

**INSTITUTO FEDERAL GOIANO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO**  
**CENTRO DE EXCELÊNCIA EM BIOINSUMOS**  
**COORDENAÇÃO DE CAPACITAÇÃO EM BIOINSUMOS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *lato sensu* EM BIOINSUMOS**  
**IF GOIANO CAMPUS CERES**

**LAYS PORTUGUÊS SILVA**

**BIOINSUMOS NO CONTROLE DE DOENÇAS DAS PRINCIPAIS  
CULTURAS AGRÍCOLAS DO CERRADO: UMA BREVE REVISÃO**

**CERES, GO  
2025**

**LAYS PORTUGUÊS SILVA**

**BIOINSUMOS NO CONTROLE DE DOENÇAS DAS PRINCIPAIS  
CULTURAS AGRÍCOLAS DO CERRADO: UMA BREVE REVISÃO**

Monografia apresentada à Banca Examinadora do Curso de Bioinsumos Instituto Federal Goiano como exigência parcial para obtenção do título de pós-graduação.

Orientadora: Prof. Dra. Priscila Jane Romano Gonçalves Selari.

**CERES, GO  
2025**

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem resarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

### IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- Tese (doutorado)       Artigo científico  
 Dissertação (mestrado)       Capítulo de livro  
 Monografia (especialização)       Livro  
 TCC (graduação)       Trabalho apresentado em evento  
  
 Produto técnico e educacional - Tipo: \_\_\_\_\_

Nome completo do autor:

Lays Português Silva

Matrícula:

2024103304260011

Título do trabalho:

BIOINSUMOS NO CONTROLE DE DOENÇAS DAS PRINCIPAIS CULTURAS AGRÍCOLAS DO CERRADO: UMA  
REVIEW REVISÃO

### RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 12 /12 /2025

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

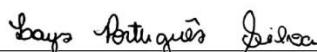
O documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

### DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Ceres \_\_\_\_\_ 10 /12 /2025  
Local \_\_\_\_\_ Data \_\_\_\_\_



Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Documento assinado digitalmente  
PRISCILA JANE ROMANO GONCALVES SELARI  
Data: 10/12/2025 16:47:14-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do(a) orientador(a) 

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do  
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano -SIBi**

S586b      Português Silva, Lays  
                BIOINSUMOS NO CONTROLE DE DOENÇAS DAS  
                PRINCIPAIS CULTURAS AGRÍCOLAS DO CERRADO:  
                UMA BREVE REVISÃO / Lays Português Silva. Ceres 2025.

51f.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Priscila Jane Romano Gonçalves Selari.  
Monografia (Especialista) - Instituto Federal Goiano, curso de  
0330426 - Especialização em Bioinsumos - Ceres (Campus  
Ceres).

I. Título.

**Regulamento de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) 3 CEBIO/IF Goiano**

**ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO**

Aos vinte e sete dias do mês de setembro de dois mil e vinte e cinco, às 9 horas, reuniu-se a Banca Examinadora composta por: Profa. Priscila Jane Romano Gonçalves Selari (orientadora), Profa. Monica Lau da Silva Marques (membro interno) e Profa. Eliane Gonçalves da Silva (membro externo), para examinar o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado **BIOINSUMOS NO CONTROLE DE DOENÇAS DAS PRINCIPAIS CULTURAS AGRÍCOLAS DO CERRADO: UMA BREVE REVISÃO de LAYS PORTUGUÊS SILVA**, estudante do curso de Pós-graduação em Bioinssumos do IF Goiano – Campus Ceres, sob Matrícula nº 2024103304260011. A palavra foi concedida à estudante para a apresentação oral do TC, em seguida houve arguição da candidata pelos membros da Banca Examinadora. Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela **APROVAÇÃO** da estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que, após apresentação da versão corrigida do TC, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Campus Ceres, 27 de setembro de 2025.

Documento assinado digitalmente

 PRISCILA JANE ROMANO GONCALVES SELARI  
Data: 27/09/2025 10:44:36-0300  
Verifique em <https://validar.itil.gov.br>

*(Assinado eletronicamente)*

**Priscila Jane Romano Gonçalves Selari**  
**Orientadora**

Documento assinado digitalmente

 MONICA LAU DA SILVA MARQUES  
Data: 27/09/2025 13:39:53-0300  
Verifique em <https://validar.itil.gov.br>

*(Assinado eletronicamente)*

**Monica Lau da Silva Marques**  
**Membro da Banca Examinadora**

Documento assinado digitalmente

 ELIANE GONCALVES DA SILVA  
Data: 29/09/2025 08:41:49-0300  
Verifique em <https://validar.itil.gov.br>

*(Assinado eletronicamente)*

**Eliane Gonçalves da Silva**  
**Membro da Banca Examinadora**

Dedico este trabalho, primeiramente, a Deus, por me conceder forças, sabedoria e esperança em cada etapa desta caminhada, mostrando que tudo acontece no tempo certo.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, minha eterna gratidão. Por me sustentar nos momentos de dúvida, por renovar minhas forças quando pensei em desistir, e por me mostrar que mesmo nas dificuldades há propósito. Sem Sua presença, este caminho teria sido muito mais árido.

À minha família, especialmente à minha mãe, que sempre esteve ao meu lado com amor, paciência e apoio incondicional. Sua força silenciosa e fé constante foram pilares fundamentais para que eu chegasse até aqui.

À Pós-graduação *lato sensu* em Bioinsumos, FAPEG, FUNAPE , IF GOIANO e CEBIO, minha sincera gratidão. Aos professores, pelo conhecimento compartilhado, pela dedicação e pela inspiração que cada um trouxe ao longo do curso. À equipe administrativa e técnica, pelo suporte essencial e pela atenção em cada etapa do processo.

Em especial, à minha orientadora, Profa. Dra. Priscila Jane Romano Gonçalves Selari, que se destacou não apenas pela excelência acadêmica, mas pela sensibilidade e paciência com que me guiou. Mesmo nos momentos em que eu não consegui dar o meu melhor, ela esteve presente, oferecendo apoio, compreensão e incentivo. Sua generosidade e firmeza foram fundamentais para que este trabalho se concretizasse.

*Nunca é tarde demais para mudar a direção da sua vida. Sempre haverá uma nova chance de recomeço.*

Santa Rita de Cássia

## **BIOGRAFIA DO ALUNO**

Lays Português Silva é engenheira agrônoma, formada em 2019 pelo Instituto Federal Goiano – Campus Ceres. Atuou profissionalmente na área de cereais, com foco em bioinsumos, e atualmente exerce suas atividades na área de silvicultura para uma empresa de mineração na região de Niquelândia (GO). Essa transição de carreira possibilitou ampliar sua visão sobre o manejo biológico, aplicando-o de forma prática no manejo de eucalipto, aliado aos conhecimentos adquiridos na pós-graduação em Bioinsumos.

## **RESUMO**

O presente trabalho aborda o papel dos insumos biológicos como ferramentas sustentáveis e inovadoras no controle de fitopatógenos, com ênfase nas principais culturas agrícolas do norte do estado de Goiás. A crescente demanda por práticas menos agressivas ao meio ambiente e mais eficazes no manejo de doenças vegetais tem impulsionado o uso de microrganismos, extratos naturais e agentes biológicos como alternativas aos defensivos químicos convencionais. A monografia analisa os impactos das doenças nas lavouras de soja, milho, feijão, algodão e cana-de-açúcar, culturas de grande relevância econômica para a região, destacando os principais patógenos envolvidos e os desafios enfrentados pelos produtores locais. São discutidos os mecanismos de ação dos insumos biológicos, como antibiose, competição, parasitismo e indução de resistência sistêmica, além dos avanços nas tecnologias de formulação e aplicação desses produtos. O trabalho também apresenta o panorama atual da regulamentação e registro de bioinsumos no Brasil, bem como as perspectivas para sua ampliação em sistemas produtivos mais resilientes e ambientalmente responsáveis. Conclui-se que os insumos biológicos representam uma alternativa promissora para o fortalecimento da agricultura regional, aliando produtividade, sustentabilidade e inovação.

Palavras-chave: Agentes biológicos; Patógenos vegetais; Agricultura sustentável.

## ABSTRACT

This paper addresses the role of biological inputs as sustainable and innovative tools in the control of phytopathogens, with emphasis on the main agricultural crops in the northern region of the state of Goiás. The growing demand for practices that are less harmful to the environment and more effective in managing plant diseases has driven the use of microorganisms, natural extracts, and biological agents as alternatives to conventional chemical pesticides. The monograph analyzes the impact of diseases on soybean, corn, bean, cotton, and sugarcane crops—economically significant for the region—highlighting the main pathogens involved and the challenges faced by local producers. It discusses the mechanisms of action of biological inputs, such as antibiosis, competition, parasitism, and induction of systemic resistance, as well as advances in formulation and application technologies for these products. The study also presents the current landscape of bioinput regulation and registration in Brazil, along with prospects for their expansion in more resilient and environmentally responsible production systems. It concludes that biological inputs represent a promising alternative for strengthening regional agriculture, combining productivity, sustainability, and innovation.

**Keywords:** Biological agents; Plant pathogens; Sustainable agriculture.

## **LISTA DE TABELAS/ ILUSTRAÇÕES**

TABELA 1. RELAÇÃO DE FUNGOS FITOPATOGÊNICOS, CULTURAS, DOENÇAS E MODO DE CONTAMINAÇÃO.....	23
TABELA 2. RELAÇÃO DE BACTÉRIAS E VÍRUS FITOPATOGÊNICOS, CULTURAS, DOENÇAS E MODO DE CONTAMINAÇÃO.....	25
TABELA 3. REGISTRO DE PRODUTOS BIOLÓGICOS NO BRASIL.....	34

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO GERAL.....	13
2.	METODOLOGIA .....	14
3.	DOENÇAS EM PLANTAS: CAUSAS E IMPACTOS NA AGRICULTURA .....	14
4.	DOENÇAS DAS PRINCIPAIS CULTURAS DO BRASIL .....	15
4.1.	Principais Doenças da Cultura da Soja .....	16
4.2.	Principais Doenças da Cultura do Milho .....	17
4.3.	Principais Doenças da Cultura da Cana-de-açúcar .....	18
4.4.	Principais Doenças da Cultura do Feijão .....	19
4.5.	Principais Doenças da Cultura do Café .....	21
4.6.	Principais Doenças da Cultura do Algodão .....	22
5.	CONTROLE BIOLÓGICO .....	26
5.1.	Soja .....	28
5.2.	Milho.....	29
5.3.	Feijão .....	30
5.4.	Cana-de-açúcar .....	31
6.	MECANISMOS DE AÇÃO DO CONTROLE BIOLÓGICO .....	32
7.	PRODUTOS BIOLÓGICOS REGISTRADOS PARA O CONTROLE BIOLÓGICO .....	34
8.	TIPOS DE MICRORGANISMOS NO CONTROLE BIOLÓGICO .....	36
	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	41
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	42

## **1. INTRODUÇÃO GERAL**

O avanço da agricultura nos últimos anos tem sido acompanhado por uma crescente preocupação com os impactos ambientais causados pelo uso intensivo de produtos químicos. Nesse cenário, os bioinsumos vêm ganhando espaço como alternativas mais sustentáveis para o manejo de doenças em plantas. Compostos por microrganismos, extratos naturais ou substâncias derivadas de organismos vivos, esses insumos oferecem uma abordagem ecológica e eficiente para o controle de fitopatógenos, promovendo ao mesmo tempo a saúde das culturas e do solo (SILVA et al., 2020).

A adoção dos bioinsumos não é apenas uma tendência, mas uma necessidade diante de problemas como o aumento da resistência de patógenos aos defensivos convencionais e a pressão do mercado por alimentos mais saudáveis. Produtos biológicos à base de fungos, bactérias, vírus e outros agentes naturais têm mostrado grande potencial no controle de doenças, principalmente em culturas de alta relevância econômica (FERREIRA et al., 2021; ALMEIDA; SOUZA, 2022).

Microrganismos entomopatogênicos já são utilizados com bons resultados em campo, não apenas no controle direto de patógenos, mas também na indução de resistência das plantas e na melhoria das condições do solo (MARTINS; COSTA, 2019). Esses produtos podem ser aplicados isoladamente ou integrados a estratégias mais amplas, como o manejo integrado de doenças (PEREIRA et al., 2024).

Embora os benefícios sejam diversos, ainda há desafios importantes, como a necessidade de formulações mais estáveis, maior vida útil dos produtos e respostas mais consistentes em diferentes condições de clima e solo. Ainda assim, o número de estudos e inovações na área vem crescendo rapidamente (RODRIGUES et al., 2023).

Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar os avanços recentes no uso de bioinsumos no manejo de doenças de plantas, destacando suas aplicações práticas, benefícios, limitações e perspectivas futuras dessa tecnologia no campo. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica centrada nas principais culturas agrícolas do norte do estado de Goiás, região de grande relevância econômica, com foco em alternativas sustentáveis ao controle fitossanitário convencional.

## **2. METODOLOGIA**

Esta revisão de literatura foi conduzida por meio da leitura de artigos científicos recentes, publicados em periódicos indexados nas bases de dados SciELO, Google Acadêmico, Scopus e Periódicos CAPES. As informações utilizadas foram extraídas de estudos disponíveis nessas plataformas, com foco em publicações relevantes para o tema proposto.

A pesquisa bibliográfica foi realizada por meio da consulta a artigos científicos recentes, publicados em periódicos indexados nas bases de dados SciELO, Google Acadêmico, Scopus e Periódicos CAPES. Foram utilizados descritores nos idiomas português e inglês, tais como: bioinsumos, controle biológico, doenças de plantas, mecanismos de ação, produtos registrados, microrganismos, extratos vegetais e culturas agrícolas.

Após a coleta dos dados, realizou-se a leitura criteriosa do material selecionado. As informações que apresentaram correlação entre os descritores foram organizadas e sistematizadas, contribuindo para o aprofundamento do conhecimento sobre o tema e subsidiando a construção do referencial teórico.

## **3. DOENÇAS EM PLANTAS: CAUSAS E IMPACTOS NA AGRICULTURA**

As doenças de plantas representam um desafio persistente para a agricultura, sendo causadas por agentes biológicos como fungos, bactérias, vírus e nematoïdes. Fatores abióticos também contribuem para o aparecimento de doenças, como o déficit hídrico ou excesso de umidade, intoxicação por agroquímicos e temperaturas extremas. Essas doenças não apenas comprometem o desenvolvimento das culturas, mas também afetam diretamente a produtividade e a qualidade dos produtos agrícolas (PARRADO; QUINTANILLA, 2024).

A intensificação da agricultura e a expansão de monoculturas fazem com que o ambiente se torne mais propício para o surgimento e propagação de doenças, uma vez que

há menor diversidade de espécies e, consequentemente, menor resistência natural. Além disso, o uso inadequado de defensivos agrícolas pode provocar desequilíbrios ecológicos, facilitando a ocorrência de surtos epidêmicos. O impacto das doenças não é apenas econômico. Culturas acometidas por agentes patogênicos sofrem redução no valor comercial, perda de vigor e até inviabilização do cultivo em determinadas regiões. Em casos extremos, surtos de doenças podem afetar a segurança alimentar, como observado com a murcha bacteriana em plantas solanáceas, que reduz drasticamente a produtividade de tomate e batata (SINGH et al., 2023).

Além disso, fatores climáticos exercem influência direta na dinâmica das doenças. Mudanças no padrão de temperatura, umidade e chuvas promovem condições ideais para o surgimento e disseminação de diversos patógenos. O aquecimento global, por exemplo, tem ampliado a área de ocorrência de doenças anteriormente restritas a determinadas regiões, exigindo maior atenção do setor agrícola (JONATHAN; MAHENDRANATHAN, 2024).

Nas regiões tropicais, onde as condições ambientais favorecem o desenvolvimento de microrganismos, as sementes tornam-se alvos vulneráveis à infecção. A presença de nutrientes nas sementes facilita a colonização por fungos e bactérias, afetando não apenas a germinação, mas também as fases iniciais do desenvolvimento das plântulas, comprometendo a formação do estande (PARISI et al., 2023).

De modo geral, as doenças de plantas trazem implicações profundas para o sistema agrícola. Seus efeitos vão desde prejuízos econômicos diretos até a necessidade de estratégias de manejo mais complexas e sustentáveis, exigindo ações integradas de monitoramento, rotação de culturas, melhoramento genético e uso racional de produtos fitossanitários (YUAN, 2024).

#### **4. DOENÇAS DAS PRINCIPAIS CULTURAS DO BRASIL**

As doenças em plantas representam um dos principais entraves à produtividade agrícola no Brasil, afetando significativamente culturas de importância econômica como soja, milho, cana-de-açúcar, feijão e café. A ocorrência e a severidade dessas doenças

variam conforme o clima, práticas de manejo, resistência genética das plantas e o uso de defensivos agrícolas (SILVA, 2018).

#### **4.1. Principais Doenças da Cultura da Soja**

A ferrugem asiática é uma doença fúngica causada pelo patógeno *Phakopsora pachyrhizi*. Os sintomas incluem manchas amareladas a pardo-escuro nas folhas, que se tornam necróticas e causam queda prematura das folhas. A propagação é favorecida por condições de alta umidade e temperaturas entre 18°C e 26,5°C, com molhamento foliar contínuo promovido por orvalho ou chuva. A disseminação ocorre principalmente por esporos transportados pelo vento e pela água da chuva (ALVES et al., 2015).

A antracnose é causada por fungos do gênero *Colletotrichum*, com destaque para *Colletotrichum truncatum*. Os sintomas incluem manchas necróticas nas folhas, hastes e vagens, podendo levar à queda prematura das folhas e redução na formação de vagens. A propagação é favorecida por alta umidade e temperaturas amenas, com disseminação por esporos presentes no solo e resíduos de plantas infectadas (ALMEIDA et al., 2017).

O mofo-branco é causado pelo fungo *Sclerotinia sclerotiorum*. Os sintomas incluem lesões aquosas que se transformam em necrose, com o desenvolvimento de um micélio branco característico. A propagação é favorecida por alta umidade, temperaturas entre 15°C e 25°C, e sombreamento do solo. A disseminação ocorre por esporos presentes no solo e resíduos de plantas infectadas, além de sementes contaminadas (MURILLO LOBO JÚNIOR, 2010).

A mancha-alvo é causada pelo fungo *Corynespora cassiicola*. Os sintomas incluem manchas foliares com anéis concêntricos, lembrando um alvo. A propagação é favorecida por alta umidade e temperaturas amenas, com disseminação por esporos presentes no solo e resíduos de plantas infectadas (ALMEIDA et al., 2017).

A mancha-parda é causada pelo fungo *Septoria glycines*. Os sintomas incluem manchas foliares de coloração castanho-avermelhada, geralmente observadas nas folhas inferiores. A propagação é favorecida por alta umidade e temperaturas amenas, com disseminação por esporos presentes no solo e resíduos de plantas infectadas (FERREIRA et al., 2014).

#### **4.2. Principais Doenças da Cultura do Milho**

A cultura do milho (*Zea mays* L.) no Brasil enfrenta diversos desafios fitossanitários que comprometem sua produtividade e qualidade. Entre as doenças mais relevantes estão as podridões do colmo e espiga, os enfezamentos, a helmintosporiose e o carvão-do-milho (CASELA et al., 2006).

As podridões do colmo e da espiga no milho são causadas por diversos patógenos, destacando-se os fungos *Colletotrichum graminicola*, *Stenocarpella maydis*, *Stenocarpella macrospora*, *Fusarium graminearum* e *Fusarium moniliforme*. Essas doenças comprometem a integridade estrutural das plantas, levando ao acamamento e à redução na qualidade e quantidade dos grãos. Os sintomas incluem escurecimento e apodrecimento dos tecidos internos do colmo, lesões nas espigas e presença de micélio branco entre os grãos. A propagação é favorecida por alta umidade, temperaturas entre 23°C e 28°C, presença de resíduos culturais infectados e monocultivo contínuo (CASA et al., 2000).

O complexo de enfezamentos, composto pelo enfezamento-vermelho e enfezamento-pálido, é transmitido pela cigarrinha-do-milho (*Dalbulus maidis*). A presença desse vetor tem sido associada a surtos significativos, especialmente em regiões como Santa Catarina, onde a safra 2020/2021 foi severamente impactada. Estratégias de manejo incluem o controle populacional da cigarrinha e o uso de cultivares resistentes (RIBEIRO & CANALE, 2021).

A helmintosporiose, causada por *Bipolaris maydis*, é uma doença foliar que provoca manchas nas folhas, reduzindo a área fotossintética e, consequentemente, a produtividade. Estudos indicam que a severidade da doença pode ser influenciada por fatores como a disponibilidade de fósforo no solo, sendo essencial o desenvolvimento de cultivares resistentes e eficientes na absorção desse nutriente (AMARAL et al., 2019).

O carvão-do-milho é uma doença fúngica causada pelo patógeno *Ustilago maydis*. Essa enfermidade afeta partes aéreas da planta, como espigas, folhas e pendões, provocando o surgimento de galhas com aparência tumoral. Inicialmente esbranquiçadas, essas estruturas se tornam escuras à medida que se enchem de esporos. A propagação do fungo é favorecida por condições ambientais como temperaturas elevadas, estresse hídrico, excesso de nitrogênio no solo e danos mecânicos às plantas. Cultivares

suscetíveis e o plantio contínuo da cultura também contribuem para o aumento da incidência da doença (SILVA et al., 2016).

#### **4.3. Principais Doenças da Cultura da Cana-de-açúcar**

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é de grande importância econômica no Brasil, sendo uma das principais fontes de açúcar e etanol. No entanto, diversas doenças impactam negativamente sua produtividade e qualidade. Entre as mais relevantes estão a ferrugem alaranjada, a ferrugem marrom, a podridão vermelha, a estria vermelha e o mosaico da cana-de-açúcar (ROSSETTO; SANTIAGO, 2022).

A ferrugem alaranjada, causada pelo fungo *Puccinia kuehnii*, tem se destacado como uma das principais doenças da cana-de-açúcar, devido à sua rápida disseminação e impacto na produtividade. Estudos demonstram que a doença pode reduzir significativamente a área fotossintética das folhas, comprometendo o crescimento e o rendimento da planta. O controle eficaz envolve o uso de variedades resistentes e a aplicação de fungicidas específicos, como estrobilurinas e triazóis (ALVES et al., 2019).

A ferrugem marrom, provocada por *Puccinia melanocephala*, é uma doença foliar que afeta a cana-de-açúcar, causando lesões que reduzem a capacidade fotossintética da planta. Embora menos agressiva que a ferrugem alaranjada, sua presença contínua nas lavouras requer atenção. O manejo inclui a seleção de variedades resistentes e práticas culturais adequadas (KOCH, 2020).

A podridão vermelha, causada por *Colletotrichum falcatum*, afeta principalmente os colmos da cana-de-açúcar, resultando em perdas significativas durante o processamento industrial. A doença é favorecida por condições de alta umidade e danos mecânicos. Estratégias de controle incluem o uso de mudas sadias, práticas de colheita cuidadosas e tratamentos térmicos (BUENO et al., 2019).

A estria vermelha é uma doença bacteriana causada por *Acidovorax avenae* subsp. *avenae*, caracterizada por listras vermelhas nas folhas. Embora frequentemente confundida com sintomas de estresse hídrico ou deficiências nutricionais, seu diagnóstico preciso é essencial para o manejo adequado. O controle envolve o uso de mudas livres do patógeno e a eliminação de plantas infectadas (FERREIRA, 2024).

O mosaico da cana-de-açúcar, causado pelo *Sugarcane mosaic virus* (SCMV), é uma das viroses mais relevantes na cultura da cana, afetando significativamente a produtividade. Estudos recentes identificaram a presença de diferentes estirpes do SCMV no Brasil, incluindo variantes capazes de quebrar a resistência de variedades comerciais anteriormente consideradas tolerantes, como a RB72-454. Essas estirpes emergentes apresentam maior severidade nos sintomas e podem comprometer o desenvolvimento das plantas, especialmente quando a infecção ocorre em estágios iniciais (GONÇALVES et al., 2021).

A fusariose na cultura da cana-de-açúcar tem se tornado cada vez mais relevante no cenário fitossanitário, sendo provocada principalmente pelos fungos *Fusarium sacchari* e *Fusarium verticillioides*. Essa enfermidade está diretamente ligada à degradação dos colmos, inviabilização de gemas e prejuízos na brotação das mudas, afetando o desenvolvimento inicial da lavoura. Sua ocorrência é registrada tanto durante o cultivo quanto no armazenamento dos colmos, sendo favorecida por condições de estresse fisiológico, umidade elevada no momento do corte e utilização de material propagativo contaminado. Entre os sintomas típicos destacam-se alterações na coloração dos tecidos internos, secreção de fluido avermelhado e odor pútrido. Para mitigar a disseminação do patógeno, recomenda-se a adoção de práticas preventivas, como a escolha de mudas livres de infecção, higienização rigorosa dos instrumentos agrícolas, rotação de culturas e, em algumas regiões, o uso de tratamento térmico. Complementarmente, o emprego de agentes biológicos, como *Trichoderma spp.* e *Bacillus subtilis*, tem se mostrado eficaz como ferramenta de controle, contribuindo para a redução da incidência da doença em sistemas de produção sustentáveis (SILVA et al., 2023).

#### **4.4. Principais Doenças da Cultura do Feijão**

A cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) possui grande relevância agrícola, econômica e nutricional, especialmente em países da América Latina, como o Brasil. Cultivado em diferentes sistemas de produção e condições climáticas, o feijoeiro está sujeito a diversos fatores bióticos que comprometem seu desenvolvimento e produtividade. Dentre esses fatores, as doenças constituem um dos principais desafios enfrentados pelos agricultores, podendo causar perdas significativas se não forem

manejadas adequadamente. Este tópico aborda as principais doenças que afetam o feijão, suas características, agentes etiológicos e estratégias de controle baseadas em estudos científicos recentes (FERREIRA; LOBO JUNIOR, 2025).

A antracnose é uma das doenças mais devastadoras do feijoeiro, caracterizada por lesões escuras nas vagens, caules e folhas. É transmitida principalmente por sementes infectadas, sendo a principal fonte de inóculo inicial da doença. Estudos indicam que a utilização de sementes livres de patógenos pode aumentar a produtividade em até 32,8% (FIOREZE et al., 2018).

O mofo-branco é causado por um fungo necrotrófico que afeta diversas partes da planta, levando à murchça e morte dos tecidos. Pesquisas recentes têm focado na identificação de genótipos resistentes e no mapeamento de loci de resistência, visando o desenvolvimento de cultivares tolerantes (NEGREIROS et al., 2020).

O BGMV (Bean Golden Mosaic Virus) é transmitido pela mosca-branca (*Bemisia tabaci*) e pode causar perdas de até 100% na produção. Os sintomas incluem mosaico amarelo nas folhas, redução do crescimento e deformações nas vagens. O controle envolve o uso de cultivares resistentes e manejo integrado de pragas (GUIMARÃES, 2011).

A mancha-angular é uma das principais doenças do feijoeiro comum e ocorre nas folhas, vagens, caules e ramos. As primeiras lesões podem aparecer nas folhas primárias, apresentando conformação mais ou menos circular, de cor castanho-escuro. Nas folhas trifolioladas o sintoma mais evidente é o aparecimento de lesões de formato angular, delimitada pelas nervuras, inicialmente de coloração cinzenta tornando-se, posteriormente, castanhelas (AGGARWAL et al., 2004).

A murchça-de-fusário é causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* e é disseminada em todas as regiões produtoras de feijão do país. A doença provoca perda de vigor, amarelamento, ressecamento e queda gradual das folhas, começando pela base da planta. O corte das hastes revela descoloração vascular. O controle pode ser realizado por meio do plantio de sementes de boa qualidade e de cultivares resistentes (NEGREIROS et al., 2020).

#### **4.5. Principais Doenças da Cultura do Café**

A cultura do café tem uma importância socioeconômica significativa para diversos países, especialmente para o Brasil, que figura entre os maiores produtores e exportadores mundiais. No entanto, o sucesso da cafeicultura está diretamente relacionado à adoção de práticas eficazes de manejo fitossanitário, já que diversas doenças podem comprometer severamente a produtividade, a qualidade dos grãos e a viabilidade econômica das lavouras. Entre os principais desafios enfrentados pelos produtores estão doenças como a: ferrugem-do-cafeeiro (*Hemileia vastatrix*), a mancha de *Phoma* (*Phoma* spp.) e a ação da broca-do-café (*Hypothenemus hampei*), esta última atuando como vetor indireto de patógenos (ZAMBOLIM, 2006).

A ferrugem-do-cafeeiro é considerada a principal doença fúngica que afeta a cultura do café no Brasil e em diversos países produtores. O fungo *Hemileia vastatrix* compromete diretamente a produção e qualidade dos grãos, gerando perdas econômicas significativas. O uso de cultivares resistentes tem se mostrado a alternativa mais viável e sustentável para o controle da doença, especialmente diante da resistência a fungicidas observada em algumas regiões. Além disso, o monitoramento constante aliado ao manejo integrado tem sido apontado como prática recomendada (MATIELLO, 2020).

Com o avanço tecnológico, o uso de inteligência artificial e redes neurais convolucionais tem sido explorado como ferramenta complementar na identificação de ferrugem em folhas de cafeeiro, por meio de aplicativos móveis que auxiliam no diagnóstico rápido e preciso em campo (FERREIRA et al., 2021).

A mancha de *Phoma* é uma doença fúngica emergente na cafeicultura, causada por espécies do gênero *Phoma*, que afeta ramos, folhas e frutos. Embora tradicionalmente considerada uma doença secundária, estudos recentes sugerem que ela pode ganhar importância com as alterações climáticas e o manejo inadequado das lavouras. Os sintomas incluem lesões necróticas circulares e queda prematura de folhas, o que pode comprometer o desenvolvimento da planta (SANTOS; SILVA; OLIVEIRA, 2019).

A broca-do-café, apesar de ser um inseto-praga, tem impacto indireto na sanidade da planta, pois facilita a entrada de patógenos e compromete os frutos. Seu controle continua sendo um desafio, principalmente em função da resistência a inseticidas e da sua biologia protegida no interior do fruto. Estratégias integradas, com foco em

controle biológico, têm sido destacadas como essenciais no manejo eficiente da praga (GUEDES et al., 2017).

#### **4.6. Principais Doenças da Cultura do Algodão**

A cotonicultura brasileira possui relevância histórica, econômica e social, sobretudo para a região Nordeste, que por muitos anos foi uma das principais áreas produtoras do país. No entanto, a partir da década de 1980, a produção enfrentou um período de declínio associado a múltiplos fatores, sendo a disseminação do bicudo-do-algodoeiro (*Anthonomus grandis*) um dos mais determinantes. Essa praga, de difícil controle e elevada capacidade de destruição, provocou perdas significativas de produtividade, elevou os custos de produção e contribuiu para a redução da competitividade do algodão brasileiro frente a outros mercados (ROSÁRIO et al., 2024).

Além dos insetos-praga, diversas doenças de origem fúngica e bacteriana exercem influência direta sobre a rentabilidade da cultura. Entre as mais recorrentes destacam-se a mancha-angular (*Xanthomonas citri* pv. *malvacearum*), a cercosporiose (*Cercospora* spp.) e a murcha-de-macrophomina (*Macrophomina phaseolina*), que afetam tanto o desenvolvimento vegetativo quanto a qualidade da fibra produzida. Estudos recentes apontam que algumas cultivares de algodão, resultantes de programas de melhoramento genético, apresentam níveis diferenciados de tolerância a esses patógenos, o que representa uma alternativa promissora para reduzir as perdas na lavoura (RAMOS; BARROS; SILVA, 2022).

Outro aspecto relevante no processo de ocorrência e disseminação das doenças refere-se às condições microclimáticas da lavoura. A duração do molhamento foliar (DMF), variável que mede o tempo em que a superfície das folhas permanece úmida, exerce papel crucial no ciclo epidemiológico de diferentes patógenos, favorecendo processos como a germinação de esporos e a infecção dos tecidos vegetais. Em experimentos conduzidos com o algodão, observou-se que a DMF apresenta comportamento semelhante entre o topo e a base do dossel, evidenciando-se como parâmetro de interesse para o desenvolvimento de modelos de previsão e de sistemas de alerta fitossanitário (SANTOS et al., 2008).

No âmbito do cultivo agroecológico, estratégias de manejo integrado vêm sendo priorizadas para minimizar a pressão das doenças e reduzir a dependência de defensivos

químicos. O consórcio de culturas, por exemplo, tem se mostrado eficiente ao diversificar o agroecossistema, diminuindo a incidência de pragas e doenças e ampliando a resiliência produtiva. Aliado a isso, destacam-se o uso de defensivos naturais, a preservação da biodiversidade local e o aproveitamento de sementes crioulas adaptadas às condições do semiárido (ALBUQUERQUE, 2011; GOIS, 2025).

A problemática das doenças na cultura do algodão demanda uma abordagem multidimensional. O controle efetivo depende da articulação entre melhoramento genético, monitoramento ambiental e práticas agroecológicas que garantam equilíbrio produtivo e sustentabilidade econômica. Nesse sentido, a construção de sistemas agrícolas mais resilientes representa, não apenas uma resposta às ameaças fitossanitárias, mas também um caminho para consolidar a retomada da cotonicultura em bases sustentáveis (GOULART, 2013).

Neste contexto, a Tabela 1 apresenta fungos fitopatogênicos associados a culturas como soja, milho, cana-de-açúcar, feijão e café, com suas respectivas doenças e formas de contaminação. A Tabela 2 complementa essa abordagem ao reunir dados sobre bactérias e vírus que afetam essas mesmas culturas. Juntas, oferecem uma visão integrada dos principais patógenos agrícolas, facilitando o entendimento dos padrões epidemiológicos e orientando práticas de manejo sustentáveis e eficazes.

Tabela 1. Relação de fungos fitopatogênicos, culturas, doenças e modo de contaminação.

<b>Fungo Patogênico</b>	<b>Cultura Afetada</b>	<b>Doença</b>	<b>Modo de Contaminação</b>	<b>Referência</b>
<i>Puccinia pachyrhizi</i>	Soja	Ferrugem-asiática	Esporos levados pelo vento, infectam folhas sob alta umidade.	Godoy et al. (2018)
<i>Cercospora kikuchii</i>	Soja	Mancha-púrpura	Presente em restos culturais e sementes, penetra por estômatos.	Silva et al. (2019)
<i>Corynespora cassiicola</i>	Soja	Mancha-alvo	Esporos dispersos por vento e respingos, germinam sob alta umidade.	Pascholati et al. (2021)

<i>Colletotrichum truncatum</i>	Soja	Antracnose	Infecção por conídios durante o florescimento, favorecida por chuva.	Debortoli et al. (2017)
<i>Cochliobolus heterostrophus</i>	Milho	Helmintosporiose (mancha foliar)	Esporos se disseminam por vento e chuva, infectando folhas com ferimentos.	Costa et al. (2020)
<i>Fusarium verticillioides</i>	Milho	Podridão-de-espiga / murcha de plântulas	Infecção via sementes, solo ou ferimentos, produz micotoxinas.	Barroso et al. (2019)
<i>Ustilago maydis</i>	Milho	Carvão-do-milho	Penetração via estômatos ou ferimentos, forma galhas nos tecidos.	Santos et al. (2022)
<i>Colletotrichum lindemuthianum</i>	Feijão	Antracnose do feijoeiro	Sementes contaminadas, infecção via estômatos sob alta umidade.	Oliveira et al. (2020)
<i>Rhizoctonia solani</i>	Feijão	Tombamento e podridão radicular	Contaminação via solo úmido, ataca raízes e base do caule.	Lima et al. (2021)
<i>Hemileia vastatrix</i>	Café	Ferrugem-do-cafeeiro	Esporos germinam sob alta umidade, infectando folhas.	Zambolim et al. (2019)
<i>Colletotrichum kahawae</i>	Café	Antracnose dos frutos (CBD)	Esporos penetram em frutos jovens via estômatos, transmitidos por chuva.	Ribeiro et al. (2018)
<i>Puccinia melanocephala</i>	Cana-de-açúcar	Ferrugem-marrom	Esporos transportados pelo vento, penetram folhas sob umidade alta.	Fernandes et al. (2017)
<i>Colletotrichum falcatum</i>	Cana-de-açúcar	Podridão-vermelha	Entra por ferimentos ou cortes de colheita, transmitido por mudas infectadas.	Souza et al. (2021)

Tabela 2. Relação de bactérias e vírus fitopatogênicos, culturas, doenças e modo de contaminação.

<b>Agente Patogênico</b>	<b>Tipo</b>	<b>Cultura Afetada</b>	<b>Doença</b>	<b>Modo de Contaminação</b>	<b>Referência</b>
<i>Xanthomonas axonopodis pv. phaseoli</i>	Bactéria	Feijão	Murcha-bacteriana / Mancha-comum	Sementes infectadas, respingos de chuva, ferramentas contaminadas	Silva et al. (2019)
<i>Bean common mosaic virus (BCMV)</i>	Vírus	Feijão	Mosaico-comum	Transmissão por sementes e afídeos	Souza et al. (2017)
<i>Xanthomonas citri pv. glycines</i>	Bactéria	Soja	Mancha-bacteriana	Esporos disseminados por chuva, sementes contaminadas	Oliveira et al. (2015)
<i>Soybean mosaic virus (SMV)</i>	Vírus	Soja	Mosaico-da-soja	Transmissão por sementes e afídeos	Lima et al. (2016)
<i>Pantoea stewartii subsp. stewartii</i>	Bactéria	Milho	Murcha-de-Stewart	Transmitida por insetos vetores (besouros), sementes	Barros et al. (2014)
<i>Maize dwarf mosaic virus (MDMV)</i>	Vírus	Milho	Mosaico-anão-do-milho	Transmissão por pulgões e plantas hospedeiras	Costa et al. (2018)
<i>Xanthomonas citri pv. malvacearum</i>	Bactéria	Algodão	Mancha-angular-do-algodoeiro	Sementes contaminadas, respingos de chuva	Fernandes et al. (2020)
<i>Cotton leaf curl virus (CLCuV)</i>	Vírus	Algodão	Enrolamento-da-folha	Transmitido por mosca-branca ( <i>Bemisia tabaci</i> )	Almeida et al. (2015)
<i>Xylella fastidiosa</i>	Bactéria	Café	Clorose-variegada	Transmitida por cigarrinhas, afeta vasos do xilema	Zambolim et al. (2013)
<i>Coffee ringspot virus (CoRSV)</i>	Vírus	Café	Mancha-anelar-do-café	Transmissão por ácaros e contato entre folhas	Pereira et al. (2011)

<i>Leifsonia xyli</i> <i>subsp. xyli</i>	Bactéria	Cana-de-açúcar	Raquitismo-da-soqueira	Transmitida por mudas contaminadas e ferramentas	Silva et al. (2010)
<i>Sugarcane mosaic virus (SCMV)</i>	Vírus	Cana-de-açúcar	Mosaico-da-cana	Transmissão por afídeos e mudas infectadas	Santos et al. (2012)

## 5. CONTROLE BIOLÓGICO

O controle biológico tem se consolidado como uma ferramenta essencial para o manejo sustentável de doenças e pragas agrícolas, reduzindo a dependência de defensivos químicos e promovendo a conservação ambiental. A busca por alternativas mais seguras e eficazes impulsionou o desenvolvimento de pesquisas sobre microrganismos benéficos capazes de atuar contra fitopatógenos e, simultaneamente, estimular o crescimento das plantas. Essa abordagem representa um avanço significativo dentro da agricultura moderna, ao integrar produtividade e equilíbrio ecológico (FONTES et al., 2020).

Entre os principais agentes de biocontrole estudados, os fungos do gênero *Trichoderma* destacam-se por apresentarem mecanismos múltiplos de ação, como micoparasitismo, antibiose e indução de resistência sistêmica. Além de controlar fungos patogênicos como *Fusarium* e *Rhizoctonia*, essas espécies promovem maior desenvolvimento radicular e vigor vegetativo (MUKHERJEE et al., 2022). A utilização de *Trichoderma* em culturas agrícolas brasileiras tem mostrado resultados consistentes, sendo empregada em sistemas convencionais e orgânicos, com efeitos positivos tanto sobre o rendimento das lavouras quanto na sanidade do solo (SOUZA et al., 2021).

As bactérias do gênero *Bacillus* também têm papel relevante no controle biológico. *Bacillus subtilis*, por exemplo, é reconhecida por produzir compostos antimicrobianos, como iturina e fengicina, que inibem o crescimento de fungos fitopatogênicos e estimulam o crescimento das plantas (LANNA FILHO et al., 2010). Essa bactéria forma endósporos resistentes, o que favorece sua sobrevivência em condições adversas e possibilita a formulação de produtos biológicos estáveis e duradouros (CHEN et al., 2008). Além disso, *Bacillus* spp. apresentam capacidade de

colonizar a rizosfera e competir com patógenos, reduzindo o risco de infecção nas fases iniciais do desenvolvimento das plantas (WANG et al., 2004).

O controle de nematoides fitopatogênicos tem recebido atenção crescente, especialmente com o uso de fungos nematófagos, como *Purpureocillium lilacinum* e *Arthrobotrys oligospora*. Esses microrganismos são capazes de capturar e parasitar nematoides por meio da secreção de enzimas hidrolíticas e pela formação de estruturas especializadas (CIANCIO et al., 2016). Tais agentes representam uma alternativa promissora ao controle químico, pois reduzem as populações de nematoides sem causar desequilíbrios biológicos no solo, contribuindo para a sustentabilidade agrícola (CARNEIRO et al., 2020).

Os mecanismos de ação dos agentes biológicos envolvem complexas interações ecológicas. A antibiose consiste na liberação de substâncias inibidoras ao patógeno; a competição ocorre pela disputa de nutrientes e espaço; e o micoparasitismo envolve a penetração direta nas estruturas do fungo hospedeiro, resultando em sua destruição (THAMBUGALA et al., 2020). Além desses processos, alguns microrganismos ativam respostas fisiológicas nas plantas que aumentam a resistência contra futuros ataques de patógenos, caracterizando a indução de resistência sistêmica (YADAV et al., 2023).

No contexto brasileiro, a adoção de produtos biológicos vem crescendo rapidamente. A ampliação da pesquisa científica e os incentivos governamentais têm impulsionado a criação de biofábricas e o registro de novos produtos à base de *Trichoderma* e *Bacillus*, utilizados em culturas de grande relevância econômica, como soja, milho e feijão (BETTIOL et al., 2019). Esses avanços indicam uma tendência clara de transição para sistemas agrícolas mais sustentáveis, com foco na redução de resíduos químicos e na valorização da microbiota do solo.

Em síntese, o controle biológico representa um dos pilares da agricultura sustentável contemporânea. Seu sucesso depende da integração entre pesquisa científica, políticas públicas e capacitação técnica dos produtores. A consolidação dessa prática no Brasil reforça o potencial dos microrganismos como aliados da produção agrícola, promovendo a produtividade com responsabilidade ambiental e contribuindo para um futuro agrícola mais equilibrado (FONTES et al., 2020).

## 5.1. Soja

A cultura da soja ocupa posição de destaque no agronegócio brasileiro, sendo responsável por grande parte das exportações e pela geração de renda em diversas regiões produtoras. No entanto, o cultivo intensivo da oleaginosa tem favorecido o surgimento e a disseminação de doenças como ferrugem asiática, mofo-branco, oídio e podridões radiculares, que comprometem a produtividade e exigem estratégias eficazes de manejo. Nesse cenário, o controle biológico tem se consolidado como uma alternativa sustentável e eficiente, capaz de reduzir o uso de defensivos químicos e minimizar os impactos ambientais da produção (BARBOSA ET AL., 2021).

O controle biológico na soja baseia-se na utilização de microrganismos antagonistas que atuam diretamente sobre os patógenos, seja por parasitismo, competição ou produção de substâncias inibitórias. Fungos como *Trichoderma harzianum* e *T. asperellum*, além de bactérias como *Bacillus spp.*, têm demonstrado eficácia no controle de doenças como o mofo-branco, causado por *Sclerotinia sclerotiorum*. Esses agentes são capazes de colonizar o solo e parasitar os escleródios do fungo, reduzindo sua viabilidade e interrompendo o ciclo da doença (GÖRGEN ET AL., 2010).

Ensaios cooperativos realizados entre 2012 e 2015 mostraram que formulações comerciais de *Trichoderma spp.* aplicadas em estágios vegetativos da soja reduziram a incidência de mofo-branco em até 39%, além de diminuir a massa de escleródios no solo. Embora os fungicidas convencionais tenham apresentado maior eficácia isolada, os biofungicidas mostraram-se promissores como parte de um sistema integrado de manejo (MEYER ET AL., 2016).

Além do mofo-branco, o controle biológico também tem sido estudado para doenças radiculares, como aquelas causadas por *Fusarium spp.*, *Phytophthora spp.* e *Meloidogyne spp.*. Esses patógenos sobrevivem por longos períodos no solo, dificultando o controle químico. O uso de microrganismos antagonistas, aliado a práticas culturais como rotação de culturas e semeadura direta sobre palhada, tem contribuído para a redução da população desses agentes e para o fortalecimento da microbiota benéfica do solo (VIDA ET AL., 2018).

A adoção do controle biológico na soja também está alinhada com as diretrizes da produção orgânica e da agricultura de baixo carbono. Embora ainda existem desafios como certificação, capacitação técnica e acesso a bioinsumos, o uso de agentes biológicos

permite a manutenção da produtividade com menor impacto ambiental. Estudos indicam que sistemas alternativos de produção de soja, baseados em práticas sustentáveis, apresentam menor carga ambiental e maior renovabilidade em comparação ao modelo convencional (CAVALETT, 2008).

Em conclusão, o controle biológico representa uma ferramenta estratégica para o manejo de doenças na cultura da soja. Sua integração com práticas culturais e genéticas permite a construção de sistemas produtivos mais equilibrados, resilientes e ambientalmente responsáveis. O avanço das pesquisas e a difusão do conhecimento entre os produtores são fundamentais para ampliar a adoção dessas tecnologias e garantir a sustentabilidade da cadeia produtiva da soja (HANKE ET AL., 2022).

## 5.2. Milho

A cultura do milho (*Zea mays L.*) é uma das mais relevantes para o agronegócio brasileiro, mas sua produtividade é frequentemente comprometida por doenças causadas por fitopatógenos, especialmente em sistemas de cultivo contínuo e plantio direto. Entre os principais agentes causadores estão fungos, bactérias e vírus que se aproveitam das condições favoráveis proporcionadas por resíduos culturais e monoculturas (CECCHIN, 2023). A cigarrinha-do-milho (*Dalbulus maidis*), por exemplo, é vetor de doenças como o enfezamento vermelho, o enfezamento pálido e a virose da risca, que podem reduzir drasticamente a produtividade da lavoura (RAMOS, 2022).

Diante da crescente resistência aos defensivos químicos e da necessidade de práticas mais sustentáveis, o controle biológico tem se destacado como alternativa eficaz e ambientalmente segura. Fungos entomopatogênicos como *Metarhizium robertii* têm demonstrado alta eficiência no controle de vetores de doenças, como *D. maidis*, especialmente quando formulados em bioinseticidas à base de blastosporos (MASCARIN, 2021). Em condições laboratoriais, *Metarhizium* sp. IDM 1-1 apresentou taxas de mortalidade superiores a 70%, evidenciando seu potencial para aplicação em campo (OLIVEIRA, 2024). *Cordyceps javanica* também mostrou alta virulência e compatibilidade com inseticidas, ampliando as possibilidades de formulações sinérgicas (POLETTO, 2024).

Além dos fungos, bactérias como *Bacillus subtilis* têm sido estudadas por sua capacidade de induzir resistência sistêmica em plantas, ativando genes de defesa e

reduzindo a suscetibilidade a patógenos (BAIS et al., 2004). Embora sua ação direta sobre os agentes causadores de doenças seja limitada, sua atuação como promotor de resistência representa uma estratégia complementar importante. Compostos voláteis produzidos por *B. subtilis* também demonstraram atividade antifúngica contra patógenos como *Botrytis cinerea*, sugerindo aplicações futuras no controle de doenças foliares (CHEN et al., 2008).

O uso de parasitoides também pode contribuir indiretamente para o controle de doenças ao reduzir populações de insetos vetores. *Telenomus remus*, por exemplo, é eficiente no parasitismo de ovos de *Spodoptera frugiperda*, que embora não seja vetor direto, pode favorecer o estresse fisiológico da planta e aumentar sua vulnerabilidade a doenças (CARNEIRO, 2005). *Trichogramma pretiosum* tem sido utilizado em diversas culturas, incluindo o milho, com resultados positivos no controle de lepidópteros que danificam tecidos foliares e facilitam infecções secundárias (PARRA & ZUCCHI, 2004).

### 5.3. Feijão

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), alimento básico em diversas regiões do mundo, especialmente no Brasil, enfrenta sérios desafios fitossanitários que comprometem sua produtividade. Entre os principais entraves estão as doenças radiculares causadas por fungos fitopatogênicos, como *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* e *Sclerotinia sclerotiorum*, responsáveis por perdas significativas em campo. Diante das limitações do controle químico, como o alto custo e os impactos ambientais, o controle biológico tem se consolidado como uma alternativa sustentável e eficaz no manejo dessas doenças (KENDRIK; SNYDER, 1942).

A murcha de fusário, causada por *F. oxysporum* f. sp. *phaseoli*, é uma das doenças mais severas na cultura do feijão-caupi, podendo provocar perdas de até 75% da produção, especialmente em condições de temperatura elevada e presença de nematoídes como *Meloidogyne* spp., que facilitam a infecção radicular (RIBEIRO; HAGEDORN, 1979). O patógeno sobrevive no solo por meio de estruturas resistentes como clamidósporos, sendo disseminado por sementes contaminadas, água de irrigação e implementos agrícolas (BIANCHINI et al., 2005). A ausência de cultivares resistentes e a alta variabilidade genética do patógeno tornam seu controle ainda mais desafiador (DALLA PRIA; SILVA, 2010).

Nesse cenário, o uso de fungos antagonistas como *Trichoderma* spp. tem se mostrado promissor. Esses microrganismos atuam por diversos mecanismos, como micoparasitismo, competição por espaço e nutrientes, produção de enzimas hidrolíticas e antibióticos, além de indução de resistência sistêmica nas plantas (SARAVANAKUMAR et al., 2017). Além disso, *Trichoderma* spp. promovem o crescimento vegetal por meio da produção de substâncias bioestimulantes e pela solubilização de fósforo, melhorando a nutrição das plantas (SILVA et al., 2014).

Estudos demonstram que a aplicação de *Trichoderma* spp. via microbiolização de sementes ou pulverização foliar pode reduzir significativamente a incidência de doenças e estimular o desenvolvimento das plantas (PURDY, 1979). A interação entre *Trichoderma* e os patógenos foi confirmada por meio de microscopia eletrônica, evidenciando a ação direta do micoparasitismo sobre os escleródios de *S. sclerotiorum* (HERAUX et al., 2005).

Além disso, práticas culturais como a rotação de culturas, adubação verde e incorporação de matéria orgânica têm contribuído para a criação de solos supressivos, favorecendo a atividade da microbiota benéfica e reduzindo o inóculo de patógenos (BETTIOL et al., 2019). O tratamento de sementes com agentes biológicos também tem se mostrado uma medida preventiva eficaz, promovendo proteção contra patógenos durante os estágios iniciais do desenvolvimento da planta (REIS et al., 2011).

Conclui-se que o controle biológico, especialmente com o uso de *Trichoderma* spp., representa uma estratégia eficaz e sustentável para o manejo de doenças na cultura do feijão. A atuação desses fungos vai além da supressão dos patógenos, contribuindo para o vigor das plantas e a melhoria das condições do solo. A adoção dessas práticas, aliada ao monitoramento fitossanitário e ao uso de sementes saudáveis, pode transformar o manejo de doenças em sistemas agrícolas mais resilientes e produtivos (REIS et al., 2011).

#### **5.4. Cana-de-açúcar**

A cana-de-açúcar representa uma das culturas de maior adesão ao controle biológico no Brasil, com destaque para o combate à broca-da-cana (*Diatraea saccharalis*), praga que causa grandes prejuízos à produtividade. O uso dos parasitoides *Trichogramma galloii* e *Cotesia flavipes* é amplamente difundido, sendo conduzido de forma estratégica com base na sazonalidade da praga e na dinâmica populacional entre

hospedeiro e inimigo natural (**RAFIKOV et al., 2022**). Atualmente, cerca de 90% da área cultivada com cana-de-açúcar no país emprega técnicas de controle biológico, consolidando o Brasil como referência mundial no setor (**PARRA, 2022**). Contudo, a extensão das áreas de cultivo ainda impõe desafios logísticos, o que reforça a necessidade de inovações tecnológicas que otimizem a aplicação e persistência dos bioagentes.

## **6. MECANISMOS DE AÇÃO DO CONTROLE BIOLÓGICO**

O controle biológico é uma estratégia sustentável e eficaz no manejo de doenças de plantas, utilizando microrganismos antagonistas para suprimir ou inibir fitopatógenos. Os mecanismos de ação são diversos e frequentemente atuam de forma sinérgica, conferindo robustez ao sistema de defesa vegetal (**MEDEIROS et al., 2018**).

### **6.1. Antibiose**

A antibiose ocorre pela produção de compostos antimicrobianos, como antibióticos, enzimas hidrolíticas, metabólitos secundários e compostos voláteis, que afetam diretamente o patógeno. Espécies de *Trichoderma* produzem peptaibóis, gliotoxinas e compostos voláteis que alteram a permeabilidade da membrana e provocam a lise celular (**MONTE et al., 2019; HERMOSA et al., 2014**). Segundo DRUZHININA et al. (2018), o gênero *Trichoderma* possui genes transferidos lateralmente que codificam enzimas líticas capazes de degradar a parede celular de fungos fitopatogênicos.

### **6.2. Competição**

Microrganismos antagonistas competem com os patógenos por espaço, nutrientes e/ou oxigênio, especialmente na rizosfera e no filoplano. A produção de sideróforos por bactérias como *Pseudomonas fluorescens* reduz a disponibilidade de ferro para os patógenos (**KÖHL et al., 2019**), impedindo seu crescimento. Além disso, leveduras como *Rhodotorula glutinis* e *Pseudozyma aphidis* demonstraram alta capacidade competitiva por nutrientes em fermentos de frutos (**SPADARO & DROBY, 2016**).

### **6.3. Parasitismo e Micoparasitismo**

O micoparasitismo é caracterizado pela interação direta entre o agente de biocontrole e o patógeno, com adesão, penetração e degradação das estruturas fúngicas por enzimas como quitinases e glucanases (DRUZHININA et al., 2018). *Trichoderma harzianum* e *T. asperellum* são eficazes na colonização e destruição de hifas de *Fusarium solani* e *Sclerotinia sclerotiorum* (SARZI et al., 2021; SILVA et al., 2015).

### **6.4. Predação**

O mecanismo de ação de predadores no controle biológico de pragas é um processo fundamental para a sustentabilidade agrícola, pois envolve a interação direta entre o predador e seu alvo, resultando na redução populacional da praga. Predadores atuam principalmente por meio da predação ativa de diferentes estágios do ciclo de vida dos insetos-praga, como larvas, pupas e adultos, sendo capazes de localizar, capturar e consumir suas presas mesmo quando estas se encontram protegidas por estruturas vegetais. Essa habilidade é essencial para o sucesso do controle biológico em ambientes agrícolas, onde as pragas frequentemente se escondem em folhas, galhos ou no solo (CHOCOROSQUI & PASINI, 2000).

### **6.5. Indução de Resistência Sistêmica**

A indução de resistência sistêmica em plantas é um processo pelo qual o vegetal ativa seus mecanismos de defesa em resposta a estímulos externos, mesmo em partes que não foram diretamente atacadas por patógenos. Essa ativação pode ser provocada por agentes bióticos, como microrganismos benéficos, ou abióticos, como compostos químicos. O objetivo é preparar a planta para resistir a futuras infecções, fortalecendo sua imunidade natural sem alterar seu material genético (ARAUJO & MENEZES, 2009).

### **6.6. Promoção do Crescimento Vegetal**

Além da supressão de patógenos, muitos agentes de biocontrole promovem o crescimento vegetal por meio da produção de fitohormônios, aumento da absorção de nutrientes e tolerância a estresses abióticos (CHAGAS et al., 2017). *Trichoderma* spp.

estimulam o desenvolvimento radicular, a área foliar e a fotossíntese, refletindo diretamente na produtividade (MACHADO et al., 2012).

Leveduras como *Saccharomyces cerevisiae* e *Rhodotorula glutinis* também promovem crescimento por meio da produção de ácido indolacético (AIA) e modulação do microambiente (HELING et al., 2017).

## 7. PRODUTOS BIOLÓGICOS REGISTRADOS PARA O CONTROLE BIOLÓGICO

A crescente adoção de tecnologias sustentáveis na agricultura brasileira tem impulsionado o registro de produtos biológicos voltados ao controle de pragas. Nesse contexto, a Tabela 3 apresenta um panorama atualizado sobre o número de produtos biológicos registrados no Brasil, evidenciando o avanço desse setor. Atualmente, existem cerca de 629 produtos biológicos registrados no país para controle de pragas, abrangendo microrganismos, macrorganismos, bioquímicos e semioquímicos, com crescimento constante ano após ano (BENTO, 2024)

Tabela 3. Registro de produtos biológicos no Brasil.

Agente Ativo/ Composição	Uso Principal	Cultura	Nº Registro MAPA Atualizado	Referênc ia Bibliogr áfica
Mistura de <i>Bacillus</i> spp.	Controle de nematoides, doenças fúngicas e bacterianas	Soja, Milho, Cana	Ato 45/2023 (MAPA)	MAPA (2023)
<i>Bacillus velezensis</i>	Controle de doenças fúngicas e bacterianas, biofertilizante	Soja, Milho, Cana	Ato 45/2023 (MAPA)	MAPA (2023)

<i>Beauveria bassiana</i>	Controle de percevejo marrom ( <i>Euschistus heros</i> )	Soja, Milho, Feijão	Registro MAPA nº 30920	MAPA (2023)
<i>Metarhizium anisopliae</i>	Controle de cigarrinha, lagartas, mosca branca	Soja, Milho, Cana-de-açúcar	Registro MAPA nº 29122	MAPA (2023)
<i>Isaria fumosorosea</i>	Controle de mosca branca, ácaros	Diversos	Registro MAPA nº 15120	MAPA (2022)
<i>Telenomus</i> spp.	Controle biológico de ovos de lagartas	Soja (possível em milho)	Registro MAPA 2021 (estudo ESALQ)	MAPA (2021)
<i>Tetrastichus howardi</i> , <i>Heterorhabditis</i> spp., <i>Steinernema carpocapsae</i>	Controle de percevejos e insetos	Feijão e Milho	Ato 38/2022 (MAPA)	MAPA (2022)
<i>Metarhizium anisopliae</i> e <i>M. mexicana</i>	Controle de lagartas, bichudo, mosca-do-cachorro	Soja, Milho, Cana	Ato 2023 (MAPA)	MAPA (2023)
<i>Beauveria bassiana</i>	Controle de mosca-branca e percevejo-verde	Soja (outras culturas)	Registro MAPA nº 30920	MAPA (2023)

<i>Trichoderma harzianum</i> e <i>T. asperellum</i>	Controle de doenças fúngicas	Soja, Milho, Feijão, Cana	Registro MAPA nº 24323	MAPA (2023)
<i>Azospirillum brasilense</i>	Biofertilizante, estímulo de nitrogênio	Milho, Feijão, Cana	Registro MAPA 2023 – Estirpes HM053 e HM210	MAPA (2023)
<i>Bacillus</i> spp.	Biofertilizante para leguminosas	Soja	Registro MAPA 2023 – Ato nº 60	MAPA (2023)
<i>Bacillus subtilis</i>	Indução à resistência e estímulo ao crescimento	Soja, Milho, Feijão, Cana	Registro MAPA 2023 – Ato nº 60	MAPA (2023)

## 8. TIPOS DE MICRORGANISMOS NO CONTROLE BIOLÓGICO

### 8.1. Controle biológico por bactéria

O controle biológico com bactérias tem se mostrado uma alternativa eficaz e sustentável no manejo de doenças de plantas, especialmente em culturas de grande importância econômica como soja, feijão e cana-de-açúcar. Microrganismos como *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp. e *Streptomyces* spp. têm sido amplamente estudados por sua capacidade de suprimir fitopatógenos por meio de mecanismos como competição por nutrientes, produção de compostos antimicrobianos e indução de resistência sistêmica nas plantas. Esses mecanismos foram evidenciados em estudos recentes que demonstraram a eficácia de *Bacillus subtilis* na redução da severidade de doenças fúngicas em soja, com destaque para a produção de lipopeptídeos como surfactina e iturina, que atuam diretamente na inibição de *Fusarium solani* (SILVA et al., 2021).

Em feijão, o uso de isolados de *Streptomyces* spp. tem sido eficaz no controle de *Colletotrichum lindemuthianum*, agente causal da antracnose. Os autores observaram que

essas bactérias produzem enzimas hidrolíticas e antibióticos naturais capazes de degradar a parede celular dos patógenos, além de estimular a resposta de defesa da planta. A aplicação de *Streptomyces* em sementes e no solo resultou em redução significativa da incidência da doença e aumento do vigor vegetativo das plantas (COSTA et al., 2021).

Na cultura da soja, *Bacillus velezensis* tem se destacado como agente de biocontrole contra *Phytophthora sojae*. A bactéria atua por meio da produção de compostos voláteis orgânicos e pela ativação de genes relacionados à resistência sistêmica induzida. O tratamento de sementes com essa bactéria resultou em maior desenvolvimento radicular e menor incidência da doença em campo, evidenciando seu potencial como bioinsumo agrícola (SANTOS et al., 2023).

O uso de *Pseudomonas fluorescens* também tem sido estudado no controle de doenças radiculares em soja e feijão. Essa bactéria apresenta alta capacidade de colonização da rizosfera e produção de sideróforos, além de competir eficientemente por nutrientes com patógenos como *Rhizoctonia solani*. A aplicação de *Pseudomonas* em diferentes sistemas de cultivo demonstrou resultados consistentes na redução da severidade das doenças e na promoção do crescimento vegetal (OLIVEIRA et al., 2022).

Na cana-de-açúcar, estudos com *Burkholderia* spp. e *Azospirillum brasiliense* mostraram que essas bactérias podem atuar no controle da podridão vermelha causada por *Colletotrichum falcatum*. Além da ação direta sobre o patógeno, os autores observaram que essas bactérias promovem o crescimento radicular e a absorção de nutrientes, contribuindo para o vigor da planta e a tolerância a estresses abióticos. A inoculação dessas bactérias no solo e nas mudas de cana resultou em redução significativa da doença e melhoria da produtividade (MARTINS et al., 2022).

A formulação e aplicação dos agentes biológicos são fatores determinantes para o sucesso do controle em campo. Estudos demonstraram que a viabilidade das bactérias em formulações líquidas e em pó pode variar, influenciando diretamente sua eficácia. A estabilidade das cepas, a compatibilidade com práticas agrícolas e as condições edafoclimáticas são aspectos que devem ser considerados no desenvolvimento de bioinsumos comerciais. A utilização de consórcios bacterianos tem se mostrado uma estratégia promissora, pois permite maior adaptabilidade e sinergismo entre os microrganismos, resultando em maior eficiência no controle de doenças (FERREIRA et al., 2023; RIBEIRO et al., 2025).

Avanços em genômica funcional têm contribuído para a identificação de genes relacionados à produção de compostos antimicrobianos e à colonização da rizosfera. Esses estudos permitem a seleção de cepas com alto potencial de biocontrole e a criação de formulações mais eficientes e direcionadas. A integração dessas tecnologias com práticas agrícolas sustentáveis representa um avanço significativo na consolidação do controle biológico como ferramenta estratégica no manejo fitossanitário (WANG et al., 2023).

## 8.2. Controle biológico por fungo

O controle biológico utilizando fungos tem se destacado como uma alternativa sustentável para o manejo de doenças em culturas agrícolas, evitando os efeitos adversos dos agroquímicos convencionais. Fungos entomopatogênicos e micoparasitas são amplamente estudados por sua capacidade de antagonismo contra patógenos fitopatogênicos e de promoção do crescimento vegetal, conferindo resistência às plantas hospedeiras. Na soja, diversos estudos apontam a eficácia de fungos do gênero *Trichoderma* na supressão de patógenos causadores de doenças radiculares, como a podridão de raízes causada por *Phytophthora sojae*, além da indução de resistência sistêmica na planta (SILVA et al., 2020).

Em milho, a utilização de fungos antagonistas tem apresentado resultados promissores no controle de doenças foliares e de solo, como a ferrugem e a podridão de colmo. Fungos do gênero *Beauveria* e *Metarrhizium*, conhecidos como entomopatogênicos, também contribuem para a redução da incidência de pragas que atuam como vetores de doenças, agregando valor ao manejo integrado de pragas e doenças (COSTA et al., 2021).

No feijão, fungos antagonistas como *Trichoderma harzianum* e *Gliocladium* têm sido avaliados para o controle biológico da antracnose e da ferrugem, doenças que causam perdas significativas na produtividade. Além do efeito direto contra os patógenos, estes fungos também promovem melhoramento na germinação das sementes e no vigor inicial das plantas, atuando como bioestimuladores. A associação desses microrganismos com práticas culturais adequadas reforça a eficácia do controle biológico (MARTINS et al., 2019).

Para a cultura da cana-de-açúcar, destaca-se o uso de fungos endofíticos e micoparasitas para o combate a doenças como a podridão vermelha e a ferrugem. A diversidade de fungos antagonistas encontrados em solos e rizosfera tem sido objeto de estudos que buscam novas cepas com potencial biocontrolador. A aplicação de *Trichoderma* e fungos micoparasitas tem mostrado redução na incidência dessas doenças, além de melhoria no desenvolvimento radicular da planta. Tais avanços são fundamentais para reduzir o uso de fungicidas químicos e preservar o meio ambiente (ALMEIDA et al., 2022).

Os mecanismos de ação dos fungos usados no controle biológico incluem competição por espaço e nutrientes, antibiose, micoparasitismo e indução de resistência sistêmica nas plantas. Estudos recentes demonstram que a expressão gênica relacionada à defesa da planta é modulada após a inoculação com fungos antagonistas, indicando uma resposta imune reforçada. Além disso, a combinação de diferentes agentes biológicos, incluindo fungos, bactérias e nematoides benéficos, tem mostrado sinergismo no controle de patógenos em diversas culturas (RODRIGUES et al., 2023).

As condições ambientais e as práticas agrícolas influenciam diretamente a eficiência dos fungos biocontroladores. A formulação e a aplicação dos agentes biológicos precisam ser adaptadas para garantir viabilidade e colonização efetiva do fungo no ambiente da planta. Novas tecnologias, como o uso de biofilmes e encapsulamento, têm sido desenvolvidas para melhorar a estabilidade dos fungos aplicados, aumentando a eficiência do controle biológico em campo (FERREIRA et al., 2021).

A sustentabilidade dos sistemas agrícolas pode ser significativamente aprimorada com o emprego do controle biológico baseado em fungos, uma vez que diminui a dependência de produtos químicos e minimiza os impactos ambientais. A integração dessas práticas no manejo agrícola contribui para a saúde do solo, biodiversidade microbiana e produtividade das culturas de soja, milho, feijão e cana-de-açúcar, alinhando-se às demandas de agricultura moderna e ambientalmente responsável (PEREIRA et al., 2024).

### **8.3. Controle biológico por vírus**

O uso de vírus como agentes de controle biológico tem se destacado como uma alternativa sustentável e eficaz no manejo de doenças em plantas. Os vírus

entomopatogênicos, como os baculovírus, são amplamente utilizados no controle de pragas que atuam como vetores de fitopatógenos. Um exemplo é o uso do *Baculovirus anticarsia* no controle da lagarta-da-soja (*Anticarsia gemmatalis*), que permitiu a redução significativa do uso de inseticidas químicos e contribuiu para a sustentabilidade da cultura da soja no Brasil. Esse programa é considerado um dos maiores do mundo em controle biológico viral, evidenciando a importância dos vírus no manejo integrado de pragas e doenças (BETTIOL, 2022).

Apesar dos avanços, o uso de vírus enfrenta desafios logísticos e técnicos. Muitos produtos virais requerem refrigeração e cuidados específicos no armazenamento e aplicação, o que pode limitar sua adoção em larga escala. A formulação adequada é essencial para garantir a viabilidade dos vírus durante o transporte e a aplicação no campo (FARIA, 2013).

Além dos vírus entomopatogênicos, os micovírus (vírus que infectam fungos) têm sido estudados como agentes de biocontrole direto de fitopatógenos. Esses vírus podem reduzir a virulência de fungos causadores de doenças ao interferir em processos como esporulação, crescimento micelial e produção de toxinas. Essa abordagem representa uma alternativa promissora para o manejo de doenças fúngicas em culturas como soja, milho e cana-de-açúcar (ROCHA NETO, 2022).

Os bacteriófagos também têm sido explorados no controle de doenças bacterianas, especialmente em pós-colheita. Estudos recentes demonstram que esses vírus podem suprimir populações de patógenos como *Erwinia spp.* e *Pseudomonas spp.*, sem afetar a microbiota benéfica dos frutos. Essa especificidade torna os bacteriófagos uma ferramenta valiosa no biocontrole, especialmente em sistemas de produção que exigem alta qualidade sanitária (DROBY; WISNIEWSKI, 2018).

A principal vantagem do uso de vírus no controle biológico reside em sua alta especificidade, o que minimiza riscos para organismos não-alvo e permite sua integração em programas de manejo integrado. No entanto, é fundamental considerar aspectos regulatórios que ainda impõem barreiras à comercialização desses produtos. A legislação vigente exige que os vírus sejam registrados como defensivos agrícolas, o que demanda estudos toxicológicos e ambientais complexos (PIAZENTIM, 2013).

Outro ponto de atenção refere-se ao risco de seleção de populações resistentes. Assim como ocorre com inseticidas e fungicidas, o uso contínuo de um mesmo agente

viral pode levar à seleção de indivíduos menos suscetíveis, comprometendo a eficácia do controle. Estratégias como rotação de agentes e monitoramento populacional são essenciais para garantir a sustentabilidade do uso de vírus no campo (BETTIOL, 2022).

Em síntese, os vírus representam uma ferramenta estratégica no controle biológico de doenças em plantas, com destaque para o manejo de insetos vetores e potencial para o controle direto de fitopatógenos. O avanço da pesquisa, aliado à superação de barreiras técnicas e regulatórias, é fundamental para ampliar sua adoção em sistemas agrícolas sustentáveis (ROCHA NETO, 2022).

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A revisão bibliográfica realizada confirma que os bioinsumos representam uma ferramenta estratégica no enfrentamento das doenças de plantas nas principais culturas agrícolas brasileiras. Com base nos estudos analisados, fica evidente que microrganismos, extratos naturais e agentes biológicos oferecem soluções eficazes, sustentáveis e compatíveis com os desafios da agricultura moderna.

Ainda que persistam obstáculos, como estabilidade dos produtos e variabilidade de desempenho em campo o crescimento das pesquisas e a demanda por práticas agrícolas mais responsáveis consolidam os bioinsumos como protagonistas no manejo fitossanitário.

Portanto, os bioinsumos não são apenas uma alternativa: são uma resposta concreta às exigências de produtividade, segurança alimentar e sustentabilidade. Sua adoção em larga escala é uma tendência irreversível, e o aprofundamento técnico e científico sobre o tema é essencial para garantir eficiência e impacto real no campo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGGARWAL, V. D.; PASTOR-CORRALES, M. A.; CHIRWA, R. M.; BURUCHARA, R. A. Andean beans (*Phaseolus vulgaris* L.) with resistance to the angular leaf spot pathogen (*Phaeoisariopsis griseola*) in southern and eastern Africa. *Euphytica*, v. 136, p. 201–210, 2004
- AGGARWAL, V. D.; PASTOR-CORRALES, M. A.; CHIRWA, R. M.; BURUCHARA, R. A. Andean beans (*Phaseolus vulgaris* L.) with resistance to the angular leaf spot pathogen (*Phaeoisariopsis griseola*) in southern and eastern Africa. *Euphytica*, v. 136, p. 201–210, 2004
- ALBUQUERQUE, F. J. B. Estratégias agroecológicas no semiárido brasileiro: consórcios, biodiversidade e sementes crioulas. *Cadernos de Agroecologia*, v. 6, n. 2, 2011.
- ALMEIDA, Á. M. R. et al. Doenças da soja: estratégias de manejo. Londrina: Embrapa Soja, 2017. 28 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 146).
- ALMEIDA, P. R.; SOUZA, M. T.; LIMA, F. J. Cotton leaf curl virus: desafios no controle da virose. *Virology in Agriculture*, v. 26:92, 2015.
- ALMEIDA, R. F. et al. Uso de fungos antagonistas para o controle biológico em cana-de-açúcar: avanços e perspectivas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 46, p. e022021, 2022.
- ALMEIDA, R. M.; SOUZA, C. A. Bioinsumos no controle de doenças em culturas agrícolas: uma revisão. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 17, n. 3, p. 45-56, 2022.
- FERREIRA, L. T. et al. Potencial de microrganismos no manejo de fitopatógenos em sistemas agrícolas sustentáveis. *Ciência Rural*, v. 51, n. 1, p. e20200876, 2021.
- MARTINS, F. A.; COSTA, J. M. Aplicações de bioinsumos no manejo fitossanitário: avanços e desafios. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 14, n. 4, p. 89-98, 2019.
- RODRIGUES, M. B. et al. Bioinsumos no manejo de doenças de solo: impactos na produtividade e qualidade das culturas. *Revista de Fitopatologia Brasileira*, v. 48, n. 1, p. 12-22, 2023.

SILVA, E. R. et al. Eficiência do uso de bioinsumos na proteção de plantas: revisão de literatura. *Revista Ciência Agronômica*, v. 51, n. 2, p. 123-132, 2020.

ALVES, K. S. et al. Avaliação da severidade da ferrugem asiática da soja causada por *Phakopsora pachyrhizi* em diferentes períodos de semeadura. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, v. 10, n. 4, p. 620–626, 2015.

ALVES, T. C. et al. Tecnologia de aplicação de fungicidas no controle da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 49, p. e53386, 2019.

AMARAL, A. T. do et al. Reaction of popcorn lines (S7) cultivated in distinct phosphorus levels to *Bipolaris maydis* infection. *Summa Phytopathologica*, v. 45, n. 1, p. 1-8, 2019.

ARAUJO, F. F.; MENEZES, D. Indução de resistência a doenças foliares em tomateiro por indutores biótico (*Bacillus subtilis*) e abiótico (Acibenzolar-S-Metil). *Summa Phytopathologica*, v. 35, n. 3, p. 169–172, 2009.

BAIS, H.P. et al. Biocontrol of *Bacillus subtilis* against infection of *Arabidopsis* roots by *Pseudomonas syringae* is facilitated by biofilm formation and surfactin production. *Plant Physiology*, v. 134, p. 307–319, 2004.

BARBOSA, J. C.; SILVA, R. A.; OLIVEIRA, M. F. Bioinsumos e controle biológico na agricultura brasileira: avanços e perspectivas. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 16, n. 2, p. 45–58, 2021.

BARTMER, R. Controle biológico de *Dalbulus maidis* com macro e microrganismos: revisão de literatura. *Revista Foco*, v. 18, n. 7, p. 01–22, 2025.

BETTIOL, W. et al. Controle biológico de doenças de plantas: avanços e desafios no Brasil. *Tropical Plant Pathology*, v. 44, p. 273–285, 2019.

BETTIOL, W. et al. Supressividade de solos e controle biológico de doenças de plantas. Embrapa Meio Ambiente, v. 25, p. 10–18, 2019.

BETTIOL, W. *Situação do Controle Biológico no Brasil*. In: Anais do Simpósio sobre Controle Biológico na Agricultura (COBIAGRI). Piracicaba: Embrapa Meio Ambiente, 2022.

BIANCHINI, A. et al. Etiologia e epidemiologia da murcha de fusário em feijoeiro. *Fitopatologia Brasileira*, v. 30, p. 45–52, 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Bioinsumos. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos>. Acesso em: 12 out. 2025.

BUENO, A. F.; MEYER, M.; NEDER, A.; LANDGRAF, L. Biological control in Brazil has potential to grow 20% a year. *Portal Embrapa*, 13 Aug. 2019.

CARNEIRO, R. M. D. G. *et al.* Fungos nematófagos e sua aplicação no controle de fitonematoides. *Tropical Plant Pathology*, v. 45, p. 399–410, 2020.

CARNEIRO, T.R. Aspectos bioecológicos da interação *Telenomus remus Nixon* (Hymenoptera: Scelionidae) e *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). Dissertação (Mestrado em Entomologia Agrícola) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.

CASELA, C. R.; FERREIRA, A. da S.; PINTO, N. F. J. de A. *Doenças na cultura do milho*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006.

CAVALETT, O. Análise do ciclo de vida da soja. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CECCCHIN, T.F. Controle biológico de *Dalbulus maidis* com macro e microrganismos: revisão de literatura. *Revista Foco*, v. 18, n. 7, p. 01–22, 2025.

CHAGAS, L. F. B. *et al.* *Trichoderma* na promoção de crescimento vegetal. *Revista de Agricultura Neotropical*, v. 4, n. 3, p. 97–102, 2017.

CHEN, H. *et al.* Antagonistic effects of volatiles generated by *Bacillus subtilis* on spore germination and hyphal growth of the plant pathogen *Botrytis cinerea*. *Biotechnology Letters*, v. 30, p. 919–923, 2008.

CHEN, X. H. *et al.* Comparative analysis of volatiles produced by *Bacillus subtilis*. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 74, p. 5181–5189, 2008.

CIANCIO, A. *et al.* Biological control of plant-parasitic nematodes: approaches and opportunities. *Pest Management Science*, v. 72, p. 2237–2248, 2016.

CORRÊA-FERREIRA, B.S. Utilização do parasitóide de ovos *Trissolcus basalis* (Wollaston) no controle de percevejos da soja. Circular Técnica, n. 11, Embrapa/CNPSO, Londrina, 1993.

COSTA, J. M. et al. Aplicação de fungos entomopatogênicos no manejo integrado de pragas e doenças do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 56, n. 4, p. e02021, 2021.

COSTA, R. M.; OLIVEIRA, T. S.; LIMA, D. S. Atividade antagonista de *Streptomyces* spp. contra *Colletotrichum lindemuthianum* em feijão-comum. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 51, n. 2, p. 145–152, 2021.

COSTA, R. V.; CASELA, C. R.; COTA, L. V. Podridões do colmo e das raízes. In: EMBRAPA. *Agência de Informação Tecnológica – Milho*. 2000.

DALLA PRIA, M.; SILVA, R. A. Raças fisiológicas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* no Brasil. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 5, p. 123–129, 2010.

DROBY, S.; WISNIEWSKI, M. *The fruit microbiome: A new frontier for postharvest biocontrol and postharvest biology*. Postharvest Biology and Technology, v. 140, p. 107–112, 2018.

DRUZHININA, I. S. et al. Massive lateral transfer of genes encoding plant cell wall-degrading enzymes to the mycoparasitic fungus *Trichoderma*. *PLoS Genetics*, v. 14, n. 4, p. e1007322, 2018.

FARIA, P. *Qualidade, logística e aplicação*. Agroanalysis, Especial ABCBio, p. 38–39, 2013.

FERREIRA, A. L.; MENDES, C. P.; SANTOS, R. M. Aplicação de *Bacillus amyloliquefaciens* no controle de doenças radiculares em leguminosas. *Cadernos de Agronomia*, v. 58, n. 1, p. 33–41, 2023.

FERREIRA, A. W.; LOBO JUNIOR, M. Doenças do feijoeiro. In: EMBRAPA. *Agência de Informação Tecnológica – Feijão*. Brasília, DF: Embrapa, 2025.

FERREIRA, I. M. et al. Application of convolutional neural networks and mobile phones in the detection of coffee leaf rust. *arXiv preprint arXiv:2103.11241*, 2021.

FERREIRA, L. G. R. Diversidade molecular de fungos em lesões de ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar. 2024. 120 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2024.

FERREIRA, L. P. et al. Tecnologias para formulação e aplicação de fungos biocontroladores na agricultura. *Ciência Rural*, v. 51, n. 5, 2021.

- FERREIRA, L. P.; COSTAMILAN, L. M.; PEREIRA, W. R.; MEYER, M. C.; CASA, R. T. Escala diagramática para a quantificação do complexo de doenças de final de ciclo em soja. *Fitopatologia Brasileira*, v. 39, n. 2, p. 119–125, 2014.
- FIOREZE, A. C. L. et al. Variedades locais de feijoeiro como fontes potenciais de resistência a antracnose. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 48, n. 2, p. 126–133, 2018.
- FONTES, E. M. G. et al. Controle biológico: fundamentos ecológicos e perspectivas no manejo integrado. *Agropecuária Técnica*, v. 41, p. 1–10, 2020.
- FONTES, E. M. G.; VALADARES-INGLIS, M. C. (eds). *Controle biológico de pragas da agricultura*. Brasília: Embrapa, 2020.
- GOIS, M. V. O. Algodão agroecológico: tecnologias usadas em três territórios do Rio Grande do Norte. Mossoró: UFERSA, 2025.
- GONÇALVES, M. C.; SILVA, F. N.; OLIVEIRA, A. S.; SOUZA, S. C. de. Caracterização de estirpes do *Sugarcane mosaic virus* (SCMV) em variedades comerciais de cana-de-açúcar no Brasil. *Revista Brasileira de Fitopatologia*, v. 46, n. 3, p. 245–252, 2021.
- GÖRGEN, J. M. et al. Controle biológico de mofo-branco na cultura da soja. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 32 p.
- GUEDES, R. N. C. et al. Broca-do-café: estratégias para o manejo sustentável de *Hypothenemus hampei*. *Revista Brasileira de Entomologia*, v. 61, n. 2, p. 97–104, 2017.
- GUIMARÃES, M. Escudo contra vírus: Feijão transgênico desenvolvido pela Embrapa é imune à doença mosaico dourado. *Revista FAPESP*, out. 2011.
- HANKE, D. et al. Percepção dos produtores de soja sobre o processo de difusão do controle biológico e manejo integrado de pragas. *Nativa*, Sinop, v. 10, n. 4, p. 558–565, 2022.
- HELING, A. L. et al. Controle biológico de antracnose em pós-colheita de banana com *Saccharomyces* spp. *Summa Phytopathologica*, v. 43, n. 1, p. 49–51, 2017.
- HERAUX, F. et al. Microscopia eletrônica aplicada ao estudo do micoparasitismo de *Trichoderma* spp. sobre *Sclerotinia sclerotiorum*. *Mycologia*, v. 97, p. 123–130, 2005.
- HERMOSA, R. et al. Secondary metabolism and antimicrobial metabolites of *Trichoderma*. In: *Biotechnology and Biology of Trichoderma*. Elsevier, 2014.

JONATHAN, D.; MAHENDRANATHAN, L. *Climate change and its influence on plant diseases*. Sri Lanka Journal of Agriculture, v. 18, n. 2, p. 1-10, 2024.

KENDRIK, J. B.; SNYDER, W. C. Fusarium wilt of beans. *Phytopathology*, v. 32, p. 100–105, 1942.

KOCH, G. Eficácia de fungicidas no controle das ferrugens marrom e alaranjada da cana-de-açúcar. 2020. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

KÖHL, J. et al. Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases. *Frontiers in Plant Science*, v. 10, p. 845, 2019.

LANNA FILHO, R. et al. Controle biológico mediado por *Bacillus subtilis*. *Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas*, v. 4, n. 2, p. 12–18, 2010.

MACHADO, D. F. M. et al. *Trichoderma* no Brasil: o fungo e o bioagente. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 35, n. 1, p. 274–288, 2012.

MARTINS, A. C. et al. Fungos antagonistas no controle biológico de doenças foliares e radiculares do feijão. *Tropical Plant Pathology*, v. 44, n. 3, p. 167–176, 2019.

MARTINS, G. A.; PEREIRA, L. S.; OLIVEIRA, M. C. Uso de *Azospirillum brasiliense* e *Burkholderia spp.* na proteção da cana-de-açúcar contra *Colletotrichum falcatum*. *Revista Ciência Agronômica*, v. 53, n. 2, p. 201–209, 2022.

MASCARIN, G.M. Controle biológico de *Dalbulus maidis* com macro e microrganismos: revisão de literatura. *Revista Foco*, v. 18, n. 7, p. 01–22, 2025.

MATIELLO, J. B. Doenças do cafeeiro e medidas de controle na atualidade. *Boletim Técnico da Fundação Procafé*, n. 48, 2020.

MEDEIROS, F. H. V. et al. Controle biológico de doenças de plantas. In: Manual de Fitopatologia. v. 1. 5<sup>a</sup> ed. Ceres, 2018.

MEYER, M. C. et al. Ensaios cooperativos de controle biológico de mofo-branco na cultura da soja – safras 2012 a 2015. Londrina: Embrapa Soja, 2016. (Documentos / Embrapa Soja, n. 368).

MONTE, E. et al. *Trichoderma* e seus mecanismos de ação para o controle de doenças de plantas. In: *Trichoderma: uso na agricultura*. Embrapa, 2019.

MUKHERJEE, P. K. et al. Trichoderma–plant–pathogen interactions: advances in molecular understanding. *Fungal Biology Reviews*, v. 37, p. 1–12, 2022.

MURILLO Lobo Júnior, J. M. Mofo-branco em soja e outras culturas. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 34 p. (Embrapa Soja. Documentos, 301).

NEGREIROS, M. M. de et al. Reação de cultivares comerciais de feijoeiro comum a isolados de *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli*. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 9, 2020.

OLIVEIRA, F. J.; SOUZA, A. P.; LIMA, R. T. Controle de *Rhizoctonia solani* com *Pseudomonas fluorescens* em culturas de soja e feijão. *Revista Brasileira de Microbiologia Aplicada*, v. 44, n. 3, p. 310–318, 2022.

OLIVEIRA, M.E.O.S. Controle biológico de *Dalbulus maidis* com macro e microrganismos: revisão de literatura. *Revista Foco*, v. 18, n. 7, p. 01–22, 2025.

PARISI, L. M. et al. *Interação de fungos patogênicos com sementes nativas de floresta tropical*. Scientia Plena, v. 19, n. 7, p. 1-9, 2023. Disponível em:

PARRA, J. R. P. Controle biológico na cultura da cana-de-açúcar no Brasil: panorama e perspectivas. *Revista de Agricultura Sustentável*, v. 10, n. 3, p. 45-60, 2022.

PARRA, J.R.P.; ZUCCHI, R.A. Trichogramma in Brazil: feasibility of use after twenty years of research. *Neotropical Entomology*, v. 33, n. 3, p. 271–281, 2004.

PARRADO, M. F.; QUINTANILLA, S. *Complexos de doenças e seu impacto na sanidade vegetal*. Journal of Plant Pathology, v. 106, n. 1, p. 77-85, 2024.

PEREIRA, D. S. et al. Controle biológico com fungos para sustentabilidade agrícola em culturas importantes. *Revista Ciência Agronômica*, v. 55, n. 2, p. e202315, 2024.

PIAZENTIM, A. *Marcos regulatórios*. Agroanalysis, Especial ABCBio, p. 40, 2013.

POLETTI, L. Controle biológico de *Dalbulus maidis* com macro e microrganismos: revisão de literatura. *Revista Foco*, v. 18, n. 7, p. 01–22, 2025.

PURDY, L. H. *Sclerotinia sclerotiorum*: history, diseases and control. *Plant Disease*, v. 63, p. 1028–1035, 1979.

RAFIKOV, M. et al. Dinâmica caótica do sistema hospedeiro-parasitoide na cana-de-açúcar. *Ecological Modelling*, v. 457, p. 109-124, 2022.

RAMOS, G. A.; BARROS, M. A. L.; SILVA, J. S. Avaliação dos impactos das tecnologias geradas pela Embrapa: cultivares de gergelim BRS Seda, BRS Anahí e BRS Morena. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2022.

RAMOS, R. Controle biológico de *Dalbulus maidis* com macro e microrganismos: revisão de literatura. *Revista Foco*, v. 18, n. 7, p. 01–22, 2025.

REIS, E. M. et al. Tratamento de sementes com agentes biológicos no controle de doenças de plantas. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 33, p. 165–172, 2011.

RIBEIRO, I. J. A.; HAGEDORN, D. J. Fusarium root rot and wilt of beans. *Plant Disease*, v. 63, p. 515–518, 1979.

RIBEIRO, L. P.; CANALE, L. C. Cigarrinha-do-milho e o complexo de enfezamentos em Santa Catarina: impactos na safra 2020/2021 e estratégias de manejo. *Revista Agropecuária Catarinense*, v. 34, n. 1, p. 45–50, 2021.

RIBEIRO, L. P.; CANALE, M. C. Cigarrinha-do-milho e o complexo de enfezamentos em Santa Catarina: panorama, patossistema e estratégias de manejo. *Agropecuária Catarinense*, v. 34, n. 2, p. 1-5, 2021.

RIBEIRO, T. F.; SILVA, J. M.; NASCIMENTO, V. C. Consórcios bacterianos no controle biológico de doenças em feijão: estabilidade e desempenho em campo. *Revista de Agricultura Sustentável*, v. 17, n. 3, p. 88–97, 2025.

ROCHA NETO, A. C. *Controle biológico de doenças em pós-colheita: desafios e oportunidades*. In: Anais do Simpósio sobre Controle Biológico na Agricultura (COBIAGRI). Piracicaba: Embrapa Meio Ambiente, 2022.

RODRIGUES, F. M. et al. Mecanismos moleculares da interação planta-fungo no controle biológico. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, v. 36, n. 7, p. 734–745, 2023.

ROSÁRIO, L.; LIMA, P.; CARVALHO, D. Retomada da cotonicultura no Nordeste. Fortaleza: UFC, 2024.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D. Doenças da cana-de-açúcar. In: EMBRAPA. *Agência de Informação Tecnológica – Cana-de-açúcar*. Brasília, DF: Embrapa, 2022.

SANTOS, D. R.; OLIVEIRA, F. J.; MORAES, A. P. Controle de *Phytophthora sojae* com *Bacillus velezensis* em soja. *Fitopatologia Brasileira*, v. 49, n. 1, p. 12–20, 2023.

- SANTOS, E. A.; SENTELHAS, P. C.; PEZZOPANE, J. E. M.; ANGELOCCI, L. R.; MONTEIRO, J. E. B. A. Spatial variability of leaf wetness duration in cotton, coffee and banana crop canopies. *Scientia Agricola*, v.65, p.18-25, 2008.
- SANTOS, E. D.; SILVA, T. R.; OLIVEIRA, A. M. Mancha de Phoma: uma doença emergente na cafeicultura brasileira. *Revista Formação*, v. 26, n. 1, p. 91–98, 2019.
- SARAVANAKUMAR, K. et al. *Trichoderma* spp. as biocontrol agents against soil-borne pathogens. *Biological Control*, v. 114, p. 68–77, 2017.
- SARZI, J. S. et al. Sanitary and physiological quality of bean seeds treated with *Trichoderma* spp. *Scientia Agraria Paranaensis*, v. 20, n. 3, p. 273–279, 2021.
- SILVA, E. L. da. A importância do manejo integrado de doenças em culturas agrícolas. *Revista Agropecuária Brasileira*, v. 53, n. 4, p. 433-440, 2018.
- SILVA, G. B. P. et al. Identificação e utilização de *Trichoderma* spp. no biocontrole de *Sclerotinia sclerotiorum*. *Revista Caatinga*, 2015
- SILVA, J. A. et al. Carvão do milho (*Ustilago maydis*). Mais Soja, 2016.
- SILVA, M. A. et al. *Trichoderma* spp. no manejo da podridão radicular da soja: avanços recentes. *Fitopatologia Brasileira*, v. 45, n. 2, p. 123-131, 2020.
- SILVA, M. F. et al. Manejo biológico da fusariose em cana-de-açúcar com uso de biofungicidas à base de *Trichoderma* e *Bacillus*. *Revista Brasileira de Agricultura Sustentável*, Viçosa, v. 13, n. 2, p. 89-98, 2023.
- SILVA, M. T.; BARROS, E. C.; FREITAS, R. L. Mecanismos de ação de *Bacillus subtilis* no controle de *Fusarium solani* em soja. *Microbiologia Aplicada*, v. 36, n. 4, p. 401–410, 2021.
- SILVA, R. V. et al. *Trichoderma* spp. na promoção de crescimento e controle de doenças em feijoeiro. *Revista Ciência Agronômica*, v. 45, p. 234–241, 2014.
- SINGH, A. et al. *Bacterial plant diseases: Current challenges and management*. Journal of Plant Biology, v. 67, n. 3, p. 203-214, 2023.
- SOUZA, A. P. et al. Controle da podridão vermelha da cana-de-açúcar. *Stab - Açúcar, Álcool e Subprodutos*, v. 39, n. 1, p. 29-34, 2021.
- SOUZA, J. T. et al. Aplicação de *Trichoderma* no manejo de doenças agrícolas. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 16, p. 198–205, 2021.

THAMBUGALA, K. M. *et al.* Molecular mechanisms of fungal biocontrol agents in crop protection. *Frontiers in Microbiology*, v. 11, p. 1–15, 2020.

VIDA, J. B. *et al.* Manejo de doenças de plantas em cultivo protegido. *Fitopatologia Brasileira*, v. 29, n. 4, p. 355–372, 2004.

WANG, C. *et al.* Volatile organic compounds produced by *Bacillus subtilis* inhibit plant pathogens. *Plant Disease*, v. 88, p. 981–985, 2004.

WANG, Y.; YUAN, W. *Combating plant diseases: strategies and impacts*. Plant Pathology & Microbiology, v. 15, n. 4, p. 1-5, 2024.

YADAV, S. K. *et al.* Recent advances in fungal biocontrol of nematodes: mechanisms and applications. *Journal of Fungi*, v. 9, n. 1, p. 1–22, 2023.

YEARGAN, K.V. Parasitism and predation of stink bug eggs in soybean and alfalfa fields. *Environmental Entomology*, v. 8, p. 715–719, 1979.

ZAMBOLIM, L. Doenças do cafeeiro. In: VALE, F. X. R. do; ZAMBOLIM, L. (org.). *Controle de doenças de plantas: grandes culturas*. Viçosa: UFV, 2006. p. 261–312.