; Wang et al., 2020).

Observa-se que a colonização endofítica, especialmente pelas espécies de fungos dos gêneros *Trichoderma*, *Colletotrichum*, *Beauveria* e diversos endófitos de restingas, pode ativar simultaneamente essas rotas de defesa ou modular o limiar de ativação, de modo que a planta responde de forma mais rápida e precisa diante de um ataque real, reduzindo os danos antes que atinjam níveis economicamente significativos (Freire et al., 2015; Pamphile et al., 2017; Tavares et al., 2018).

Além da ativação hormonal, os endófitos influenciam diretamente o metabolismo secundário das plantas, promovendo aumento na síntese de compostos fenólicos, terpenoides, alcaloides, flavonoides e substâncias voláteis com propriedades antifúngicas, antibacterianas e inseticidas. A intensificação da produção desses compostos não ocorre de maneira aleatória, mas de forma associada à colonização vascular ou radicular exercida pelos endófitos, que podem induzir sinais metabólicos a partir de moléculas como elicitores, quitinas modificadas e proteínas de baixa massa molecular capazes de desencadear respostas defensivas específicas (Felix et al., 2019; Oliveira et al., 2025; Taping et al., 2023).

Outro aspecto relevante das interações endofíticas está relacionado à antibiose direta, mecanismo no qual o fungo endofítico produz compostos bioativos que inibem pragas ou patógenos dentro da planta. Muitos endófitos sintetizam substâncias como peptídeos antimicrobianos, poliacetilenos, lactonas macrocíclicas, pironas, sesquiterpenos e compostos voláteis capazes de bloquear processos vitais dos invasores, como respiração mitocondrial, replicação celular e síntese de parede celular (Pamphile et al., 2017; Pereira, 2025).

As interações endofíticas exercem influência no comportamento de insetos-praga, seja pela modificação da química vegetal, seja pela ação direta do fungo sobre o inseto. Em culturas como cana-de-açúcar, a presença de endófitos reduz a atratividade de insetos coleópteros como *S. levis*, pois modifica o perfil volátil da planta e compromete a comunicação química que orienta o comportamento de busca do inseto (Pereira, 2025). Em tomate, a presença de fungos endofíticos foram

relacionados com a emissão de compostos voláteis atrativos para inimigos naturais, como parasitoides, aumentando a complexidade ecológica da defesa vegetal (Sá et al., 2024).

No nível físico, a presença de endófitos pode reforçar as barreiras estruturais da planta, como espessamento da parede celular, deposição de compostos lignificados, aumento na suberização e fortalecimento da cutícula foliar, mecanismos que dificultam a ação de insetos com comportamentos perfuradores e mastigadores. Essa resposta estrutural é particularmente evidente em culturas perenes como café, onde a colonização endofítica tende a ser mais estável e prolongada, permitindo que a planta mantenha um estado de defesa elevado ao longo de ciclos de produção inteiros. Nessas culturas, o aumento da lignificação interna reduz o desenvolvimento de galerias de insetos e impede a progressão de podridões radiculares ou basais que dependem da degradação prévia da parede celular para colonizar o parênquima (Franzin et al., 2022; Sasidharan et al., 2011).

Além disso, a interação endofítica pode alterar a fisiologia geral da planta, promovendo crescimento mais robusto, maior absorção de nutrientes e fortalecimento de processos fotossintéticos, pois alguns endófitos produzem auxinas, giberelinas e outros fitormônios que modulam o desenvolvimento vegetal (Garcia et al., 2024). Embora essa função seja frequentemente descrita em contextos de promoção de crescimento, sua relevância para defesa vegetal é evidente, pois plantas bem nutridas, fisiologicamente equilibradas e com reservas metabólicas adequadas exibem maior resiliência diante de ataques bióticos, diminuindo o impacto econômico das pragas (Mattoo e Nonzom, 2021).

## 4.2 ENDÓFITOS NO CONTROLE DE PRAGAS

Grande parte da resiliência das espécies vegetais; especialmente diante de pragas, fitopatógenos e estresses bióticos e abióticos, é resultado da ação de comunidades microbianas internas altamente complexas, entre as quais os fungos endofíticos se destacam por sua capacidade singular de modular processos fisiológicos, bioquímicos e defensivos, tornando-se elementos indispensáveis para a agricultura contemporânea (Fontana et al., 2021 ; Garcia et al., 2024; Gowtham et al., 2024; Mattoo e Nonzom, 2021).

A relevância atribuída aos fungos endofíticos não decorre apenas de seu papel ecológico, mas de seu potencial agrônomo concreto, sustentado por pesquisas que demonstram sua eficiência no controle de pragas e doenças que comprometem culturas de alta importância econômica (Vega, 2008; Vega 2018).

Estudos envolvendo *B. bassiana*, *Colletotrichum* sp., *Trichoderma* spp. e endófitos associados a restingas, cactáceas, maracujá, café, tomate e cana-de-açúcar mostram que esses microrganismos podem atuar por antibiose, modulação hormonal, alterações físicas na planta, indução de resistência sistêmica e em alguns casos, entomopatogenicidade direta no inseto (Franzin et al., 2022; Mendes et al., 2025; Pereira, 2025; Powell et al., 2009; Toffa et al., 2021).

Além do controle de pragas diretos, atuam na promoção do crescimento vegetal, na melhoria da absorção de nutrientes, na tolerância ao estresse hídrico e térmico e na estabilidade fisiológica da planta, aumentando a tolerância das plantas aos ataques dos insetos (Mattoo e Nonzom, 2021).

A diversidade dos mecanismos de atuação no controle de pragas agrícolas torna a utilização de fungos endofíticos uma ferramenta importante para o conjunto de medidas disponíveis para a finalidade de controlar populações de insetos pragas e / ou mitigar os danos diretos nas culturas de interesse (Panwar e Szczepaniec, 2024; Vega, 2008).

Alguns estudos de caso foram reunidos na tabela a seguir para melhor visualização dos mecanismos de atuação dos fungos endofíticos em pragas agrícolas:

**Tabela 1: Estudos de caso da literatura sobre o uso de fungos endofíticos contra pragas agrícolas e seus respectivos mecanismos de ação.**

| Culturas | Fungos   | Insetos                     | Mecanismos                    | Autores             |
|----------|--|-----------------------------|-------------------------------|---------------------|
| Algodão  | <i>Lecanicillium lecanii</i> / <i>Beauveria bassiana</i> | <i>Aphis gossypii</i>       | Prolongamento do ciclo        | Gurulingappa et al. |
| Algodão  | <i>Purpureocillium lilacinum</i>                         | <i>Helicoverpa zea</i>      | Mortalidade de larvas         | Lopez e Sword       |
| Café     | <i>Metarhizium robertsii</i>                             | <i>Leucoptera coffeella</i> | Diminuição dos danos causados | Franzin et al.      |

|                |                               |                                |  |                   |
|----------------|-------------------------------|--------------------------------|--|-------------------|
| Cana-de-açúcar | <i>Metarhizium</i> spp.       | <i>Sphenophorus levis</i>      | Menor atratividade                         | Pereira           |
| Cebola         | <i>Hypocrea lixii</i>         | <i>Thrips tabaci</i>           | Diminuição de danos causados e fecundidade | Muvea et al.      |
| Citrus         | <i>Beauveria bassiana</i>     | <i>Diaphorina citri</i>        | Mortalidade e menor ovoposição             | Bamisile et al.   |
| Colza          | <i>Metarhizium anisopliae</i> | <i>Plutella xylostella</i>     | Mortalidade em larvas                      | Batta             |
| Fava-comum     | <i>Hypocrea lixii</i>         | <i>Liriomyza huidobrensis</i>  | Diminuição da longevidade                  | Akutse et al.     |
| Feijão         | <i>Hypocrea lixii</i>         | <i>Liriomyza huidobrensis</i>  | Diminuição de danos causados               | Gathage et al.    |
| Milho          | <i>Beauveria bassiana</i>     | <i>Ostrinia nubilalis</i>      | Mortalidade por micose                     | Bing e Lewis      |
| Soja           | <i>Beauveria bassiana</i>     | <i>Helicoverpa gelatopoeon</i> | Menor ovoposição e fecundidade             | Russo et al.      |
| Pimenta        | <i>Trichoderma harzianum</i>  | <i>Nezara viridula</i>         | Atração de parasitóides                    | Van Hee et al.    |
| Tomate         | <i>Acremonium strictum</i>    | <i>Helicoverpa armigera</i>    | Mortalidade de larvas                      | Jallow et al.     |
| Tomate         | <i>Beauveria bassiana</i>     | <i>Helicoverpa zea</i>         | Mortalidade por micose                     | Powell et al.     |
| Tomate         | <i>Beauveria bassiana</i>     | <i>Bemisia tabaci</i>          | Menor atratividade                         | Wei et al.        |
| Tomate         | <i>Beauveria bassiana</i>     | <i>Helicoverpa armigera</i>    | Diminuição na alimentação                  | Toffa et al.      |
| Tomate         | <i>Beauveria bassiana</i>     | <i>Tuta absoluta</i>           | Mortalidade de larvas e pupas              | Silva et al.      |
| Tomate         | <i>Beauveria bassiana</i>     | <i>Tuta absoluta</i>           | Mortalidade por micose                     | Klieber e Reineke |

A atuação dos endófitos sobre insetos-praga pode ocorrer por múltiplos caminhos simultâneos, envolvendo antibiose direta através de toxinas fúngicas ou vegetais, modificação da estrutura vegetal, alterações comportamentais no inseto alvo, indução de resistência sistêmica, além de processos entomopatogênicos clássicos em fungos como *B. bassiana*, que, ao atuar como endófito, intensifica sua eficiência agrônômica ao colonizar xilema e tecidos internos, protegendo a planta de ataques repetidos (Franzin et al., 2019; Klieber e Reineke, 2016; Kour et al., 2024; Mattoo e Nonzom., 2021).

O mecanismo de antibiose resultante de compostos químicos produzidos pela planta ou pelos fungos endofíticos é um dos mais relatados na literatura, sendo representado pela alteração no ciclo do inseto e até mesmo a mortalidade direta dos indivíduos (Vega, 2018). Esse mecanismo é evidente no controle da Traça-do-tomateiro (*Tuta absoluta*), praga de grande impacto na cultura do tomate. Estudos demonstram que *B. bassiana*, aplicada como endófito, reduz a taxa de sobrevivência de larvas da praga em até 100%, além de estar relacionado com a diminuição da taxa de alimentação, uma vez que o inseto, ao entrar em contato com tecidos colonizados pelo fungo sofre com a ação de micotoxinas e compostos tóxicos produzidos pela própria planta (Silva et al., 2020).

Outro estudo publicado por Jallow et al., em 2004, demonstrou os efeitos de antibiose por fungos endofíticos na cultura do tomate. Esse estudo avaliou os efeitos do fungo *Acremonium strictum* de forma endofítica em indivíduos de *H. armigera*, o estudo demonstrou mortalidade de 80% durante o ciclo em insetos que consumiram plantas inoculadas com o fungo, contra 44% no grupo controle. Além disso houve menor taxa de crescimento e fecundidade em insetos que se alimentaram de plantas contendo o fungo endofítico.

Um dos elementos centrais desse fenômeno é a produção de toxinas específicas, as quais, diferentemente das toxinas presentes em aplicações foliares, permanecem dentro da planta, acumuladas em tecidos que compõem a rota alimentar natural das pragas, garantindo maior biodisponibilidade e estabilidade. Substâncias como beauvericina, bassianolide, oosporein e outros metabólitos podem ser detectadas em plantas colonizadas por fungos como *Colletotrichum* spp., sendo responsáveis por hemólise, desestabilização da membrana celular, interferência no sistema neuromuscular e inibição de processos fisiológicos essenciais aos insetos (Pamphile et al., 2017).

Outra categoria de micotoxinas também já relatadas em plantas inoculadas com fungos endofíticos são as lactonas macrocíclicas que interferem diretamente no metabolismo do inseto, além de possuir relação com a diminuição da alimentação e possuir propriedades antialimentares para artrópodes, mesmo sem o indivíduo ter contato direto com o fungo (Guillet et al., 2000; Pamphile et al., 2017).

A nível populacional os efeitos de antibiose também podem ser identificados em relação ao número de ovoposição, sendo esse efeito acumulativo entre as

gerações, resultando em um controle exponencial ao longo de múltiplas gerações sucessivas (Bemisile et al., 2019; Russo et al., 2019).

No estudo publicado por Bemisile et al., em 2019, as populações de *D. citri* foram avaliadas em decorrência da aplicação endofítica de *B. bassiana* em plantas de laranja, onde foi constatado menor número de ovoposição em 3 gerações seguidas dos insetos alimentados por plantas inoculadas com o fungo, além disso houve também um pequeno aumento na mortalidade nesse grupo.

Outro estudo que avaliou o efeito de fungos endofíticos na ovoposição de insetos praga, relatou diminuição drástica na ovoposição de *H. gelotopoeon* na cultura da soja inoculada com *B. bassiana*, além disso a porcentagem de ovos viáveis caiu, resultando em menor eclosão de insetos nos ovos do grupo alimentado com plantas contendo o fungo. Esse efeito foi atribuído a presença de substâncias químicas produzidas no processo de colonização fúngica (Russo et al., 2019).

A produção de metabólitos secundário das plantas inoculadas com endófitos também contribui para a antibiose de pragas agrícolas, compostos como alcaloides, terpenos, poliacetilenos, compostos fenólicos, e fitoesteróis que apresentam atividade inseticida, repelente, inibidora do crescimento ou redução nas taxas de reprodução, afetando múltiplos aspectos do ciclo biológico das pragas, desde a eclosão dos ovos até a sobrevivência dos adultos (Divekar et al., 2022; Mattoo e Nonzom, 2021).

Esses metabólitos secundários apresentam modos de ação distintos conforme o grupo químico ao qual pertencem, pois alguns interferem diretamente na integridade celular dos insetos, promovendo lise, desnaturação proteica e colapso metabólico, enquanto outros atuam como inibidores enzimáticos capazes de bloquear rotas essenciais da digestão e do metabolismo energético, dificultando a absorção de nutrientes e levando à morte por inanição ou por falha sistêmica (Divekar et al., 2022; Li et al., 2023).

A mortalidade e diminuição na taxa de reprodução não são os únicos reflexos de antibiose causadas por fungos endofíticos em plantas, um dos efeitos discutidos na literatura é o prolongamento do ciclo das pragas, influenciando o número de gerações dos insetos durante a safra. Esse efeito pode ser observado em um estudo com pulgão-do-algodão (*A. gossypii*), onde o ciclo dos indivíduos foi prolongado ao se alimentar de plantas de algodão inoculadas com *L. lecanii* ou *B. bassiana*, esse resultado demonstra alterações fisiológicas internas resultantes do endofitismo (Gurulinbappa et al., 2010).

Outro mecanismo de controle de pragas através da utilização de endófitos importante relatado na literatura é a antixenose, caracterizada por alterações nos padrões comportamentais, essas alterações geralmente estão associadas a preferência alimentar e atratividade, uma vez que insetos são atraídos por determinadas moléculas químicas, e a presença de endófitos pode alterar o padrão químico emitido pela planta. Esse mecanismo é altamente relevante no contexto de cultivos agrícolas, e pode evitar a chegada de insetos que não se encontram na área de cultivo.(Pereira, 2025; Vega, 2018).

Os efeitos bioquímicos também incluem alterações na assinatura química das plantas, alterando o comportamento de insetos pragas, que se utilizam de receptores químicos para a identificação das plantas alvo. Um experimento publicado em 2020 evidencia alterações comportamentais de indivíduos de Mosca-branca (*Bemisia tabaci*) quando em contato com plantas de tomate inoculadas com *B. bassiana*, a principal alteração foi relacionada a preferência alimentar, onde os indivíduos de Mosca-branca demonstraram preferência por plantas não colonizadas pelo fungo, em até 80% das vezes, evidenciando potencial de antixenose com o uso de fungo endofítico (Wei et al., 2020)

A dinâmica ecológica que emerge das interações entre planta, fungos endofíticos e pragas agrícolas constitui um dos fundamentos mais relevantes para compreender o potencial real desses microrganismos no manejo integrado de pragas, que envolve mecanismos ecológicos que reorganizam o funcionamento dos sistemas produtivos, reforçando mecanismos naturais de defesa vegetal, alterando comportamentos de insetos e conseqüentemente influenciando nos danos causados as culturas. (Gowtham et al., 2024; Garcia et al., 2024).

No nível ecológico, observa-se que os endófitos influenciam diretamente na população de pragas ao modificar a textura, a química e a estrutura dos tecidos vegetais os quais desempenham papel crítico na atração inicial de insetos hospedeiros, sendo essa modificação um dos fatores determinantes para explicar a redução populacional de pragas como *T. absoluta*, *S. levis*, e outras espécies de importância econômica em diversas culturas (Silva et al., 2020; Pereira, 2025).

Na cultura da cana-de-açúcar, destaca-se o controle do bicudo-da-cana (*S. levis*), cujo ciclo subterrâneo dificulta estratégias tradicionais de manejo. Endófitos isolados do solo e de tecidos radiculares demonstraram capacidade de reduzir a atratividade da planta e impedir o desenvolvimento larval, principalmente pela

alteração de compostos voláteis radiculares e pela produção de metabólitos que afetam a digestão e o metabolismo do inseto (Pereira, 2025).

Além dos efeitos de antixenose diretamente nas populações de pragas, esse efeito também pode ser ampliado para um contexto ecológico mais abrangente, como é o caso da maior atratividade de predadores e parasitoides de pragas, sendo esse um efeito ecológico tritrófico complexo envolvendo planta-praga-predador (Van hee et al., 2024).

O estudo publicado por Van Hee et al., em 2024, documentou alterações comportamentais em indivíduos de *Trissolcus basalus*, uma espécie de vespa parasitoide de percevejo-verde (*Nezara viridula*). Plantas de pimenta inoculadas com *Trichoderma harzianum* contendo ovos de percevejo-verde, demonstraram maior atratividade nos indivíduos de parasitoides, demonstrando potencial de controle indireto da praga.

Outro elemento-chave é que os efeitos ecológicos dos endófitos não ocorrem de maneira isolada, mas se acumulam ao longo do ciclo produtivo, criando uma condição de proteção contínua que reduz a necessidade de intervenções externas e estabelece um ambiente de resistência duradoura. Essa característica é especialmente importante em culturas perenes ou semi-perenes, como café, laranja, uva e cana-de-açúcar, nas quais a persistência dos endófitos ao longo das safras confere vantagem a longo prazo (Franzin et al., 2022; Ponchon et al., 2022; Nicoletti, 2019; Pereira et al., 2025).

Além das alterações a nível de atratividade a pragas e predadores, a mudança comportamental também pode ser evidenciada através da deterrência alimentar dos insetos. Onde o inseto diminui a quantidade de alimento ingerido, não somente pelo fenômeno da atratividade, mas também por conta da palatabilidade dos tecidos vegetais, que pode ser alterada como resultado da produção de compostos no processo de endofitismo (Toffa et al., 2021).

Há um relato na cultura do tomate, onde plantas inoculadas com *B. bassiana* resultaram na diminuição da alimentação de lagartas de *H. armigera*. A diminuição foi drástica no grupo alimentado com plantas inoculadas, caindo de 731 mm<sup>2</sup> de folhas ingeridas em média por indivíduo no grupo controle, para 32 mm<sup>2</sup> no grupo contendo o fungo endofítico, representando alta eficiência do efeito de deterrência na diminuição dos danos causados a cultura, esse efeito também influencia na capacidade de

sobrevivência da população de pragas, visto que a alimentação é fundamental para o ciclo do inseto (Toffa et al., 2021).

Outro mecanismo de grande importância é representada por fungos entomopatogênicos como *B. Bassiana* e *Metarhizium* spp., que é a característica virulenta para uma ampla gama de insetos, o uso endofítico deles é amplamente estudado, e pode resultar em mortalidade dos insetos praga por micose, entretanto esse fenômeno é comumente relatado por uso exógenos dessas espécies de fungo (Klieber e Reineke, 2016; Shah e Pell, 2003).

A capacidade do fungo causar infecção direta no inseto, quando de forma endofítica representa uma interação complexa entre fungos e insetos no contexto da agricultura, pois combina a ação patogênica tradicional de fungos entomopatogênicos com a capacidade de colonizar tecidos vegetais de forma sistêmica, criando um mecanismo duplo de ataque que atua tanto dentro da planta quanto diretamente no organismo-praga, ampliando a eficácia do controle e oferecendo vantagens operacionais significativas em comparação com formulações convencionais aplicadas via pulverização, as quais estão sujeitas à degradação ambiental, lavagem por chuva e fotoinativação rápida (Klieber e Reineke, 2016; Mattoo e Nonzom, 2021; Sousa et al., 2023).

O processo de infecção de pragas por endófitos entomopatogênicos ocorre por diferentes vias simultâneas, sendo a ingestão uma das mais relevantes em pragas perfuradoras e mastigadoras, pois os insetos, ao se alimentar de tecidos colonizados, ingerem toxinas, enzimas hidrolíticas e metabólitos bioativos que comprometem seu sistema digestivo, respiratório e nervoso, levando à paralisia, perda de apetite e morte progressiva. Este mecanismo foi amplamente descrito em estudos envolvendo *T. absoluta*, nos quais a presença de *B. bassiana* endofítica resultou em mortalidade elevada das larvas (Klieber e Reineke, 2016).

Além da ingestão, outro caminho crítico para a patogenicidade endofítica é o contato direto do inseto com estruturas fúngicas presentes nos tecidos internos, pois ao perfurar a planta o inseto expõe seu tegumento a conídios e hifas que se aderem à cutícula e iniciam o processo de germinação e penetração através de enzimas como quitinases, proteases e lipases, que degradam a barreira externa do inseto e permitem que o fungo colonize sua hemocele, levando à septicemia e morte celular generalizada (Bing e Lewis, 1993; Gowtham et al., 2024).

Os autores Bing e Lewis, em 1993, relataram sintomas de entomopatogenicidade em alguns indivíduos de *O. nubilalis* ao consumirem plantas de milho colonizadas com *B. bassiana*, entretanto não foram encontrados conídios do fungo nas plantas, apenas hifas. Geralmente o processo de doença fúngica nos insetos está relacionado com a presença de conídios viáveis do fungo causador da infecção, porém nesse caso por não ter sido encontrado conídios o fenômeno foi atribuído a outros mecanismos até então desconhecidos, uma das hipóteses foi a infecção dos insetos a partir de outras estruturas miceliais como hifas.

A disseminação da atividade entomopatogênica também ocorre dentro da planta, pois uma vez estabelecido como endófito o fungo se desloca pelo xilema e pelo floema, ocupando regiões distantes do ponto de inoculação e garantindo uma defesa distribuída, o que impede que áreas específicas permaneçam vulneráveis à ação de pragas. Essa característica é especialmente relevante em culturas extensas como cana-de-açúcar e café, nas quais a colonização sistêmica reduz a heterogeneidade defensiva da planta e garante proteção em múltiplas estruturas vegetais simultaneamente (Pereira, 2025; Mendes et al., 2025). Estudos mostram que o deslocamento endofítico pode ocorrer por rotas apoplásticas e simplásticas, estabelecendo redes internas de micélio que atravessam tecidos jovens e maduros, reforçando o caráter sistêmico da proteção.

Outro fator que potencializa a ação dos endófitos entomopatogênicos é a capacidade de modular o comportamento das pragas antes mesmo do contato, reduzindo sua atração pela planta hospedeira, pois a colonização altera emissores voláteis que constituem sinais críticos utilizados pelos insetos para reconhecer e selecionar hospedeiros. Em pragas como *S. levis* e *T. absoluta*, essa modificação reduz significativamente o número de visitas, perfurações iniciais e tentativas de oviposição.(Pereira, 2025; Sá et al., 2024).

As alterações fisiológicas e estruturais induzidas por fungos endofíticos constituem um dos pilares mais importantes da defesa vegetal mediada por microrganismos, pois representam modificações internas profundas que transformam a planta hospedeira em um organismo mais resistente, menos atrativo e menos vulnerável ao ataque de pragas, refletindo um conjunto de ajustes bioquímicos, anatômicos e metabólicos que ocorrem de maneira integrada e contínua, reforçando

a resiliência do sistema produtivo sob condições de pressão biótica intensa (Gowtham et al., 2024; Garcia et al., 2024).

Uma das alterações estruturais crítica é o espessamento da parede celular e o aumento de lignificação e suberização, processos que tornam os tecidos vegetais mais rígidos, menos palatáveis e mais difíceis de serem penetrados por insetos perfuradores ou raspadores. Essas mudanças anatômicas foram relatadas em culturas como café, cana-de-açúcar, banana e maracujá, nas quais as plantas inoculadas apresentaram paredes celulares mais densas e reforços estruturais que dificultaram a formação de galerias por pragas como *L. coffeella* e *S. levis*, reduzindo significativamente a profundidade e largura das perfurações e limitando a capacidade das larvas de se estabelecerem nos tecidos internos (Franzin et al., 2022; Pereira, 2025).

Alguns relatos na literatura sobre controle de pragas através de alterações estruturais em plantas por uso endofítico de fungos, diz respeito a pragas que se hospedam sob a cutícula foliar de plantas. Esse efeito pode ser atribuído ao fortalecimento da cutícula ante o fungo, como forma resposta da planta a colonização fúngica (Franzin et al., 2022; Gathage et al., 2016).

Dois estudos envolvendo indivíduos de *L. huidobrensis*, conhecida popularmente por mosca-minadora, que causa danos em forma de galerias sob a cutícula foliar, identificou a diminuição nos danos causados por essa praga, quando os indivíduos se alimentaram de plantas de feijão e fava-comum, colonizadas por fungos endofíticos. A presença dessas galerias pode resultar na entrada de patógenos oportunistas, visto que a planta fica mais exposta ao ambiente externo (Akutse et al., 2013; Gathage et al., 2016).

A presença do endófito também altera a homeostase hídrica e a eficiência do uso de nutrientes, o que amplia a capacidade de tolerância da planta a estresses abióticos e bióticos simultâneos. Plantas fisiologicamente equilibradas apresentam maior capacidade de suportar perdas foliares, danos mecânicos e interrupções temporárias na fotossíntese ou na condução vascular, reduzindo o impacto agrícola gerado pela alimentação de pragas (Gowtham et al., 2024; Mattoo e Nonzom, 2021).

Em inúmeros estudos, verificou-se também que fungos endofíticos contribuem para a reorganização do microbioma interno, promovendo estabilidade microbiana e limitando o crescimento de espécies oportunistas que poderiam favorecer pragas. O equilíbrio microbiano reduz a formação de tecidos deteriorados, que usualmente

servem de porta de entrada para organismos invasores, prevenindo infestações secundárias e diminuindo a vulnerabilidade da planta como um todo (Oliveira et al., 2025).

## **5. APLICAÇÕES PRÁTICAS DO USO DE FUNGOS ENDOFÍTICOS NO CONTROLE DE PRAGAS AGRÍCOLAS**

### **5.1 PROTOCOLOS DE INOCULAÇÃO E ESTABELECIMENTO ENDOFÍTICO EM CAMPO**

A aplicação prática de fungos endofíticos na agricultura exige a compreensão rigorosa dos protocolos de inoculação que garantem o estabelecimento eficiente desses microrganismos no interior da planta, pois a eficiência agrônômica depende diretamente da taxa de colonização, da persistência metabólica dos isolados selecionados e da capacidade de interação harmoniosa com o hospedeiro vegetal, fatores que definem o sucesso do biocontrole no campo (Gowtham et al., 2024; Garcia et al., 2024).

Os métodos de inoculação podem ser agrupados em quatro grandes categorias: imersão de sementes e mudas, aplicação foliar, inoculação radicular e aplicação via substrato ou solo. Cada técnica apresenta vantagens e limitações, e sua escolha depende do tipo de planta, do estágio de desenvolvimento, das condições ambientais e da fisiologia específica do endófito. A inoculação por imersão de sementes é um dos métodos mais utilizados, pois permite colonização precoce, garantindo que o microrganismo se estabeleça durante a fase crítica de germinação, quando estruturas meristemáticas ainda estão expostas e receptivas à penetração fúngica. Essa técnica é especialmente útil para culturas anuais, como tomate, milho e hortaliças, nas quais a colonização inicial influencia diretamente a eficiência do biocontrole ao longo de todo o ciclo produtivo (Mendes et al., 2025; Oliveira et al., 2025).

A inoculação via mudas, frequentemente realizada por imersão do sistema radicular, tem se mostrado particularmente eficiente em culturas perenes e semiperenes, como café, maracujá e banana, pois permite que o endófito colonize tecidos vasculares de forma mais consistente antes do transplante para o campo. O sucesso dessa abordagem depende da qualidade do sistema radicular, da uniformidade fisiológica das mudas e do tempo de exposição aos propágulos

endofíticos, fatores que determinam a profundidade e a estabilidade da colonização. Estudos em cactáceas demonstram que o período ótimo de imersão varia entre 15 e 45 minutos, enquanto em uva de vinho o tempo variou entre 10 e 20 minutos, embora valores superiores possam induzir estresse radicular e comprometer a adaptação pós-transplante (Ponchon et al., 2022; Franco et al., 2022).

A aplicação foliar é uma alternativa viável quando se busca colonização localizada ou quando a fase de desenvolvimento da planta impede inoculação direta no sistema radicular. Essa técnica, porém, apresenta desafios operacionais, especialmente relacionados à exposição dos esporos às condições ambientais externas, como radiação UV, temperatura elevada e déficit hídrico superficial. A sobrevivência dos propágulos na superfície foliar é limitada, o que torna o uso de adjuvantes, encapsulamentos e carreadores bioadesivos uma necessidade para garantir fixação e penetração via estômatos, tricomas ou microfissuras epidérmicas. Embora menos eficiente em termos de colonização sistêmica, a inoculação foliar tem sido empregada com sucesso em hortaliças e frutíferas, sobretudo em estratégias de manejo combinado que integram endófitos com biofertilizantes e agentes indutores de resistência (Felix et al., 2019; Sá et al., 2024).

Outro método amplamente estudado é a aplicação via substrato ou solo, no qual o endófito é incorporado ao ambiente rizosférico, permitindo colonização gradual das raízes e posterior disseminação ao longo dos tecidos internos. Essa abordagem é particularmente eficiente para espécies com forte dependência da microbiota do solo, como cana-de-açúcar, leguminosas e frutíferas tropicais, pois cria um gradiente fisiológico que favorece a entrada do microrganismo pelos pontos de crescimento radicular. Entretanto, a competição com outros microrganismos do solo pode comprometer o estabelecimento, exigindo formulações de alta concentração e uso de substâncias precursoras, como açúcares simples e aminoácidos, que estimulem a germinação dos esporos (Pereira, 2025; Russo et al., 2019; Taping et al., 2023; Tavares et al., 2018;).

A eficácia dos protocolos de inoculação depende também de fatores ambientais que influenciam diretamente a sobrevivência dos propágulos e a rapidez da colonização. A temperatura ideal para inoculação varia entre 22 °C e 28 °C na maioria das espécies de endófitos tropicais, enquanto a umidade relativa acima de 60% favorece a germinação e a penetração inicial. Em ambientes secos, a inoculação foliar pode falhar, exigindo aplicação em horários de menor radiação ou uso de nebulização

complementar. No caso de inoculações radiculares, solos compactados ou com baixa oxigenação reduzem drasticamente o desempenho do endófito, pois dificultam a movimentação das hifas e reduzem o acesso às áreas meristemáticas (Freire et al., 2015; Tavares et al., 2018).

Outro aspecto crítico é a formulação dos inoculantes. Endófitos podem ser aplicados como esporos secos, micélio fragmentado, suspensões líquidas, microcápsulas, gel polimérico ou carreadores orgânicos. Cada forma apresenta vantagens específicas: esporos secos possuem maior durabilidade; suspensões líquidas favorecem rápida germinação; microcápsulas aumentam proteção ambiental; e carreadores orgânicos, como farelos vegetais, aumentam adesão e facilitam aplicação em larga escala. A escolha da formulação impacta diretamente a taxa de colonização e, por consequência, o controle de pragas (Pamphile et al., 2017; Sousa et al., 2023).

## 5.2 MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS (MIP) COM USO DE FUNGOS ENDOFÍTICOS

O Manejo Integrado de Pragas (MIP) fundamenta-se na combinação estratégica de diferentes métodos de controle que atuam de forma complementar para reduzir populações de insetos a níveis economicamente toleráveis, preservando o equilíbrio ecológico e diminuindo a dependência de defensivos químicos. Nesse contexto, o uso de fungos endofíticos pode ser uma ferramenta agrônômica relevante, pois introduz um componente biológico capaz de atuar interna e continuamente sobre o hospedeiro vegetal, ampliando a capacidade de defesa da cultura e reduzindo vulnerabilidades dentro do sistema produtivo (Elliott et al., 1995; Garcia et al., 2024; Gowtham et al., 2024).

Os endófitos atuam em múltiplos pontos do MIP, oferecendo mecanismos simultâneos de proteção: redução direta de pragas por antibiose, produção de metabólitos repelentes, alteração da palatabilidade dos tecidos, indução de resistência sistêmica, competição com fitopatógenos, modulação hormonal e reforço estrutural das plantas. Essa multidimensionalidade torna os endófitos instrumentos essenciais para culturas de alto risco fitossanitário, como café, tomate, maracujá, cana-de-açúcar e hortaliças, nas quais a pressão de pragas e doenças exige respostas rápidas, duradouras e adaptáveis ao ambiente (Mendes et al., 2025; Mattoo e Nonzom, 2021).

A inserção dos endófitos no MIP ocorre de forma estratégica, iniciando-se com a definição da fonte de inoculação e do momento ideal de aplicação. Para obter máxima eficiência, a colonização precisa ocorrer antes dos picos populacionais das pragas-alvo, pois a proteção conferida é preventivo-indutiva, e não reativa. Isso significa que a planta deve ser primada; fisiológica e imunologicamente, antes de sofrer o ataque. Estudos em café, por exemplo, demonstram que a inoculação de *B. bassiana* nas sementes de café diminuem consideravelmente os danos causados por Bicho-mineiro (*L. coffeella*), não apenas pela ação direta do fungo no inseto, mas também pela alteração do perfil químico dos tecidos, que se tornam menos atrativos às fêmeas ovipositantes (Franzim et al., 2023).

Um dos maiores benefícios da integração é a sinergia entre endófitos e controle biológico clássico, como predadores e parasitoides. Diferentemente de muitos inseticidas, os endófitos não afetam inimigos naturais, permitindo que joaninhas, crisopídeos, parasitoides do gênero *Trichogramma* e microvespas nativas continuem desempenhando suas funções no campo. Isso gera um efeito estabilizador na população de insetos, reduz oscilações abundanciais e evita explosões populacionais secundárias, frequentemente observadas após pulverizações químicas que eliminam indiscriminadamente pragas e predadores (Felix et al., 2019).

Além disso, os endófitos apresentam alta compatibilidade com biofertilizantes, compostos orgânicos, adubos de liberação gradual e produtos microbiológicos, já que não sofrem antagonismo químico e, em muitos casos, beneficiam-se do ambiente biológico enriquecido por compostos naturais. Essa compatibilidade amplia as possibilidades de manejo e permite que agricultores adotem estratégias combinadas que intensificam o vigor vegetativo enquanto reduzem a pressão de pragas e doenças. Culturas tratadas com endófitos apresentam maiores níveis de lignificação, incremento na atividade enzimática antioxidante e acúmulo de compostos voláteis que reduzem oviposição de pragas, fenômenos que fortalecem o MIP de forma contínua (Tavares et al., 2018).

Outra dimensão decisiva da integração é o uso de endófitos em associação com manejo nutricional balanceado, aspecto fundamental porque plantas desnutridas são mais suscetíveis ao ataque de pragas e ao avanço de fitopatógenos. Endófitos que estimulam absorção de fósforo, nitrogênio e micronutrientes, como zinco e ferro, aumentam a resistência natural da planta, reforçam paredes celulares e estimulam rotas metabólicas ligadas à defesa. O MIP, quando alinhado ao manejo nutricional e

à presença de endófitos, torna-se um sistema multifuncional que potencializa a planta a partir de dentro, reduzindo drasticamente os danos causados por insetos mastigadores, sugadores e perfuradores, além de minimizar infecções causadas por fungos necrotróficos (Oliveira et al., 2025).

Os endófitos também reforçam a eficácia do monitoramento, etapa crucial do MIP. Plantas tratadas tendem a apresentar sintomas iniciais menos evidentes e progressão mais lenta da doença, permitindo decisões mais precisas e reduzindo intervenções emergenciais. A integração da tecnologia com sistemas de monitoramento digital, drones, armadilhas inteligentes e sensores ópticos permite identificar pontos de falha na colonização, variabilidade entre talhões e surtos iniciais de pragas, criando um ciclo de tomada de decisão altamente refinado e tecnicamente robusto (Sousa et al., 2023).

Apesar das vantagens, a integração exige critérios técnicos rigorosos, incluindo: (1) seleção adequada do isolado endofítico; (2) definição do método de inoculação; (3) compatibilidade com condições ambientais; (4) avaliação da persistência ao longo do ciclo; e (5) monitoramento constante do desempenho. A ausência desses critérios compromete o MIP, prejudica a eficácia do biocontrole e reduz a confiabilidade da tecnologia em campo. A adoção bem-sucedida depende de planejamento agrônomo, experimentação local e escolha de isolados adaptados ao bioma regional.

Em síntese, a integração dos fungos endofíticos ao MIP transforma o manejo agrícola tradicional em um sistema de defesa biológica permanente, sistêmico e altamente adaptável, posicionando essa tecnologia como elemento indispensável da agricultura sustentável e resistente do futuro.

### 5.3 LIMITAÇÕES, RISCOS E BOAS PRÁTICAS PARA APLICAÇÃO AGRONÔMICA DE FUNGOS ENDOFÍTICOS

Embora os fungos endofíticos representem uma das estratégias mais promissoras para o controle sustentável de pragas e fitopatógenos, sua aplicação agrônoma enfrenta um conjunto de limitações técnicas, ambientais, regulatórias e operacionais que precisam ser compreendidas de forma crítica para evitar falhas e garantir eficácia no campo, especialmente porque o desempenho desses microrganismos depende de variabilidade genética, compatibilidade fisiológica,

condições edafoclimáticas e protocolos de inoculação capazes de promover colonização estável e persistente nos tecidos vegetais (Gowtham et al., 2024; Garcia et al., 2024).

Entre os principais obstáculos encontra-se a variabilidade de colonização, uma das limitações mais críticas na adoção comercial de endófitos. A capacidade de um fungo penetrar, colonizar e persistir nos tecidos internos varia conforme espécie vegetal, genótipo, idade da planta, condições ambientais e método de inoculação. Essa heterogeneidade dificulta a padronização e compromete resultados quando protocolos são aplicados sem considerar particularidades regionais (Mattoo e Nonzom, 2021; Kour et al., 2024; Panwar e Szczepaniec, 2024; Vega, 2018).

Outra limitação importante envolve a interação entre endófitos e microbioma residente, pois a introdução de um novo microrganismo modifica o equilíbrio microbiano interno e pode gerar competição indesejada com espécies já estabelecidas. Em alguns casos, espécies residentes podem inibir a colonização endofítica ou deslocá-la para áreas não estratégicas dos tecidos. Em outros, a colonização pode ocorrer, mas sem ativação metabólica suficiente para gerar efeitos de biocontrole. Há ainda situações em que o endófito introduzido, embora benéfico, altera o comportamento de microrganismos oportunistas presentes na planta, criando interações imprevisíveis. Esses fenômenos reforçam a necessidade de estudos avançados de ecologia microbiana, metabolômica e sequenciamento que permitam identificar compatibilidades e prever comportamentos sistêmicos (Franco et al., 2022; Felix et al., 2019).

A instabilidade ambiental é outro fator que limita a eficiência dos endófitos em campo, pois temperatura, umidade, radiação UV e composição do solo influenciam diretamente sobrevivência, germinação, penetração e permanência dos microrganismos nos tecidos. Ambientes de baixa umidade relativa reduzem drasticamente a eficácia da inoculação foliar, enquanto solos compactados ou com baixa oxigenação prejudicam colonização radicular. Além disso, oscilações abruptas de temperatura podem interromper o processo de penetração ou induzir dormência nos esporos, atrasando colonização e prejudicando o efeito protetor em momentos críticos do ciclo produtivo (Tavares et al., 2018).

Outro desafio reside na regulamentação e produção comercial de bioinsumos endofíticos, área ainda em construção no Brasil. A ausência de diretrizes claras para registro, testes de biossegurança, certificação de qualidade e monitoramento dificulta

a transformação de pesquisas em produtos comerciais acessíveis. Empresas enfrentam longos processos regulatórios e altos custos de validação, enquanto agricultores têm dificuldade em acessar inoculantes de qualidade comprovada. Além disso, a falta de fiscalização permite circulação de produtos com baixa viabilidade de esporos, formulações inadequadas ou sem comprovação científica, o que compromete resultados e reduz a confiança dos produtores na tecnologia (Sousa et al., 2023).

Apesar das limitações, a adoção segura e eficiente de endófitos exige boas práticas agronômicas, entre as quais se destacam: (1) seleção de isolados adaptados ao bioma local; (2) uso de metodologias de inoculação adequadas à espécie e ao estágio fenológico; (3) integração com práticas de manejo nutricional e irrigação; (4) monitoramento da colonização e avaliação de desempenho; e (5) combinação com outros métodos do MIP para reduzir pressão seletiva sobre patógenos. Essas práticas permitem maximizar eficácia, reduzir riscos e garantir que o biocontrole endofítico seja aplicado de forma tecnicamente fundamentada, evitando improvisações e generalizações que frequentemente levam a falhas operacionais.

Outra boa prática é o uso de formulações avançadas, como microencapsulamento, gel polimérico, carreadores orgânicos e suspensões concentradas, que protegem esporos de condições externas e aumentam taxa de colonização. Tecnologias de precisão, como sensores, modelagem digital, drones e IA, também auxiliam no monitoramento do desempenho e identificação de variações regionais, permitindo ajustes em tempo real para assegurar eficácia.

Em síntese, embora a aplicação de fungos endofíticos apresente limitações relevantes e riscos operacionais que exigem planejamento rigoroso, o conjunto de boas práticas associado à seleção criteriosa de isolados, ao uso de técnicas adequadas de inoculação e à validação contínua dos resultados permite que essa tecnologia se consolide como ferramenta essencial para o manejo sustentável de pragas, fortalecendo sistemas produtivos e reduzindo dependência de insumos químicos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão da literatura realizada neste trabalho demonstra que o uso endofítico de fungos no controle de pragas agrícolas constitui uma estratégia biologicamente consistente e tecnicamente relevante para sistemas de produção que buscam maior eficiência e sustentabilidade. Os estudos analisados indicam que a colonização endofítica permite o estabelecimento de interações estáveis entre fungos e plantas hospedeiras, promovendo alterações fisiológicas e metabólicas capazes de influenciar a relação planta–praga de forma contínua ao longo do ciclo da cultura.

Os resultados apresentados evidenciam que fungos endofíticos atuam por múltiplos mecanismos de controle, incluindo a produção de metabólitos bioativos, a indução de respostas de defesa vegetal, a modificação das características físicas e químicas dos tecidos vegetais, e o processo de infecção direta dos fungos nos insetos alvo. Esses processos resultam em redução da atratividade, da sobrevivência e do desempenho biológico das pragas agrícolas, além de contribuir para o fortalecimento estrutural e funcional da planta hospedeira.

A análise dos trabalhos revisados também indica que a eficiência do biocontrole endofítico depende de fatores específicos, como a compatibilidade entre isolado fúngico e espécie vegetal, o método e o momento de inoculação, as condições edafoclimáticas e a interação com o microbioma residente. A variabilidade observada nos níveis de colonização e nos efeitos sobre as pragas reforça a necessidade de novos estudos específicos para cada caso, além de aplicação criteriosa e tecnicamente fundamentada dessa tecnologia.

Apesar do potencial demonstrado, o uso endofítico de fungos ainda apresenta desafios relevantes para sua aplicação em larga escala. Entre eles destacam-se a falta de padronização de protocolos, a influência das condições ambientais sobre a estabilidade da colonização, e interação com comunidades microbianas já estabelecidas no ambiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKUTSE, K. S. *et al.* Endophytic colonization of *Vicia faba* and *Phaseolus vulgaris* (Fabaceae) by fungal pathogens and their effects on the life-history parameters of *Liriomyza huidobrensis* (Diptera: Agromyzidae). **Fungal Ecology**, v. 6, n. 4, p. 293–301,

2013. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1754504813000044?casa\\_token=iEvuuSdZrgcAAAA:Tw3AcK0p\\_xdUPBb-TGbB9OpLmYpR3-DDSZIB6lbmrSvrvehsKQtDsqtP8vuCuS3XeCy2o6oFTK0M](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1754504813000044?casa_token=iEvuuSdZrgcAAAA:Tw3AcK0p_xdUPBb-TGbB9OpLmYpR3-DDSZIB6lbmrSvrvehsKQtDsqtP8vuCuS3XeCy2o6oFTK0M). Acesso em: 20 Dez. 2025.

AMORIM, A. O.; ORLANDELLI, R. C.; PAMPHILE, J. A. Controle de patógenos do cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.) por fungos endofíticos dos gêneros *Trichoderma* e *Clonostachys*. **Uningá Review**, v. 34, n. 1, p. 1–10, 2019. Disponível em: <https://revista.uninga.br/uningareviews/article/view/3139>. Acesso em: 03 Set. 2025.

BAMISILE, B. S. *et al.* Endophytic *Beauveria bassiana* in foliar-treated *Citrus limon* plants acting as a growth suppressor to successive generations of *Diaphorina citri*. **Insects**, v. 10, n. 6, p. 176, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-4450/10/6/176>. Acesso em: 20 Dez. 2025.

BATTA, Y. A. Efficacy of endophytic and applied *Metarhizium anisopliae* against larvae of *Plutella xylostella* infesting *Brassica napus*. **Crop Protection**, v. 44, p. 128–134, 2013. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261219412003043?casa\\_token=j3B6n7CXVoYAAAAA:6myqK-X8C2zlsSenHStVZhuoyPuHZIj7DI7wW4-zFIRRXPLcwVe998AWScOWQO0ICCSXaxLsnmQ](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261219412003043?casa_token=j3B6n7CXVoYAAAAA:6myqK-X8C2zlsSenHStVZhuoyPuHZIj7DI7wW4-zFIRRXPLcwVe998AWScOWQO0ICCSXaxLsnmQ). Acesso em: 20 Dez. 2025.

BING, L. A.; LEWIS, L. C. Occurrence of *Beauveria bassiana* in different tillage regimes and in *Zea mays* and virulence towards *Ostrinia nubilalis*. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 45, n. 1–2, p. 147–156, 1993. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/016788099390065W>. Acesso em: 20 Dez. 2025.

CHOUDHARY, D. K.; PRAKASH, A.; JOHRI, B. N. Induced systemic resistance in plants: mechanism of action. **Indian Journal of Microbiology**, v. 47, n. 4, p. 289–297, 2007. Disponível em: [https://idp.springer.com/authorize/casa?redirect\\_uri=https://link.springer.com/article/10.1007/s12088-007-0054-2&casa\\_token=CRzd\\_0qyQKEAAAAA:pbeZZ\\_mLIFwyBch-st5yHA-O0EHblmWctrSuqkZaZis2o6LE\\_m5GO-xv0oVgvl98XU\\_IQHgaz5Bupx32w](https://idp.springer.com/authorize/casa?redirect_uri=https://link.springer.com/article/10.1007/s12088-007-0054-2&casa_token=CRzd_0qyQKEAAAAA:pbeZZ_mLIFwyBch-st5yHA-O0EHblmWctrSuqkZaZis2o6LE_m5GO-xv0oVgvl98XU_IQHgaz5Bupx32w). Acesso em: 20 Dez. 2025.

CULLINEY, T. W. Crop losses to arthropods. In: Integrated pest management: pesticide problems. **Dordrecht: Springer**, 2014. v. 3, p. 201–225. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-7796-5\\_8](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-7796-5_8). Acesso em: 20 Dez. 2025.

DIVEKAR, P. A. *et al.* Plant secondary metabolites as defense tools against herbivores. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 5, p. 2690, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/23/5/2690>. Acesso em: 20 Dez. 2025.

ELLIOTT, N. C. *et al.* Integrated pest management. **New York: Springer**, 1995. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=BNVLxXDBVr8C&oi=fnd&pg=PP15&dq=Integrated+pest+management+Elliott+1995&ots=ly6b7I-xiU&sig=B4dVod0BXg2lr->

wfd1p8CXICtIA&redir\_esc=y#v=onepage&q=Integrated%20pest%20management%20Elliott%201995&f=false. Acesso em: 20 Dez. 2025.

FELIX, T. **Fungos endofíticos em espécies agrícolas de importância econômica.** Tese (Especialização em Microbiologia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/items/aeb4304a-2f32-49d4-8100-601c6be02b7d>. Acesso em: 03 Set. 2025.

FONTANA, D. C. *et al.* Endophytic fungi: biological control and induced resistance. **Pathogens**, v. 10, n. 5, p. 570, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-0817/10/5/570>. Acesso em: 03 Set. 2025.

FRANCO, M. F. S. *et al.* Microrganismos endofíticos para conservação de produtos hortícolas. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/25761>. Acesso em: 03 Set. 2025.

FRANZIN, M. L. *et al.* *Metarhizium* associated with coffee seedling roots. **Agriculture** v. 12, p. 2030, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/12/2030>. Acesso em: 01 Dez. 2025.

FREIRE, M. G. M. *et al.* Bioprospecção da flora fúngica endofítica de restinga. **Biológicas & Saúde**, v. 5, n. 18, 2015. Disponível em: [http://seer.perspectivasonline.com.br/index.php/biologicas\\_e\\_saude/article/download/1767/615](http://seer.perspectivasonline.com.br/index.php/biologicas_e_saude/article/download/1767/615). Acesso em: 03 Set. 2025.. Acesso em: 03 Set. 2025.

GARCIA, A. P. G. *et al.* Microrganismos endofíticos como agentes de biocontrole. **Aracê**, v. 6, n. 3, p. 4275–4288, 2024. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/1100>. Acesso em: 02 Set. 2025.

GATHAGE, J. W. *et al.* Prospects of fungal endophytes in the control of *Liriomyza* spp. **BioControl**, v. 61, n. 6, p. 741–753, 2016. Disponível em: [https://idp.springer.com/authorize/casa?redirect\\_uri=https://link.springer.com/article/10.1007/s10526-016-9761-0&casa\\_token=pM2FPTI6cCoAAAAA:3nFKkDI mMkXvlp8VwpVHrpkbaxcE9OppkLbpPYQJGbAXHb2DHJfKRGr5JWUfWQLUjMLgjQwrY2pqLuKDIw](https://idp.springer.com/authorize/casa?redirect_uri=https://link.springer.com/article/10.1007/s10526-016-9761-0&casa_token=pM2FPTI6cCoAAAAA:3nFKkDI mMkXvlp8VwpVHrpkbaxcE9OppkLbpPYQJGbAXHb2DHJfKRGr5JWUfWQLUjMLgjQwrY2pqLuKDIw). Acesso em: 20 Dez. 2025.

GOWTHAM, H. G. *et al.* Fungal endophytes as mitigators against stresses. **Journal of Fungi**, v. 10, n. 2, p. 116, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2309-608X/10/2/116>. Acesso em: 01 Dez. 2025.

GUILLET, G. *et al.* Synergistic insecticidal action between sesquiterpene lactones and  $\alpha$ -terthienyl. **Photochemistry and Photobiology**, v. 71, n. 2, p. 111–115, 2000. Disponível em: [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1562/0031-8655\(2000\)0710111SIPSIM2.0.CO2?casa\\_token=yvLL1rgDOQcAAAAA:48ygxRGOtqHTCJvopggz3DuzgXzVxX2om5XhTe4oKb99S9GYa2w7491415BXalQUyY0pVUZBYP21UzA](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1562/0031-8655(2000)0710111SIPSIM2.0.CO2?casa_token=yvLL1rgDOQcAAAAA:48ygxRGOtqHTCJvopggz3DuzgXzVxX2om5XhTe4oKb99S9GYa2w7491415BXalQUyY0pVUZBYP21UzA). Acesso em: 18 Dez. 2025.

GURULINGAPPA, P. *et al.* Colonization of crop plants by fungal entomopathogens. **Biological Control**, v. 55, n. 1, p. 34–41, 2010. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1049964410001337?casa\\_token=UAGjJ03ab9sAAAAA:O7dDeLVBwkPxq556ho2T0wVUnuCz-6SKk7gdqVRx2IUT7h8QTGpEyn-aze8W6GM\\_wfGN2tYpvrw](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1049964410001337?casa_token=UAGjJ03ab9sAAAAA:O7dDeLVBwkPxq556ho2T0wVUnuCz-6SKk7gdqVRx2IUT7h8QTGpEyn-aze8W6GM_wfGN2tYpvrw). Acesso em: 20 Dez. 2025.

JALLOW, M. F. A.; DUGASSA-GOBENA, D.; VIDAL, S. Indirect interaction between an endophytic fungus and a polyphagous moth. **Basic and Applied Ecology**, v. 5, n. 2, p. 183–191, 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1439179104701711>. Acesso em: 20 Dez. 2025.

KLIEBER, J.; REINEKE, A. Epiphytic and endophytic activity of *Beauveria bassiana*. **Journal of Applied Entomology**, v. 140, n. 8, p. 580–589, 2016. Disponível em: [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jen.12287?casa\\_token=c3\\_nPNEi2jUAAAA:AOjKol7Nabpw9nj6Zpeef0Yr1ipOq18UTiYUuQmc9Ik0E4YZyE4eex0RdqlP59CKez5lctS1usWGfbw](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jen.12287?casa_token=c3_nPNEi2jUAAAA:AOjKol7Nabpw9nj6Zpeef0Yr1ipOq18UTiYUuQmc9Ik0E4YZyE4eex0RdqlP59CKez5lctS1usWGfbw). Acesso em: 18 Dez. 2025.

KOUR, D. *et al.* Microbes mediated induced systemic response in plants. **Plant Stress**, v. 11, p. 100334, 2024. Disponível em: [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jen.12287?casa\\_token=c3\\_nPNEi2jUAAAA:AOjKol7Nabpw9nj6Zpeef0Yr1ipOq18UTiYUuQmc9Ik0E4YZyE4eex0RdqlP59CKez5lctS1usWGfbw](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jen.12287?casa_token=c3_nPNEi2jUAAAA:AOjKol7Nabpw9nj6Zpeef0Yr1ipOq18UTiYUuQmc9Ik0E4YZyE4eex0RdqlP59CKez5lctS1usWGfbw). Acesso em: 01 Dez. 2025.

LI, Z. *et al.* Functional endophytes regulating plant secondary metabolism. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 2, p. 1153, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/24/2/1153>. Acesso em: 20 Dez. 2025.

LOPEZ, D. C.; SWORD, G. A. Endophytic fungal entomopathogens in cotton. **Biological Control**, v. 89, p. 53–60, 2015. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1049964415001073?casa\\_token=15SCfJ2rG6IAAAAA:sUX-Qi4rgRQe1KRrq6baNEuTpsoczI\\_kDIff1oXyJZ6R9k07-wfieu9XFH1q7Bnf1\\_-VT3L\\_fMs](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1049964415001073?casa_token=15SCfJ2rG6IAAAAA:sUX-Qi4rgRQe1KRrq6baNEuTpsoczI_kDIff1oXyJZ6R9k07-wfieu9XFH1q7Bnf1_-VT3L_fMs). Acesso em: 01 Dez. 2025.

MATTOO, A. J.; NONZOM, S. Endophytic fungi: understanding complex cross-talks. **Symbiosis**, v. 83, n. 3, p. 237–264, 2021. Disponível em: [https://idp.springer.com/authorize/casa?redirect\\_uri=https://link.springer.com/article/10.1007/s13199-020-00744-2&casa\\_token=KSdVBL\\_At74AAAA:Aj-SuHASy8B9SVdoukT3m111ENAvdg6DyL\\_E8zkd1Xd5g4uP\\_1xuL7ltcH6g6grVDyNtT5CBFP9XAtvtRw](https://idp.springer.com/authorize/casa?redirect_uri=https://link.springer.com/article/10.1007/s13199-020-00744-2&casa_token=KSdVBL_At74AAAA:Aj-SuHASy8B9SVdoukT3m111ENAvdg6DyL_E8zkd1Xd5g4uP_1xuL7ltcH6g6grVDyNtT5CBFP9XAtvtRw). Acesso em: 01 Dez. 2025.

MENDES, D. **Isolamento de fungos endofíticos e estudo metabólico em Coffea**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/46064>. Acesso em: 03 Set. 2025.

MUVEA, A. M. *et al.* Colonization of onions by endophytic fungi. **PLoS ONE**, v. 9, n. 9, e108242, 2014. Disponível em:

<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0108242>. Acesso em: 18 Dez. 2025.

NICOLETTI, R. Endophytic fungi of citrus plants. **Agriculture**, v. 9, n. 12, p. 247, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/9/12/247>. Acesso em: 01 Dez. 2025.

OLIVEIRA, J. A. D. **Etiologia da podridão radicular da macaúba**. 2025. Tese (Doutorado em Microbiologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2025. Disponível em: <https://agris.fao.org/search/en/providers/125323/records/6878b5725d9ad5f58d600d4b>. Acesso em: 03 Set. 2025.

PAMPFILE, J. A. *et al.* Aplicações biotecnológicas de metabólitos secundários. **Revista Uningá**, v. 53, n. 1, 2017. Disponível em: <https://revista.uninga.br/uninga/article/download/1403/1018>. Acesso em: 01 Dez. 2025.

PANWAR, N.; SZCZEPANIEC, A. Endophytic entomopathogenic fungi as biological control agents. **Pest Management Science**, v. 80, n. 12, p. 6033–6040, 2024. Disponível em: <https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ps.8322>. Acesso em: 01 Dez. 2025.

PEREIRA, R. M. C. **Prospecção de fungos endofíticos para controle de *Sphenophorus levis***. Tese (Doutorado) – Instituto Biológico, São Paulo, 2025. Disponível em: <http://repositoriobiologico.com.br/jspui/handle/123456789/1254>. Acesso em: 02 Set. 2025.

PONCHON, M. *et al.* Methods assessing *Metarhizium robertsii* association with grapevine. **Microorganisms**, v. 10, n. 12, p. 2437, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-2607/10/12/2437>. Acesso em: 01 Dez. 2025.

POWELL, W. A. *et al.* Endophytic *Beauveria bassiana* in tomato plants. **Journal of Entomological Science**, v. 44, n. 4, p. 391–396, 2009. Disponível em: <https://jes.kglmeridian.com/downloadpdf/view/journals/ents/44/4/article-p391.pdf>. Acesso em: 20 Dez. 2025.

RABBEY, M. F. *et al.* Endophyte-mediated biocontrol mechanisms. **Research in Microbiology**, v. 175, p. 104229, 2024. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Dr-Mohidul-Hasan/publication/382131302\\_Endophyte\\_mediated\\_biocontrol\\_mechanisms\\_of\\_phytopathogens\\_in\\_agriculture/links/67c523fa96e7fb48b9d694d9/Endophyte-mediated-biocontrol-mechanisms-of-phytopathogens-in-agriculture.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Dr-Mohidul-Hasan/publication/382131302_Endophyte_mediated_biocontrol_mechanisms_of_phytopathogens_in_agriculture/links/67c523fa96e7fb48b9d694d9/Endophyte-mediated-biocontrol-mechanisms-of-phytopathogens-in-agriculture.pdf). Acesso em: 01 Dez. 2025.

RUSSO, M. L. *et al.* Effects of endophytic *Beauveria bassiana* on soybean pests. **Journal of King Saud University – Science**, v. 31, n. 4, p. 1077–1082, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1018364718312394>. Acesso em: 01 Dez. 2025.

SÁ, C. J. C. L.; SANTOS, L. C.; LIMA, R. P. Uso de fungos endofíticos no tomate. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 9, n. 1, 2024. Disponível em: <http://revista.unipacto.com.br/index.php/multidisciplinar/article/view/2807>. Acesso em: 02 Set. 2025.

SASIDHARAN, R.; VOESENEK, L. A. C. J.; PIERIK, R. Cell wall modifying proteins and plant acclimatization. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 30, n. 6, p. 548–562, 2011. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07352689.2011.615706>. Acesso em: 20 Dez. 2025.

SHAH, P. A.; PELL, J. K. Entomopathogenic fungi as biological control agents. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 61, n. 5, p. 413–423, 2003. Disponível em: [https://idp.springer.com/authorize/casa?redirect\\_uri=https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-003-1240-8%3Fgt%3B.&casa\\_token=9kLNjosCdv4AAAAA:RseGc8wQEnri9nZ-NesDQ-ldGAYU1P6SnV9HFv9bTL2ONfSn3ImHvGa3I1uDrzZjxpO9Y8ZJtN7Dn3Cqg](https://idp.springer.com/authorize/casa?redirect_uri=https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-003-1240-8%3Fgt%3B.&casa_token=9kLNjosCdv4AAAAA:RseGc8wQEnri9nZ-NesDQ-ldGAYU1P6SnV9HFv9bTL2ONfSn3ImHvGa3I1uDrzZjxpO9Y8ZJtN7Dn3Cqg). Acesso em: 18 Dez. 2025.

SILVA, A. C. L. *et al.* Endophytic colonization of tomato plants by *Beauveria bassiana*. **CABI Agriculture and Bioscience**, v. 1, n. 1, p. 3, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s43170-020-00002-x>. Acesso em: 02 Dez. 2025.

SOUSA, J. V. P. *et al.* Uso de fungos entomopatogênicos no controle biológico. **Facit Business and Technology Journal**, v. 2, n. 46, 2023. Disponível em: <http://revistas.faculdadefacit.edu.br/index.php/JNT/article/view/2503/0>. Acesso em: 03 Set. 2025.

TAPING, J. M. F. *et al.* Fungal endophytes as biocontrol agents of Panama disease. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 33, n. 1, p. 84, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s41938-023-00727-7>. Acesso em: 02 Dez. 2025.

TAVARES, L. P. S. *et al.* Antibiose de fungos de restinga. **Biológicas & Saúde**, v. 8, n. 27, 2018. Disponível em: [https://ojs3.perspectivasonline.com.br/biologicas\\_e\\_saude/article/view/1426](https://ojs3.perspectivasonline.com.br/biologicas_e_saude/article/view/1426). Acesso em: 03 Set. 2025.

TOFFA, J. *et al.* Endophytic colonization of tomato by *Beauveria bassiana*. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 31, n. 1, p. 82, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s41938-021-00431-4>. Acesso em: 02 Dez. 2025.

VAN HEE, S. *et al.* Effects of plant-beneficial fungi on parasitoid attraction. **PLoS ONE**, v. 19, n. 5, e0304220, 2024. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0304220>. Acesso em: 20 Dez. 2025.

VEGA, F. E. Insect pathology and fungal endophytes. *Journal of Invertebrate Pathology*, v. 98, n. 3, p. 277–279, 2008. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002220110800061X?casa\\_token=Xemer3gFySYAAAAA:bLFe6JNRh2psZcCmuDhsxfKDnDvcL0r9cUy1tKWLeOZsjvb3M0HtRVUrsZptKiW9ltrvFYo3Uao](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002220110800061X?casa_token=Xemer3gFySYAAAAA:bLFe6JNRh2psZcCmuDhsxfKDnDvcL0r9cUy1tKWLeOZsjvb3M0HtRVUrsZptKiW9ltrvFYo3Uao). Acesso em: 18 Dez. 2025.

VEGA, F. E. The use of fungal entomopathogens as endophytes in biological control. *Mycologia*, v. 110, n. 1, p. 4–30, 2018. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00275514.2017.1418578>. Acesso em: 18 Dez. 2025.

WANG, Y. *et al.* Transcriptomic and metabolomic responses of rice plants. *Insects*, v. 11, n. 10, p. 705, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-4450/11/10/705>. Acesso em: 18 Dez. 2025.

WEI, Q. Y. *et al.* Endophytic colonization by *Beauveria bassiana* increases tomato resistance. *Arthropod-Plant Interactions*, v. 14, n. 3, p. 289–300, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11829-020-09746-9>. Acesso em: 01 Dez. 2025.

ZHU, H. *et al.* Fitness consequences of oviposition on endophyte-colonized plants. *Journal of Pest Science*, v. 96, n. 2, p. 745–758, 2023. Disponível em: [https://idp.springer.com/authorize/casa?redirect\\_uri=https://link.springer.com/article/10.1007/s10340-022-01527-y&casa\\_token=6QK2Ghvbn38AAAAA:jFYMOiYPxmXkubPhA4akuOPesjCW0mKMYNz2C3tQer5SwVUCtVPPSWXL3Z1\\_U86pQB3dL0nmTtZnN55V5g](https://idp.springer.com/authorize/casa?redirect_uri=https://link.springer.com/article/10.1007/s10340-022-01527-y&casa_token=6QK2Ghvbn38AAAAA:jFYMOiYPxmXkubPhA4akuOPesjCW0mKMYNz2C3tQer5SwVUCtVPPSWXL3Z1_U86pQB3dL0nmTtZnN55V5g). Acesso em: 02 Dez. 2025.