

**SENSIBILIDADE DE ISOLADOS DE *Fusarium spp.*
CAUSADORES DA SÍNDROME DA MORTE SÚBITA DA
SOJA À MISTURA FLUXAPIROXADE + PIRACLOSTROBINA**

Debora Janine Silva Gonçalves
Eng. Agrônoma

Debora Janine Silva Gonçalves

**SENSIBILIDADE DE ISOLADOS DE *Fusarium spp.*
CAUSADORES DA SÍNDROME DA MORTE SÚBITA DA
SOJA À MISTURA FLUXAPIROXADE + PIRACLOSTROBINA**

Orientador: Prof. Dr. Milton Luiz da Paz Lima

Dissertação apresentada ao Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas para obtenção do título de MESTRE.

Urutaí – GO

2026

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

D287 Gonçalves, Debora Janine Silva
 Sensibilidade de isolados de *Fusarium* spp. causadores da
 síndrome da morte súbita da soja à mistura
 fluxapiraxade+piraclostrobina / Debora Janine Silva Gonçalves.
 Urutai 2023.

 83 f. il.

 Orientador: Prof. Dr. Milton Luiz da Paz Lima.
 Dissertação (Mestre) - Instituto Federal Goiano, curso de
 0133054 - Mestrado Profissional em Proteção de Plantas -
 Urutai (Campus Urutai).

 I. Título.

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 5/2026 - CCMPP-URT/DPGPI-UR/CMPURT/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO

BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Primeiro dia de abril do ano de dois mil e vinte e seis, às quatorze horas, reuniram-se por videoconferência os componentes da banca examinadora, para procederem à avaliação da defesa de dissertação em nível de mestrado, de autoria de **Debora Janine Silva Gonçalves**, discente do **Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas do Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí**, com trabalho intitulado "**Sensibilidade de isolados de *Fusarium spp.* causadores da morte-súbita-da-soja à mistura fluxapiraxade + piraclostrobina**". A sessão foi aberta pelo presidente da banca examinadora, **Prof. Dr. Milton Luiz da Paz Lima**, que fez a apresentação formal dos membros da banca. A palavra, a seguir, foi concedida ao autor da dissertação para, em 30 minutos, proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu ao examinado, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se à avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas, a dissertação foi **APROVADA**, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM PROTEÇÃO DE PLANTAS**, na área de concentração em **Fitossanidade**, pelo Instituto Federal Goiano 3 Campus Urutaí. A conclusão do curso dar-se-á mediante ao depósito da dissertação definitiva no Repositório Institucional do IF Goiano, com as devidas correções. Assim sendo, a defesa perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60 (sessenta) dias** da sua ocorrência. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de dissertação de mestrado, e para constar, foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada eletronicamente pelos membros da banca examinadora.

Membros da Banca Examinadora:

Nome	Instituição	Situação no Programa
Prof. Dr. Milton Luiz da Paz Lima	IF Goiano	Presidente
Prof ^a . Dr ^a . Melina Korres Raimundi	IF Goiano	Membra interna
Dr ^a Erica Santos do Carmo de Souza	Embrapa Agroenergia	Membra externa

Documento assinado eletronicamente por:

- **Milton Luiz da Paz Lima, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 01/04/2026 14:37:27.
- **Melina Korres Raimundi, PROF ENS BAS TEC TECNOLOGICO - VISITANTE** , em 01/04/2026 14:46:40.
- **Erica Santos do Carmo de Souza, ***.873.661-** - Usuário Externo**, em 01/04/2026 15:28:07.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 01/04/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 806807

Código de Autenticação: 60c678afe3



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Urutaí
Rodovia Geraldo Silva Nascimento, Km 2.5, SN, Zona Rural, URUTAÍ / GO, CEP 75790-000
(64) 3465-1900

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 ressarcimento 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

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Matrícula:

Título do trabalho:

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

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

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.

Documento assinado digitalmente
 **DEBORA JANINE SILVA GONCALVES**
Matrícula: 2023101330540007
Verifique em: <https://sistemas.ifg.edu.br>

Local

/ /

Data

Assinatu



Documento assinado digitalmente

MATRÍCULA: 2023101330540007

Data: 25/05/2023 11:41:25 (UTC)

Verifique em: <https://sistemas.ifg.edu.br>

autorais

Ciente e de acordo:

ASSINATURA DO(A) ORIENTADOR(A)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder força, saúde e serenidade para seguir adiante, mesmo nos momentos mais desafiadores desta caminhada.

Meu agradecimento mais profundo e especial é ao meu orientador, Milton Luiz da Paz Lima, que, com extrema paciência, sensibilidade e dedicação, esteve presente em todas as etapas deste trabalho. Sou imensamente grata por cada orientação, por cada palavra de incentivo, pela disponibilidade constante e pela generosidade em compartilhar seu conhecimento. Seu apoio técnico e humano foi essencial para que esta dissertação se tornasse realidade. Mais do que orientar um trabalho acadêmico, o senhor contribuiu diretamente para meu crescimento profissional e pessoal, tornando esta jornada mais leve, segura e significativa.

À equipe do Laboratório de Microbiologia do IF Goiano e aos estagiários, deixo meu sincero e veemente agradecimento pelo acolhimento, pela prontidão em colaborar e pelo comprometimento com a pesquisa. Reconheço e admiro profundamente o empenho, a dedicação e o profissionalismo de todos, que foram fundamentais para a condução dos experimentos e para a qualidade dos resultados obtidos.

A todos que, de alguma forma, caminharam comigo durante este período — colegas, professores, amigos e familiares — agradeço pelo apoio, pela compreensão e pelas palavras de encorajamento nos momentos de cansaço e incerteza.

Por fim, deixo registrado meu profundo reconhecimento a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste sonho acadêmico.

Meu sincero e eterno obrigada.

RESUMO

A síndrome da morte súbita da soja, causada por espécies do gênero *Fusarium*, representa um dos principais desafios fitossanitários da cultura. Este trabalho teve como objetivo caracterizar isolados de *Fusarium* spp. quanto à sensibilidade à mistura fluxapiraxade + piraclostrobina, avaliando crescimento micelial, AACPCM, TCM e EC₅₀. Foram analisados 44 isolados provenientes do Estado de Goiás. Os resultados evidenciaram elevada variabilidade fenotípica, com predominância de isolados sensíveis, porém com presença de subpopulações moderadamente sensíveis e insensíveis, indicando início de deslocamento de sensibilidade. A AACPCM mostrou-se o parâmetro mais representativo do comportamento global dos isolados. Concluiu-se que a mistura ainda apresenta boa eficácia média, contudo recomenda-se monitoramento contínuo e adoção de estratégias de manejo integrado para preservar sua eficiência.

Palavras-chave: Variabilidade fenotípica. Controle químico. Crescimento micelial. Manejo integrado.

ABSTRACT

Soybean sudden death syndrome, caused by *Fusarium* species, represents one of the major phytosanitary challenges affecting the crop. This study aimed to characterize *Fusarium spp.* isolates regarding their sensitivity to the fluxapyroxad + pyraclostrobin mixture by evaluating mycelial growth, area under the mycelial growth progress curve (AUMGPC), mycelial growth rate (MGR), and EC₅₀. A total of 44 isolates collected from Goiás State, Brazil, were analyzed. The results revealed high phenotypic variability, with a predominance of sensitive isolates, along with the presence of moderately sensitive and insensitive subpopulations, indicating an early shift in sensitivity. AUMGPC was the most representative parameter of overall isolate behavior. Although the fungicide mixture still shows good average efficacy, continuous monitoring and the adoption of integrated management strategies are recommended to preserve its effectiveness over time.

Keywords: Phenotypic variability. Chemical control. Mycelial growth. Integrated management.

SUMÁRIO

RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Hospedeiro	18
2.2 Doenças da soja.....	20
2.3 A Doença – Morte-súbita-da-soja (SDS).....	22
2.3.1 Sintomatologia	22
2.3.2 Etiologia: complexo do agente causal representado <i>Fusarium solani</i> f.sp. <i>glycine</i> ; <i>F. virguliforme</i> ; <i>F. brasiliense</i> ; <i>F. crassistipitatum</i> ; <i>F. tucumaniae</i> e <i>F. cuneirostrum</i>	24
2.3.3 Epidemiologia	27
2.3.4 Manejo da doença	30
2.3.4.1 Manejo químico e efeitos indiretos das pulverizações sobre patógenos habitantes do solo.....	32
2.3.4.2 Potencial dos bioinsumos no manejo de <i>Fusarium</i> spp. e compatibilidade com fungicidas	34
2.4 Sensibilidade a fungicidas – fluxaproxade e piraclostrobina	37
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1 Sensibilidade de isolados de <i>Fusarium</i> spp. a fluxaripoxade+piraclostrobina .	47
4.2 Efeito das dosagens sobre a sensibilidade de isolados de <i>Fusarium</i> spp. a fluxaripoxade+piraclostrobina	56
4.2 Efeito do EC ₅₀ sobre a sensibilidade de de isolados de <i>Fusarium</i> spp. a fluxaripoxade+piraclostrobina	64
5. CONCLUSÕES	75
REFERÊNCIAS	76
ANEXOS	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do impacto da soja.....	19
Figura 2 - Fluxograma sobre a perdas na produção de soja devido a SDS.	22
Figura 3 - Sintomas gerais da síndrome da morte súbita da soja (SDS) causada por <i>Fusarium</i> spp.	24
Figura 4 - Complexo de <i>Fusarium</i> spp. associado à síndrome da morte súbita da soja (SDS): etiologia, características morfológicas e ciclo reduzido da doença.	27
Figura 5 - A complexidade da epidemiologia da SDS.....	30
Figura 6 - Manejo integrado da SDS.....	32
Figura 7 - Fluxograma dos efeitos indiretos dos fungicidas no solo.	34
Figura 8 - Potencial dos bioinsumos no manejo integrado da síndrome da morte súbita da soja (SDS) e sua compatibilidade com fungicidas.	36
Figura 9 - Fungicidas químicos e a SDS.....	39
Figura 10 - Fluxograma da metodologia utilizada na avaliação da sensibilidade de isolados de <i>Fusarium</i> spp. aos fungicidas fluxapirroxade e piraclostrobina.	46
Figura 11 - A. Isolado IF 325 em meio com fluxapirroxade e piraclostrobina em diferentes dosagens 0,1 ppm; 1ppm; 10 ppm e 100 ppm. B. Isolado IF 325 em meio com fluxapirroxade e piraclostrobina em diferentes dosagens: 0,1 ppm; 1 ppm; 10 ppm, e 100 ppm.....	52
Figura 12 - Curvas de progresso e variáveis epidemiológicas dos isolados. A. Curva de progresso dos isolados classificados de acordo com a EC ₅₀ , B. área abaixo da curva de progresso dos isolados classificados de acordo com o EC ₅₀ , C. Taxa de crescimento micelial dos isolados classificados de acordo com o EC ₅₀	55
Figura 13 - Curvas de progresso e variáveis epidemiológicas das dosagens de fluxapirroxade+piraclostrobina. A. Curva de progresso dos isolados classificados de acordo com a EC ₅₀ , B. área abaixo da curva de progresso dos isolados classificados de acordo com o EC ₅₀ , C. Taxa de crescimento micelial dos isolados classificados de acordo com o EC ₅₀	61
Figura 14 - Médias das variáveis dependentes de isolados de <i>Fusarium</i> spp. submetidos a dosagens de fluxapirroxade+piraclostrobina. A. 1 dia após a inoculação (DAI), B. 2 DAI, C. 3 DAI, D. 4 DAI, E. 5 DAI, F. 6 DAI, G. 7 DAI, H. área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM), e I. taxa de crescimento micelial (TCM).	63

Figura 15 - Modelagem polinomial de quarto grau entre variáveis respostas. A. Relacionamento do diâmetro da colônia ao 1 dia após a inoculação e área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM), B. relacionamento do diâmetro da colônia ao sete dia após a inoculação e a AACPCM, C. relacionamento da taxa de crescimento micelial (TCM) com AACPCM. **72**

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Código dos isolados, hospedeiro de origem, identificação do fungo, local de coleta, data de depósito e posição geográfica dos isolados utilizados no estudo. **41**
- Tabela 2** - Médias do diâmetro de colônia (mm) em diferentes dias após a inoculação, área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM) e taxa de crescimento micelial (TCM) de diferentes isolados de *Fusarium* spp. submetidos a dosagens de fluxapiróxade+piraclostrobina. **50**
- Tabela 3** - Médias do diâmetro de colônia (mm) em diferentes dias após a inoculação, área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM) e taxa de crescimento micelial (TCM) de diferentes dosagens de fluxapiróxade+piraclostrobina aplicados para isolados de *Fusarium* spp. **58**
- Tabela 4** - Dosagem de fluxapiróxade+piraclostrobina capaz de inibir o crescimento micelial em 50 % e erros padrão de isolados de *Fusarium* spp. **65**
- Tabela 5** - Número de isolados, nomes das classes de sensibilidade e porcentagem de isoladas em cada amplitude de classe de dosagem de fluxapiróxade + piraclostrobina capaz de inibir o crescimento micelial em 50 %..... **67**

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L. – Fabaceae) é uma das culturas de maior importância socioeconômica do mundo, sendo um dos pilares da agricultura global e particularmente da agricultura brasileira. A expansão da sojicultura no Brasil desde a década de 1970 transformou o país em um dos maiores produtores e exportadores mundiais, fruto de adaptações tecnológicas e de manejo que permitiram a consolidação da cultura em diferentes ambientes edafoclimáticos (PAIVA et al., 2009; FONSECA et al., 2021). Sua utilização abrange tanto a alimentação humana quanto a produção de ração animal, óleo vegetal, biocombustíveis e diversos produtos industriais, conferindo à oleaginosa um papel estratégico nas cadeias produtivas agroalimentares (BEZERRA et al., 2022; SANTOS et al., 2023).

Segundo o 4º levantamento da safra de grãos 2025/26 da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2026), a produção nacional de grãos está projetada em cerca de 330,5 milhões de t, com a soja representando aproximadamente 171,6 milhões de t, consolidando-se como o principal produto agrícola no país. Também estimativas recentes do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2026) apontam para crescimento da produção total de grãos em cerca de 6,5% em relação à safra anterior, impulsionado principalmente pela soja. No contexto regional, o Centro-Oeste, especialmente o estado de MT, permanece como o maior produtor nacional, contribuindo com cerca de 30% da produção total de soja, com médias de produtividade superiores a 3.600 kg ha⁻¹ (CONAB, 2026).

Apesar dos ganhos produtivos, a sojicultura enfrenta numerosos desafios fitossanitários que limitam o potencial produtivo e aumentam os custos de produção. Doenças foliares como a ferrugem-asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) e a mancha-alvo (*Corynespora cassiicola*) são bem documentadas e amplamente estudadas; entretanto, doenças radiculares, como a chamada síndrome-da-morte-súbita da soja (SDS), vêm ganhando relevância crescente nas últimas décadas. A SDS compromete a eficiência da cultura por meio da infecção radicular silenciosa que se manifesta tardiamente na parte aérea, reduzindo a absorção de água e nutrientes, acelerando a senescência e, conseqüentemente, prejudicando a produtividade (GODOY et al., 2016; MURITHI et al., 2021).

A SDS, frequentemente associada ao complexo de *Fusarium* spp., apresenta

uma epidemiologia complexa, com múltiplos agentes e mecanismos de sobrevivência no solo, disseminação por equipamentos agrícolas e interação com fatores ambientais e hospedeiros (ALMEIDA et al., 2024; XU et al., 2022). Espécies como *Fusarium virguliforme*, *F. brasiliense*, *F. crassistipitatum* e *F. tucumaniae* têm sido implicadas no complexo causal desta doença na América do Sul, com variações de virulência e resposta a medidas de manejo (AOKI et al., 2012; MURITHI et al., 2021). A habilidade desses fungos em produzir micotoxinas e sobreviver em estruturas resistentes, como clamidósporos, agrava sua persistência nos sistemas de cultivo (MILANESI, 2013; LIU et al., 2023).

O controle químico, especialmente via fungicidas sistêmicos aplicados no tratamento de sementes ou em pulverizações, tem sido uma ferramenta importante no manejo de patógenos do complexo *Fusarium*. Compostos como fluxapiraxade + piraclostrobina apresentam eficácia inicial no controle de doenças radiculares; contudo, o uso repetido pode favorecer a seleção de isolados menos sensíveis, reduzindo gradativamente a eficiência do controle. Essa perda de sensibilidade está associada principalmente à ausência de rotação de modos de ação e ao uso contínuo dos mesmos princípios ativos, reforçando a importância da avaliação da resposta dos isolados aos fungicidas utilizados em campo (NASCIMENTO et al., 2015; SMITH et al., 2022; BROWN et al., 2023).

A variabilidade morfológica e fisiológica entre isolados de *Fusarium* spp. influencia diretamente sua patogenicidade e resposta aos fungicidas, tornando a caracterização desses isolados fundamental para compreender padrões de sensibilidade e potencial resistência. Diferenças no crescimento micelial, na agressividade e na tolerância a ingredientes ativos têm sido amplamente relatadas, evidenciando a necessidade de avaliações *in vitro* que permitam estimar parâmetros como taxa de crescimento, área abaixo da curva de progresso e valores de EC_{50} . Essas abordagens possibilitam classificar isolados quanto à sensibilidade a fungicidas e fornecem subsídios técnicos importantes para o manejo racional da doença, contribuindo para estratégias mais eficazes e sustentáveis de controle (JONES et al., 2023; GARCIA et al., 2024).

Diante da sua ampla distribuição nas áreas produtoras brasileiras, da complexidade epidemiológica e do impacto econômico estimado de perdas superiores a 40–60% em áreas severamente afetadas pela SDS (MURITHI et al., 2021; PEREIRA et al., 2024), torna-se evidente a necessidade de estudos que caracterizem isolados

de *Fusarium* spp. não apenas morfológicamente, mas também em termos de sua resposta ao manejo químico contemporâneo. Assim, a compreensão integrada da variabilidade dos isolados quanto ao crescimento micelial, tolerância a fungicidas e implicações epidemiológicas é essencial para a formulação de estratégias de manejo mais precisas e para retardar o desenvolvimento de resistência.

Diante deste cenário, objetivo geral desta dissertação de mestrado foi realizar a caracterização de isolados de *Fusarium* spp. causador da morte-súbita da soja quanto à sensibilidade ao fungicida fluxaripoxade+piraclostrobina. E os objetivos específicos foram avaliar a fisiologia do crescimento dos isolados de *Fusarium* spp. agentes causais da SDS; avaliar o progresso temporal do crescimento dos isolados; quantificar a EC_{50} dos isolados e classificar em grupos de reações; calcular a área abaixo da curva de crescimento micelial e a taxa de crescimento para diferentes dosagens do fungicida; avaliar a eficiência de controle dos fungicidas para cada isolado, relacionando com a sensibilidade aos princípios ativos; reconhecer se há variabilidade de sensibilidade dos isolados provenientes de diferentes regiões.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Hospedeiro

A soja (*Glycine max* L., Fabaceae) representa uma das culturas agrícolas mais relevantes no cenário global, destacando-se por seu alto valor nutricional e múltiplas aplicações industriais. Com origem asiática, a espécie foi amplamente domesticada e adaptada às condições edafoclimáticas brasileiras, expandindo-se principalmente a partir da década de 1970. A inserção tecnológica e a pesquisa científica viabilizaram a expansão da fronteira agrícola, possibilitando sua produção em áreas anteriormente marginalizadas. Atualmente, o Brasil figura entre os maiores produtores e exportadores do grão, desempenhando papel central na economia agroexportadora. A soja tornou-se, portanto, um pilar estratégico para o desenvolvimento econômico e alimentar global (SILVA; SEDIYAMA; BORÉM, 2022).

No contexto produtivo, a soja destaca-se por sua elevada produtividade e adaptabilidade. Diversos fatores, como o manejo eficiente, a melhoria genética e os insumos tecnológicos, contribuíram para o aumento da produção e da qualidade do grão. A Embrapa desempenhou papel crucial nesse processo, promovendo programas de melhoramento genético que elevaram o desempenho agrônômico da cultura. Adicionalmente, os sistemas de plantio direto e rotação de culturas foram incorporados para garantir sustentabilidade e controle fitossanitário. Tais práticas reforçam a viabilidade técnica e econômica da cultura em diferentes regiões do país (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2014).

Além da relevância econômica, a soja é fundamental para a segurança alimentar mundial, fornecendo proteínas e lipídios essenciais à dieta humana e animal. Aproximadamente 80 % da produção mundial é destinada à fabricação de farelo proteico para ração animal, o que fortalece a pecuária intensiva e a produção de carne em escala global. Outro percentual significativo é voltado à produção de óleo vegetal, amplamente utilizado na indústria alimentícia. Essa versatilidade torna a cultura um elemento-chave na manutenção do equilíbrio nutricional em diversos países (SEIXAS et al., 2021).

Em relação à fitossanidade, a soja é hospedeira de diversas doenças e pragas, o que requer vigilância contínua e estratégias integradas de controle. Entre as doenças mais impactantes está a ferrugem asiática, causada por *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd, que pode reduzir drasticamente a produtividade. O

monitoramento constante e o uso racional de fungicidas são medidas essenciais para prevenir perdas econômicas significativas. A adoção de cultivares resistentes e o uso de tecnologias de aplicação são aspectos fundamentais no manejo fitossanitário (GODOY et al., 2020).

A pesquisa científica tem desempenhado papel fundamental no enfrentamento dos desafios que ameaçam a sojicultura, como a resistência de patógenos a fungicidas e as mudanças climáticas. Novas estratégias de manejo e o desenvolvimento de bioinsumos estão em constante avaliação e validação por instituições de pesquisa. O fortalecimento dos centros de pesquisa pública e privada é crucial para garantir a resiliência da cultura. O investimento em inovação tecnológica deve estar alinhado a práticas agrícolas sustentáveis (NANUCI, 2019).

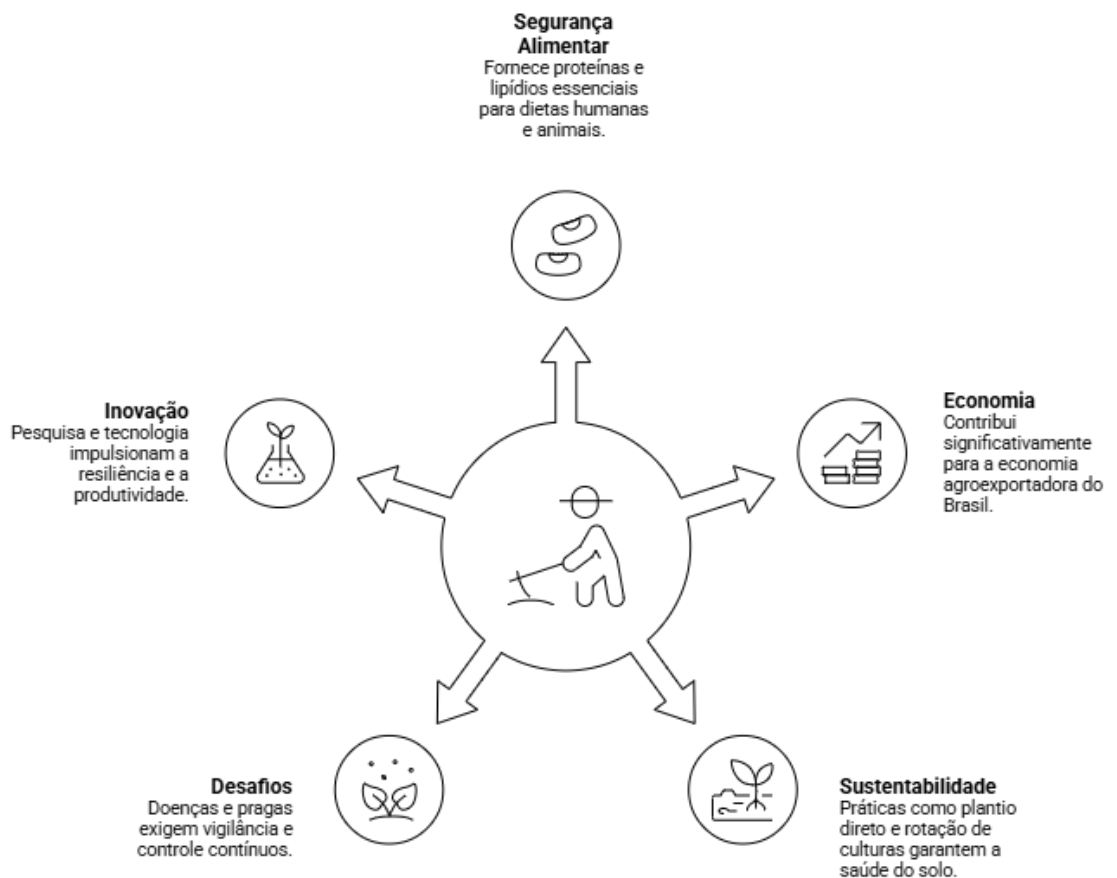


Figura 1 - Fluxograma do impacto da soja.

2.2 Doenças da soja

A síndrome da morte súbita da soja (SMS), conhecida internacionalmente como Sudden Death Syndrome (SDS), é uma importante doença radicular da cultura, causada principalmente por espécies do complexo *Fusarium* spp., com destaque para *Fusarium virguliforme*. O patógeno é habitante natural do solo e infecta o sistema radicular da planta ainda nos estádios iniciais de desenvolvimento. Os sintomas foliares geralmente tornam-se evidentes durante o florescimento e enchimento de grãos, caracterizando-se inicialmente por clorose internerval, seguida de necrose, mantendo-se as nervuras principais verdes. Em casos severos, ocorre desfolha precoce, comprometendo significativamente o enchimento de grãos e a produtividade da cultura (BROWN et al., 2023).

A infecção ocorre predominantemente nas raízes, onde o fungo coloniza os tecidos radiculares e produz toxinas que são translocadas para a parte aérea via xilema. Dessa forma, plantas com sintomas foliares severos podem apresentar sistema radicular aparentemente pouco comprometido. A severidade da doença está diretamente associada às condições ambientais, sendo favorecida por solos compactados, alta umidade e temperaturas amenas durante o desenvolvimento da cultura (XING; WESTPHAL, 2006).

O patógeno sobrevive no solo e em restos culturais, principalmente na forma de clamidósporos, constituindo importante fonte de inóculo para safras subsequentes. Sistemas de monocultivo e ausência de rotação favorecem a manutenção e aumento populacional do fungo no ambiente. Além disso, a associação da SDS com o nematoide de cisto da soja (*Heterodera glycines*) pode intensificar os danos, aumentando a suscetibilidade radicular das plantas infectadas (XING; WESTPHAL, 2006).

As perdas econômicas ocasionadas pela SDS podem ser expressivas, especialmente em cultivares suscetíveis e sob condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento da doença. Em situações severas, os prejuízos podem ultrapassar 50 % da produtividade potencial da lavoura. A dificuldade de diagnóstico precoce e a semelhança dos sintomas com outras doenças foliares tornam o manejo ainda mais desafiador (LEANDRO et al., 2018).

Entre as estratégias de manejo, a utilização de cultivares com resistência parcial constitui uma das principais ferramentas de controle. Entretanto, a resistência

genética disponível é quantitativa e frequentemente insuficiente quando utilizada isoladamente. Dessa forma, recomenda-se a adoção de manejo integrado, associando resistência genética, rotação de culturas, melhoria das condições físicas do solo e tratamento de sementes (KANDEL et al., 2018).

O uso de fungicidas foliares apresenta baixa eficiência no controle da doença, uma vez que a infecção ocorre nas raízes e os sintomas foliares decorrem da ação sistêmica de toxinas produzidas pelo patógeno. Assim, os fungicidas têm sido empregados principalmente via tratamento de sementes, visando reduzir a colonização radicular nas fases iniciais da cultura. Moléculas como fluopyram têm apresentado resultados promissores na redução da severidade da doença e na proteção do sistema radicular (KANDEL et al., 2018).

Práticas culturais como rotação de culturas, manejo adequado da drenagem e redução da compactação do solo também contribuem para a diminuição da incidência da SDS. Solos mal drenados e períodos prolongados de elevada umidade favorecem o desenvolvimento da doença, tornando o manejo conservacionista uma importante ferramenta preventiva (LUO et al., 2000).

Diante da complexidade da interação entre planta, patógeno e ambiente, o manejo integrado continua sendo a estratégia mais eficiente para minimizar os impactos da síndrome da morte súbita da soja. Nesse contexto, estudos relacionados à sensibilidade de isolados de *Fusarium spp.* a fungicidas são fundamentais para subsidiar programas de manejo químico e auxiliar na sustentabilidade do controle da doença (KANDEL et al., 2018; BROWN et al., 2023).

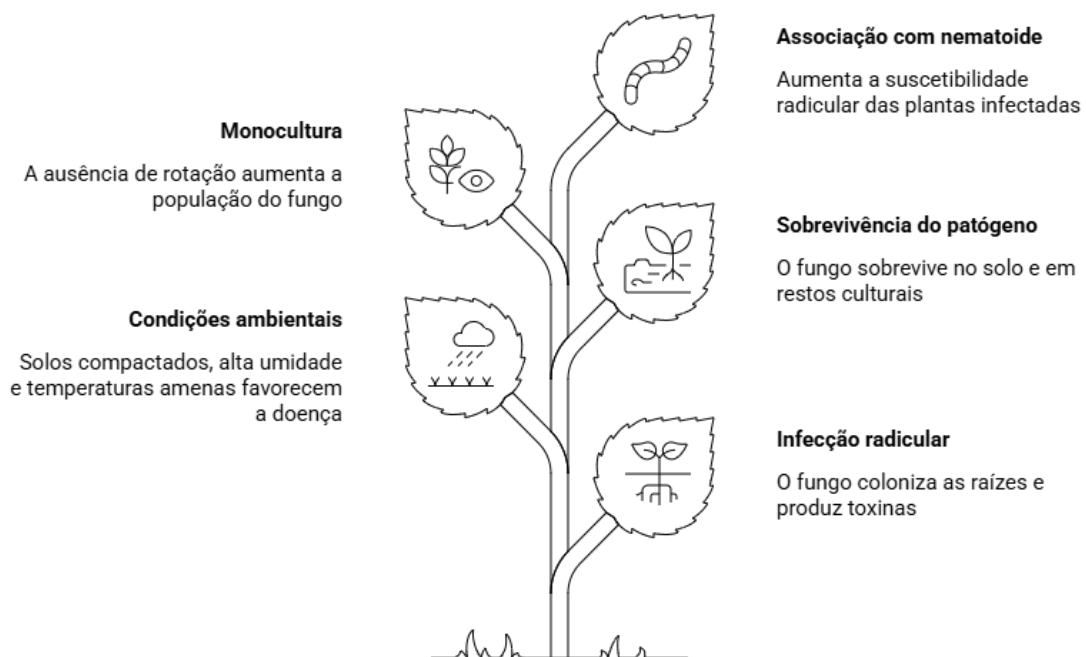


Figura 2 - Fluxograma sobre a perdas na produção de soja devido a SDS.

2.3 A Doença – Morte-súbita-da-soja (SDS)

2.3.1 Sintomatologia

A síndrome da morte súbita da soja (SDS) apresenta sintomatologia característica, manifestando-se principalmente durante os estádios reprodutivos da cultura. Os sintomas foliares iniciam-se com pontuações cloróticas entre as nervuras, evoluindo rapidamente para necrose internerval de coloração castanho-avermelhada. As nervuras principais permanecem verdes, constituindo uma característica importante para o diagnóstico da doença. Em condições severas, ocorre intensa desfolha precoce, comprometendo diretamente o enchimento de grãos e reduzindo a produtividade da cultura (XING; WESTPHAL, 2006).

Os sintomas radiculares geralmente são menos evidentes que os sintomas foliares, porém possuem grande importância diagnóstica. As raízes podem apresentar coloração acastanhada, redução do volume radicular e diminuição da nodulação. A infecção radicular compromete a absorção de água e nutrientes, favorecendo o desenvolvimento dos sintomas na parte aérea. Entretanto, muitas plantas apresentam severa desfolha mesmo sem sintomas radiculares expressivos, característica típica da SDS (MUELLER et al., 2007).

A manifestação dos sintomas está relacionada à produção de toxinas fúngicas pelas espécies de *Fusarium spp.* presentes no sistema radicular. Essas toxinas são transportadas via xilema até a parte aérea, promovendo alterações fisiológicas e necrose dos tecidos foliares. Esse mecanismo explica a ocorrência de sintomas foliares mesmo na ausência de colonização direta das folhas pelo patógeno. A intensidade sintomática varia conforme a agressividade do isolado e a suscetibilidade da cultivar utilizada (DE PAULA et al., 2021).

Os sintomas tornam-se mais evidentes entre os estádios R1 e R3, coincidindo com o florescimento e o início do enchimento de grãos. A rápida progressão da necrose foliar reduz a atividade fotossintética e interfere diretamente no desenvolvimento das vagens e dos grãos. Plantas severamente afetadas podem apresentar porte reduzido, desuniformidade na lavoura e menor número de vagens por planta (LUO et al., 2000).

A severidade da SDS está fortemente associada às condições ambientais. Solos compactados, mal drenados e com elevada umidade favorecem a infecção radicular e a expressão dos sintomas. Além disso, temperaturas moderadas e períodos de estresse hídrico durante o florescimento intensificam a doença. A interação entre ambiente, hospedeiro e patógeno influencia diretamente a intensidade sintomática observada em campo (LEANDRO et al., 2018).

O padrão de distribuição dos sintomas geralmente ocorre em reboleiras, expandindo-se gradativamente ao longo da área cultivada. Essa distribuição está frequentemente relacionada a problemas localizados de drenagem e compactação do solo. A variabilidade sintomática entre plantas da mesma área também pode estar associada às diferenças genéticas entre cultivares e à distribuição irregular do inóculo no solo (MUELLER et al., 2007).

O diagnóstico diferencial é fundamental, pois os sintomas da SDS podem ser confundidos com outras doenças foliares ou estresses abióticos. Doenças como crestamento foliar de cercospora e mancha púrpura também provocam necroses foliares, porém geralmente não apresentam preservação das nervuras principais. Além disso, sintomas semelhantes ao déficit hídrico podem ocorrer em plantas afetadas pela SDS, exigindo inspeção cuidadosa do sistema radicular e histórico da área para correta identificação da doença (SOARES et al., 2021).

A presença de outros fatores bióticos, como o nematoide de cisto da soja (*Heterodera glycines*), pode intensificar os sintomas e aumentar a severidade da

doença. A associação entre diferentes estresses reduz a capacidade fisiológica da planta e favorece o avanço dos sintomas foliares. Dessa forma, o reconhecimento correto da sintomatologia é essencial para o manejo integrado da doença e para a adoção de estratégias eficientes de controle (XING; WESTPHAL, 2006).

O conhecimento detalhado da sintomatologia da SDS é fundamental para avaliações em campo, seleção de áreas experimentais e estudos relacionados ao manejo químico e genético da doença. A correta identificação dos sintomas auxilia no monitoramento da doença e na tomada de decisões técnicas, contribuindo para a redução das perdas produtivas e para o desenvolvimento de estratégias mais eficientes de manejo (SOARES et al., 2021; DE PAULA et al., 2021; XING; WESTPHAL, 2006).

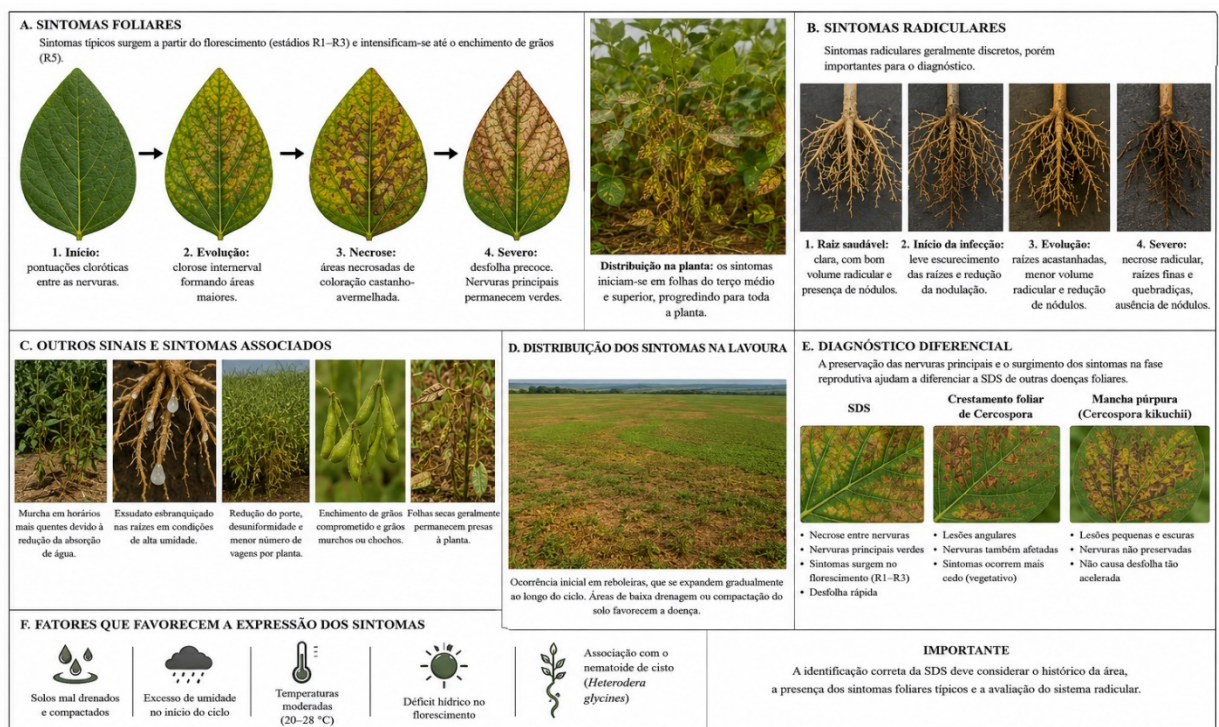


Figura 3 - Sintomas gerais da síndrome da morte súbita da soja (SDS) causada por *Fusarium* spp.

2.3.2 Etiologia: complexo do agente causal representado *Fusarium solani* f.sp. *glycine*; *F. virguliforme*; *F. brasiliense*; *F. crassispitatum*; *F. tucumaniae* e *F. cuneirostrum*.

O agente causal da síndrome da morte súbita da soja, anteriormente denominado *Fusarium solani* f. sp. *glycines* e posteriormente reconhecido como *Fusarium virguliforme*, encontra-se atualmente inserido no complexo *Neocosmospora*

phaseoli, conforme revisões taxonômicas recentes do *Fusarium solani species complex* (AOKI et al., 2003; SANDOVAL-DENIS et al., 2019).

A síndrome da morte súbita da soja (SDS) é causada por um complexo de espécies do gênero *Fusarium*, destacando-se *Fusarium solani* f.sp. *glycines*, *F. virguliforme*, *F. brasiliense*, *F. crassistipitatum*, *F. tucumaniae* e *F. cuneirostrum*. Esses fitopatógenos são habitantes naturais do solo e infectam principalmente o sistema radicular da soja, produzindo toxinas que são translocadas para a parte aérea, resultando nos sintomas característicos da doença (DE PAULA et al., 2021).

Entre as espécies associadas à SDS, *Fusarium solani* f.sp. *glycines* destaca-se pela ampla ocorrência e importância fitopatológica. Em meios de cultura como BDA, SNA e CLA, apresenta crescimento rápido, formando colônias com coloração variando de branca a rosada, frequentemente com aspecto algodão ou felpudo devido à abundante produção de micélio aéreo. O verso das colônias pode apresentar tonalidades amareladas a avermelhadas, enquanto as margens geralmente são regulares (DE PAULA et al., 2021).

Microscopicamente, *F. solani* f.sp. *glycines* apresenta conidióforos simples ou ramificados, hialinos e produtores de conídios em pequenas cadeias ou agrupamentos. Os macroconídios são fusiformes a elípticos, normalmente com três a cinco septos, medindo aproximadamente 27–55 µm de comprimento por 3–5 µm de largura. Os microconídios são menores, ovais a fusiformes e produzidos em conidióforos simples e curtos. Clamidósporos esféricos a ovais também podem ser observados isoladamente, em cadeias ou agregados, atuando como importantes estruturas de sobrevivência no solo (DE PAULA et al., 2021).

A espécie *F. virguliforme* também possui papel relevante na etiologia da SDS. Em cultura, apresenta crescimento moderadamente rápido e coloração variando de branca a azul-esverdeada, frequentemente com textura aveludada ou felpuda. Os macroconídios são fusiformes, retos ou levemente curvados, medindo cerca de 30–50 µm de comprimento. Diferentemente de outras espécies do complexo, os microconídios são raros ou ausentes em *F. virguliforme*, característica importante para sua diferenciação morfológica (DE PAULA et al., 2021).

Outras espécies associadas à SDS, como *F. brasiliense*, *F. crassistipitatum*, *F. tucumaniae* e *F. cuneirostrum*, apresentam características morfológicas semelhantes, exigindo análise detalhada das estruturas microscópicas para correta identificação. Em geral, essas espécies apresentam crescimento rápido em meios de cultura,

colônias com coloração variando entre branca, rosada e salmão, além de abundante produção de micélio aéreo. Os macroconídios normalmente possuem três a cinco septos, enquanto os microconídios variam quanto à presença e abundância entre as espécies (DE PAULA et al., 2021).

Os clamidósporos produzidos pelas espécies do complexo desempenham importante papel epidemiológico, permitindo a sobrevivência do patógeno em restos culturais e no solo por longos períodos. Essas estruturas podem ser encontradas em hifas ou tecidos vegetais mortos, funcionando como fonte primária de inóculo para novas infecções. A infecção ocorre principalmente nas raízes, provocando lesões inicialmente encharcadas que evoluem para necrose radicular (XING; WESTPHAL, 2006).

Na parte aérea, os sintomas típicos incluem clorose internerval seguida de necrose foliar, preservando-se as nervuras principais, padrão conhecido como sintoma “carijó”. Em condições severas, ocorre desfolhamento precoce e redução significativa da produtividade. A severidade dos sintomas varia conforme a agressividade do isolado, suscetibilidade da cultivar e condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento da doença (XING; WESTPHAL, 2006).

A identificação das espécies associadas à SDS baseia-se na integração de características macroscópicas, microscópicas e moleculares. A observação das colônias em meios específicos, associada à análise de conidióforos, macroconídios, microconídios e clamidósporos, constitui importante ferramenta diagnóstica. Entretanto, devido à elevada similaridade morfológica entre espécies do complexo *Fusarium solani*, técnicas moleculares como sequenciamento das regiões ITS e TEF-1 α são frequentemente utilizadas para confirmação taxonômica e diferenciação das espécies envolvidas (DE PAULA et al., 2021).

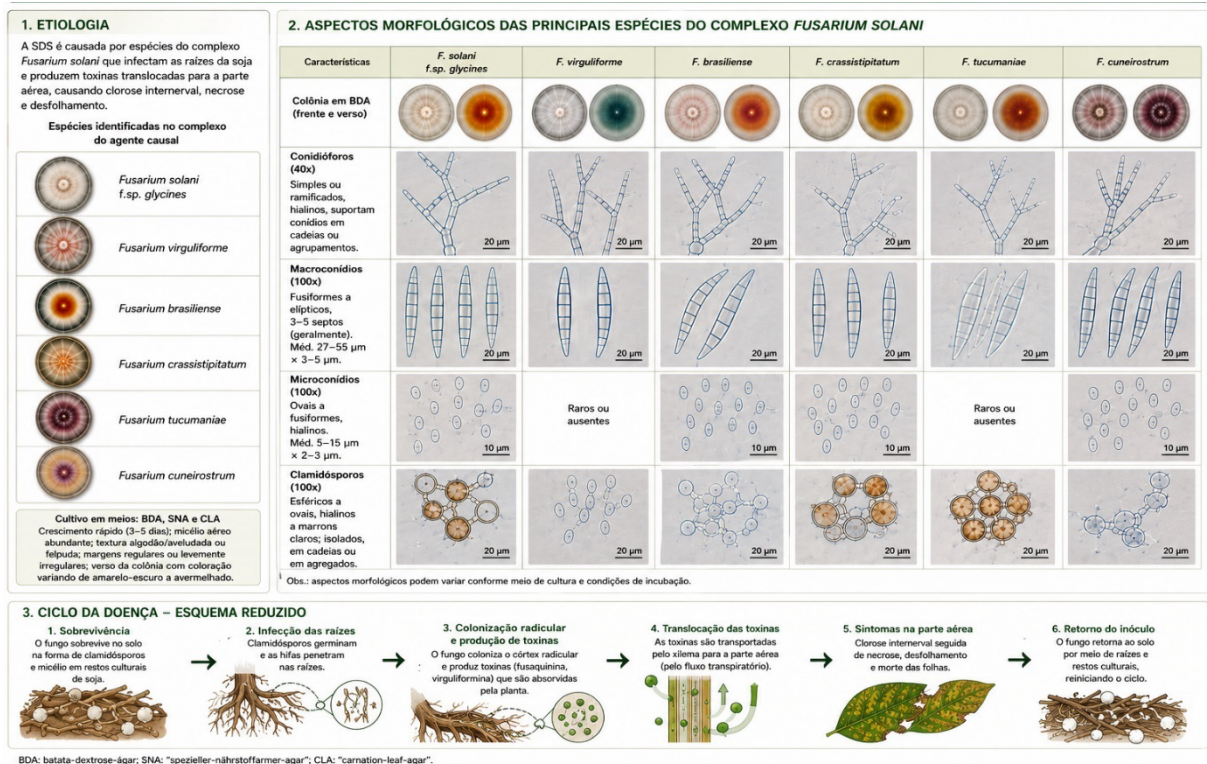


Figura 4 - Complexo de *Fusarium* spp. associado à síndrome da morte súbita da soja (SDS): etiologia, características morfológicas e ciclo reduzido da doença.

2.3.3 Epidemiologia

A síndrome da morte súbita da soja (Sudden Death Syndrome – SDS) foi relatada inicialmente nos Estados Unidos, no estado do Arkansas, durante a década de 1970, sendo posteriormente reconhecida como uma das principais doenças radiculares da cultura da soja em regiões produtoras da América do Norte. Desde então, a doença expandiu-se para diversos países produtores de soja, incluindo Argentina, Brasil, Paraguai e Canadá, tornando-se um importante problema fitossanitário em áreas de clima favorável ao desenvolvimento das espécies do complexo *Fusarium*. A disseminação global da SDS está associada à sobrevivência prolongada dos patógenos no solo, à movimentação de sementes e solo contaminado, além da intensificação dos sistemas de monocultivo da soja. Atualmente, diferentes espécies de *Fusarium* associadas à SDS apresentam distribuição geográfica variável, sendo *Fusarium virguliforme* predominante na América do Norte, enquanto espécies como *F. brasiliense*, *F. tucumaniae* e *F. cuneirostrum* têm maior relevância epidemiológica na América do Sul (AOKI et al., 2003; HARTMAN et al., 2015).

A doença é causada principalmente por espécies do complexo *Fusarium*, com destaque para *Fusarium virguliforme* e *F. solani* f.sp. *glycines*, patógenos habitantes do solo capazes de sobreviver por longos períodos na forma de clamidósporos em restos culturais e na rizosfera (XING; WESTPHAL, 2006).

A infecção ocorre predominantemente nas raízes durante os estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, porém os sintomas foliares normalmente manifestam-se apenas durante o florescimento e enchimento de grãos. Esse intervalo entre infecção e expressão sintomática está relacionado à produção de toxinas fúngicas translocadas para a parte aérea via xilema, resultando em clorose internerval, necrose foliar e desfolhamento precoce (XING; WESTPHAL, 2006).

A sobrevivência e manutenção do inóculo no solo são favorecidas por sistemas de monocultivo, ausência de rotação de culturas e presença de restos culturais infectados. A disseminação local do patógeno pode ocorrer por movimentação de solo aderido a máquinas e implementos agrícolas, água de enxurradas e resíduos vegetais contaminados. Dessa forma, práticas sanitárias e manejo adequado do sistema produtivo são fundamentais para reduzir a disseminação da doença entre áreas agrícolas (BALARDIN et al., 2006).

O desenvolvimento da SDS depende da interação entre patógeno, hospedeiro suscetível e condições ambientais favoráveis. Solos compactados, mal drenados e com elevada umidade favorecem a germinação dos esporos e a colonização radicular. Temperaturas moderadas, entre 20 °C e 28 °C, associadas a períodos de elevada umidade seguidos de estresse hídrico, aumentam significativamente a severidade da doença (LEANDRO et al., 2018).

A presença do nematoide de cisto da soja (*Heterodera glycines*) também está associada ao aumento da severidade da SDS. A coinfeção intensifica os danos no sistema radicular, favorecendo a penetração e colonização do fungo. Áreas com histórico de infestação por nematoides frequentemente apresentam maior incidência e progressão mais rápida dos sintomas foliares, evidenciando a importância do manejo integrado das doenças radiculares (XING; WESTPHAL, 2006).

Os sintomas da doença tornam-se mais evidentes entre os estádios reprodutivos R1 e R3, período em que a planta apresenta elevada demanda metabólica. A intensidade dos sintomas pode variar conforme a suscetibilidade da cultivar, densidade populacional, época de semeadura e condições ambientais

predominantes. Plantios realizados em áreas compactadas ou com drenagem deficiente tendem a apresentar maior severidade da doença (MUELLER et al., 2007).

O sistema de plantio direto pode influenciar a epidemiologia da SDS dependendo da forma como é manejado. A permanência de resíduos culturais infectados na superfície do solo pode favorecer a sobrevivência do patógeno. Entretanto, quando associado à rotação de culturas e melhoria da qualidade física do solo, o sistema contribui para redução da pressão de inóculo e maior equilíbrio microbiológico do ambiente edáfico (BROWN et al., 2023).

A epidemiologia espacial da doença caracteriza-se pela formação de reboleiras na lavoura, geralmente associadas a locais de maior compactação e acúmulo de umidade. A expansão gradual dessas áreas ao longo das safras demonstra a capacidade de persistência do patógeno no solo e sua adaptação às condições ambientais favoráveis. O monitoramento georreferenciado e a avaliação temporal da severidade auxiliam na identificação de áreas críticas e no planejamento do manejo fitossanitário (KANDEL et al., 2018).

As características físicas e biológicas do solo exercem influência direta sobre a incidência da SDS. Solos argilosos e mal drenados favorecem a permanência de umidade e aumentam a atividade do patógeno. Além disso, práticas como escarificação, rotação de culturas, adubação equilibrada e uso de microrganismos benéficos contribuem para redução da pressão epidemiológica da doença (LU et al., 2020).

O manejo epidemiológico da SDS deve integrar estratégias culturais, químicas e genéticas. O uso de cultivares tolerantes, tratamento de sementes com fungicidas, rotação de culturas e melhoria das condições físicas do solo constituem medidas fundamentais para redução da incidência e severidade da doença. Dessa forma, a compreensão da epidemiologia da SDS é essencial para o desenvolvimento de estratégias sustentáveis de manejo e para a manutenção da produtividade da cultura da soja (KANDEL et al., 2018).

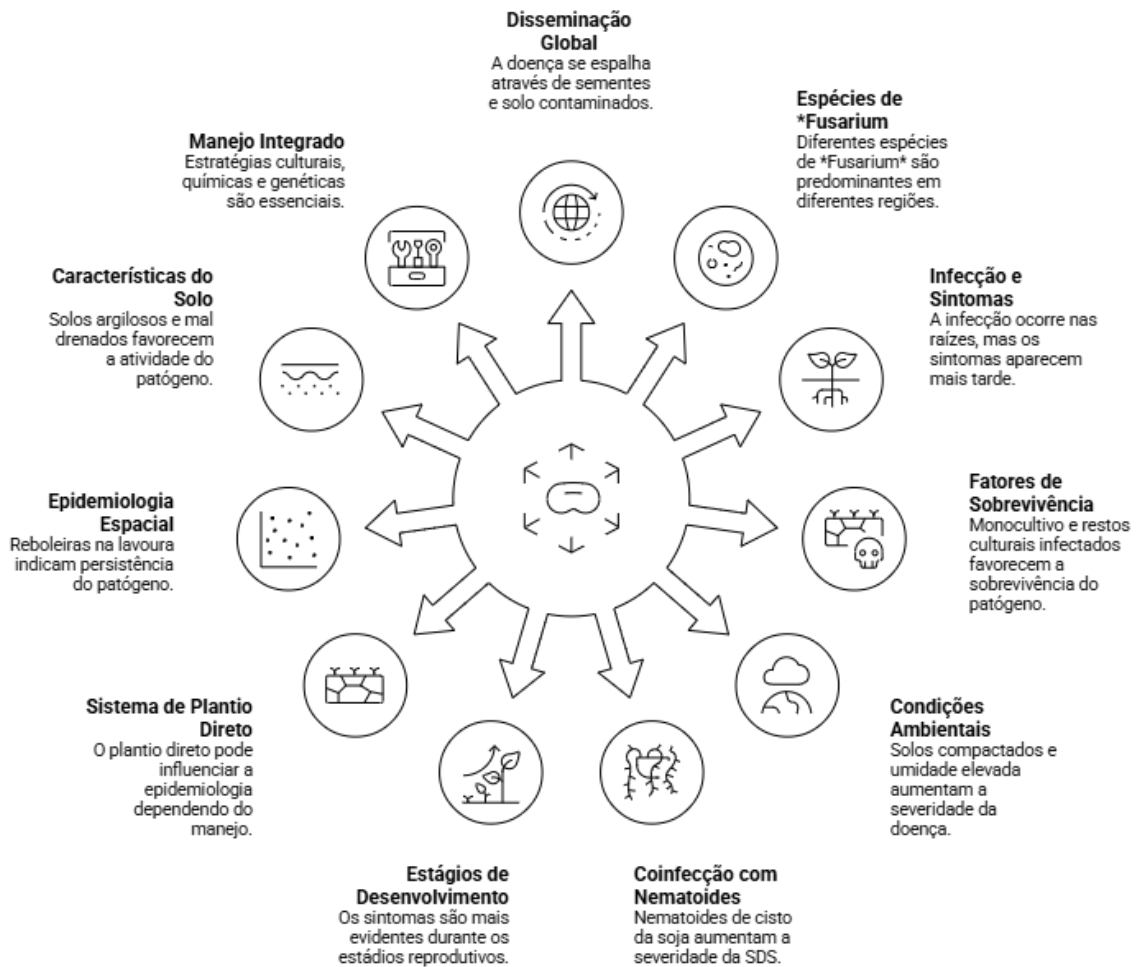


Figura 5 - A complexidade da epidemiologia da SDS.

2.3.4 Manejo da doença

O manejo da síndrome da morte súbita da soja (SDS) deve ser realizado de forma integrada, envolvendo estratégias culturais, genéticas, químicas e biológicas. Entre as medidas mais eficientes destaca-se a utilização de cultivares com resistência parcial, especialmente em áreas com histórico da doença. A resistência genética reduz a intensidade dos sintomas foliares e os danos radiculares, sendo considerada uma das principais ferramentas de manejo da SDS (BROWN et al., 2023).

A adoção de práticas culturais adequadas também exerce importante papel na redução da doença. A rotação de culturas com espécies não hospedeiras, como milho e sorgo, contribui para diminuição da população de *Fusarium spp.* no solo. Além disso, práticas voltadas à melhoria da drenagem, redução da compactação e manutenção da qualidade física do solo reduzem as condições favoráveis à infecção radicular e ao desenvolvimento do patógeno (BROWN et al., 2023).

O tratamento de sementes com fungicidas constitui uma das principais estratégias químicas para o manejo da SDS, pois protege as plântulas durante os estádios iniciais de desenvolvimento, fase crítica para a infecção do sistema radicular. Moléculas pertencentes ao grupo dos inibidores da succinato desidrogenase (SDHI), como o fluxapiraxade, têm apresentado resultados promissores na redução da severidade da doença. Entretanto, o uso repetitivo de fungicidas com o mesmo mecanismo de ação pode favorecer a seleção de isolados menos sensíveis, comprometendo a eficiência do controle químico (GODOY et al., 2020).

As aplicações foliares de fungicidas apresentam eficiência limitada no controle da SDS, uma vez que os sintomas foliares resultam da ação de toxinas produzidas nas raízes e translocadas via xilema. Mesmo assim, fungicidas como as estrobilurinas, incluindo a piraclostrobina, podem promover efeitos fisiológicos na planta e reduzir parcialmente a progressão dos sintomas foliares. Dessa forma, o uso desses produtos deve ser associado a outras estratégias de manejo, evitando pressão de seleção sobre as populações do patógeno (PASCHOLATI; MELO; DALIO, 2015).

A resistência de *Fusarium spp.* aos fungicidas está relacionada principalmente ao uso intensivo de moléculas sítio-específicas, como Qol e SDHI. Mutações em genes-alvo podem reduzir a sensibilidade do patógeno aos ingredientes ativos, tornando fundamental o monitoramento constante da eficiência dos fungicidas. Ensaio de sensibilidade, como a determinação da concentração efetiva média (EC_{50}), auxiliam na avaliação da resposta dos isolados aos diferentes princípios ativos e subsidiam estratégias mais sustentáveis de manejo químico (KANDEL et al., 2018).

O controle biológico também tem sido estudado como alternativa complementar no manejo da SDS. Microrganismos antagonistas, como espécies de *Bacillus spp.* e *Trichoderma spp.*, podem reduzir a colonização radicular e estimular mecanismos de defesa da planta. A integração entre controle biológico, químico e cultural contribui para redução da pressão de seleção e para maior sustentabilidade do sistema produtivo (LU et al., 2020).

Dessa forma, o manejo eficiente da SDS depende da integração de diferentes estratégias, incluindo uso de cultivares tolerantes, rotação de culturas, manejo adequado do solo e utilização racional de fungicidas. A adoção de práticas integradas reduz a severidade da doença, minimiza perdas produtivas e contribui para preservação da eficiência dos fungicidas disponíveis (BROWN et al., 2023).

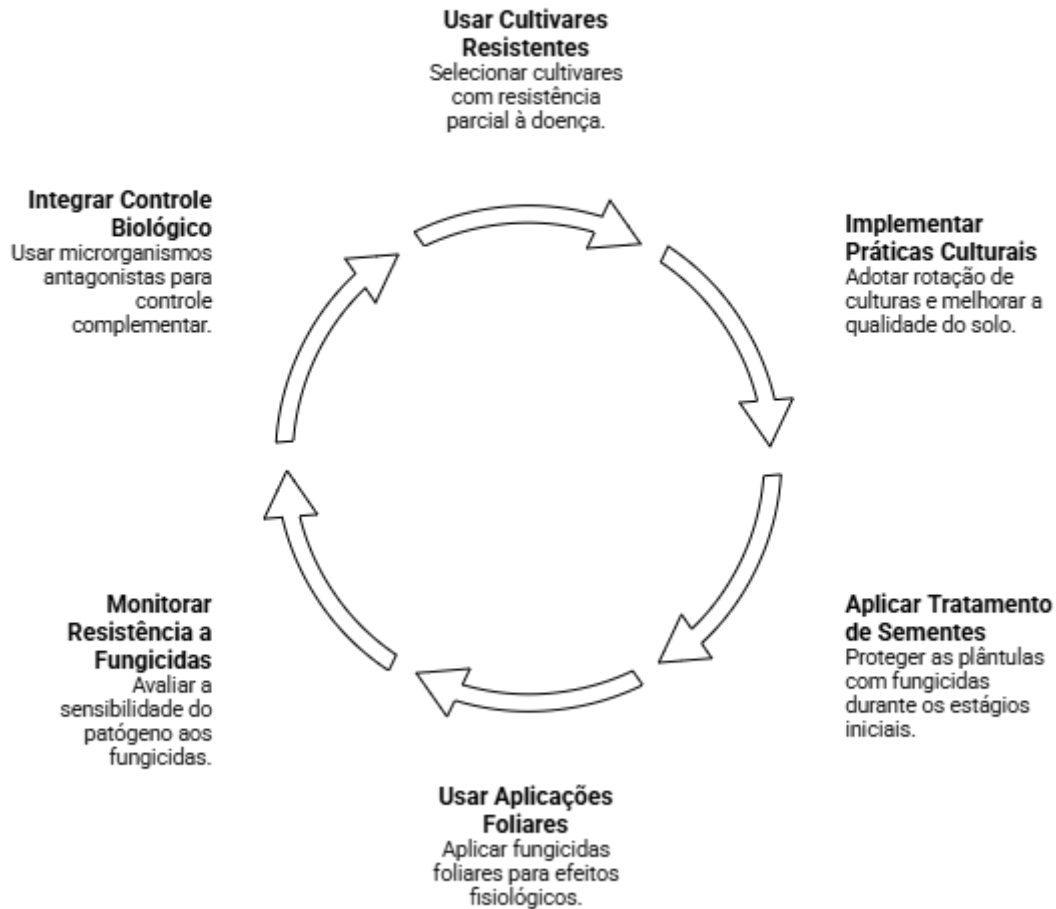


Figura 6 - Manejo integrado da SDS.

2.3.4.1 Manejo químico e efeitos indiretos das pulverizações sobre patógenos habitantes do solo

O manejo químico constitui uma das principais estratégias utilizadas no controle de doenças da soja, especialmente em sistemas de produção intensivos, nos quais fungicidas são frequentemente aplicados via tratamento de sementes ou pulverizações foliares. Embora muitas aplicações sejam direcionadas principalmente ao controle de doenças da parte aérea, parte da calda fungicida pode atingir o solo por deriva, escorrimento foliar ou deposição direta, principalmente em pulverizações aéreas. Esse fenômeno promove exposição indireta de microrganismos habitantes da rizosfera, incluindo espécies de *Fusarium* spp., a concentrações subletais de fungicidas, podendo influenciar sua dinâmica populacional, fisiologia e sensibilidade ao longo do tempo (FRAC, 2024a; CUNHA; RUAS; SILVA JÚNIOR, 2020).

Entre os fungicidas amplamente utilizados no tratamento de sementes da soja destacam-se metalaxil-M, fludioxonil e difenoconazol, moléculas pertencentes a diferentes grupos químicos e mecanismos de ação. O metalaxil-M atua principalmente

sobre o metabolismo de ácidos nucleicos de oomicetos, enquanto o fludioxonil interfere na regulação osmótica celular e o difenoconazol inibe a biossíntese de ergosterol na membrana fúngica. Apesar de serem utilizados visando o controle inicial de patógenos associados às sementes e ao solo, resíduos dessas moléculas podem permanecer no ambiente edáfico e entrar em contato com populações saprofitas de *Fusarium* spp., promovendo pressão seletiva indireta sobre esses fungos (REIS; CASA; MEDEIROS, 2010; FRAC, 2024a).

Fungos habitantes do solo apresentam elevada plasticidade metabólica e capacidade de adaptação a condições ambientais adversas. Em condição saprofítica, *Fusarium* spp. pode sobreviver em restos culturais e matéria orgânica, sendo continuamente exposto a resíduos de fungicidas provenientes de sucessivas aplicações agrícolas. Essa exposição indireta pode favorecer alterações fisiológicas relacionadas à detoxificação celular, transporte ativo de compostos tóxicos e ajustes no metabolismo respiratório, contribuindo para o surgimento gradual de isolados menos sensíveis. Estudos recentes demonstram que fungicidas aplicados repetidamente podem alterar a composição microbiológica do solo e influenciar a estrutura populacional de fungos fitopatogênicos, mesmo quando não direcionados especificamente ao alvo presente na rizosfera (SANG et al., 2018; ZHANG et al., 2024).

O fludioxonil tem demonstrado elevada eficiência no tratamento de sementes devido à sua ação de contato e capacidade de reduzir a germinação de esporos e o crescimento micelial de fungos associados ao solo. Entretanto, trabalhos indicam que exposições contínuas a fungicidas com ação sítio-específica ou multissítio parcial podem favorecer adaptações fisiológicas em populações de *Fusarium* spp., especialmente em ambientes agrícolas submetidos a uso intensivo de defensivos. O difenoconazol, pertencente ao grupo dos triazóis (DMI), também exerce forte pressão seletiva sobre fungos filamentosos, podendo selecionar indivíduos com alterações na biossíntese de ergosterol ou aumento da atividade de bombas de efluxo celular (FRAC, 2024b; DE ROSSI et al., 2015).

No contexto, a deposição indireta de fungicidas sobre o solo torna-se particularmente relevante devido à ampla cobertura operacional e ao potencial de deriva associado às pulverizações aéreas. Mesmo em aplicações tecnicamente adequadas, pequenas frações da calda podem atingir o ambiente edáfico, promovendo contato frequente entre fungicidas e microrganismos não alvo. Esse

cenário reforça a importância de estratégias integradas de manejo, incluindo rotação de mecanismos de ação, uso racional de fungicidas, monitoramento da sensibilidade populacional e integração com bioinsumos e agentes biológicos, visando reduzir a pressão seletiva e preservar a eficiência das moléculas disponíveis para o manejo fitossanitário da soja (BETTIOL; MORANDI, 2009; FRAC, 2024a).

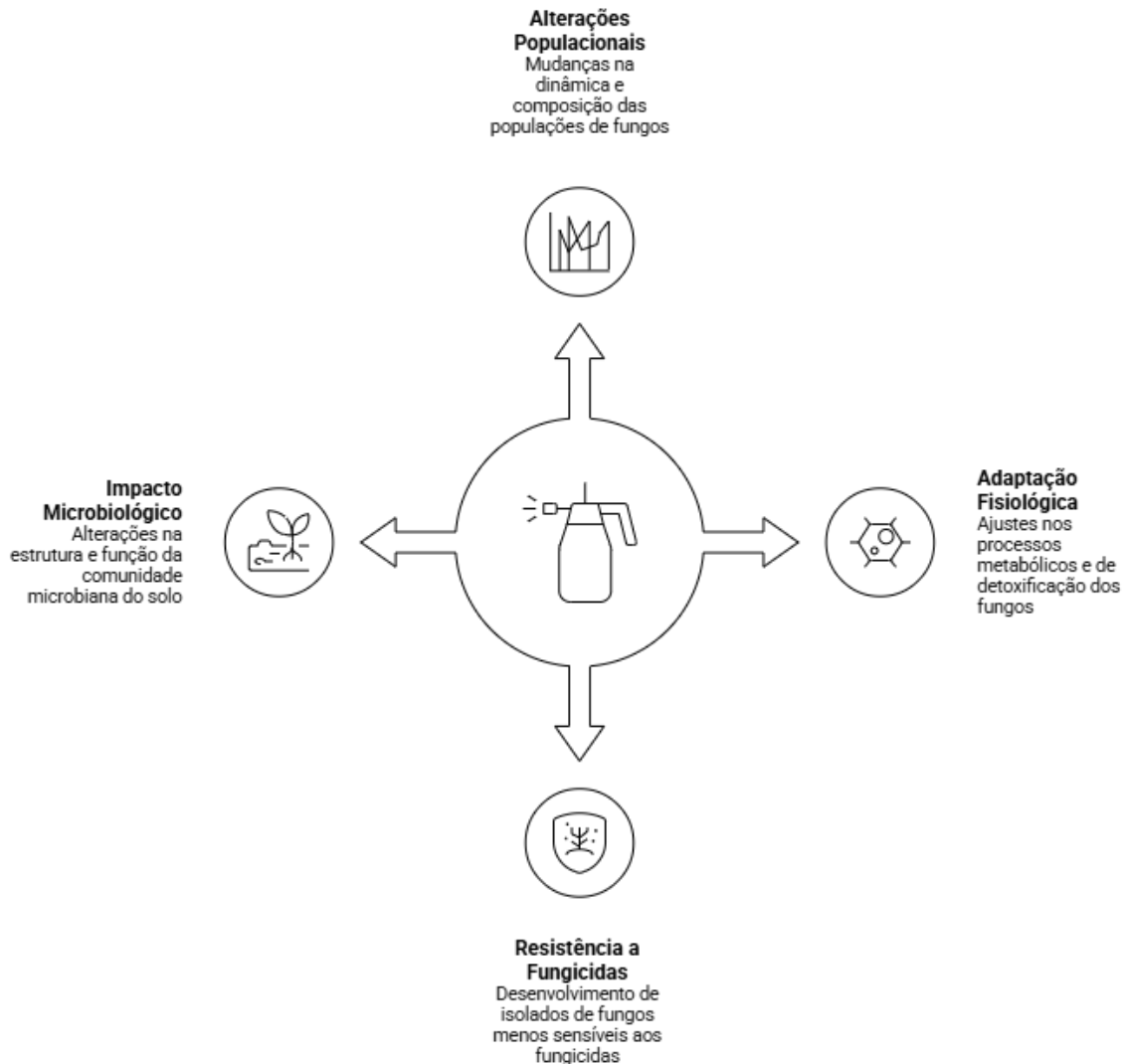


Figura 7- Fluxograma dos efeitos indiretos dos fungicidas no solo.

2.3.4.2 Potencial dos bioinsumos no manejo de *Fusarium spp.* e compatibilidade com fungicidas

O uso de bioinsumos tem ganhado destaque no manejo fitossanitário da soja devido ao seu potencial de reduzir a severidade de doenças radiculares e diminuir a dependência de fungicidas químicos. No contexto da síndrome da morte súbita da soja (SDS), causada por espécies do complexo *Fusarium spp.*, microrganismos antagonistas têm sido estudados como alternativa complementar no controle do

patógeno. Entre os principais agentes biológicos utilizados destacam-se espécies de *Trichoderma spp.* e *Bacillus spp.*, capazes de atuar por mecanismos como antibiose, competição por nutrientes e espaço, além da indução de resistência sistêmica na planta hospedeira (LU et al., 2020).

Espécies de *Trichoderma spp.* apresentam elevada capacidade de colonização da rizosfera e produção de metabólitos antifúngicos, reduzindo o crescimento micelial e a sobrevivência de *Fusarium spp.* no solo. Além disso, esses fungos podem estimular o desenvolvimento radicular e aumentar a eficiência fisiológica das plantas sob condições de estresse biótico. Estudos demonstram que aplicações via tratamento de sementes ou diretamente no solo contribuem para redução da severidade da SDS e favorecem o estabelecimento inicial da cultura da soja (HARMAN et al., 2004).

Bactérias do gênero *Bacillus*, especialmente *Bacillus subtilis* e *Bacillus amyloliquefaciens*, também apresentam potencial no manejo da SDS. Esses microrganismos produzem compostos antimicrobianos, enzimas hidrolíticas e metabólitos secundários capazes de inibir a germinação de esporos e o crescimento de *Fusarium spp.*. Além da ação direta sobre o patógeno, essas bactérias promovem crescimento vegetal e ativação de mecanismos de defesa da planta, contribuindo para maior tolerância às infecções radiculares (KÖHL; KOLNAAR; RAVENSBERG, 2019).

A utilização de bioinsumos associada aos fungicidas convencionais tem sido considerada uma estratégia promissora no manejo integrado da SDS. A combinação entre controle biológico e químico pode reduzir a pressão de seleção sobre os patógenos, contribuindo para preservação da eficiência dos fungicidas disponíveis. Fungicidas como fluxapiraxade e piraclostrobina, utilizados no tratamento de sementes, podem apresentar compatibilidade com determinados agentes biológicos, desde que sejam respeitadas condições adequadas de formulação, dose e momento de aplicação (LU et al., 2020).

Entretanto, a compatibilidade entre bioinsumos e fungicidas deve ser cuidadosamente avaliada, pois alguns ingredientes ativos podem reduzir a viabilidade e o desenvolvimento dos microrganismos benéficos. Ensaios laboratoriais e testes de compatibilidade *in vitro* são fundamentais para determinar os efeitos dos fungicidas sobre o crescimento, esporulação e sobrevivência dos agentes biológicos. Dessa forma, a seleção de combinações compatíveis é essencial para garantir eficiência

agronômica e estabilidade biológica do tratamento integrado (BETTIOL; MORANDI, 2009).

Outro aspecto importante refere-se ao potencial dos bioinsumos em reduzir o risco de seleção de isolados resistentes aos fungicidas. A integração de mecanismos distintos de controle diminui a dependência exclusiva de moléculas químicas sítio-específicas, como SDHI e QoI, contribuindo para redução da pressão seletiva sobre as populações de *Fusarium spp.*. Além disso, estratégias integradas favorecem a sustentabilidade do sistema produtivo e alinham-se às demandas atuais por práticas agrícolas de menor impacto ambiental (FRAC, 2023).

Apesar dos avanços no uso de bioinsumos, sua eficiência pode variar conforme as condições ambientais, características do solo e interação entre os microrganismos e o hospedeiro. Assim, o manejo integrado da SDS deve considerar a associação racional entre controle biológico, químico, genético e cultural. O desenvolvimento de tecnologias que permitam maior estabilidade e compatibilidade entre bioinsumos e fungicidas representa uma importante perspectiva para o manejo sustentável das doenças radiculares da soja (KÖHL; KOLNAAR; RAVENSBERG, 2019).

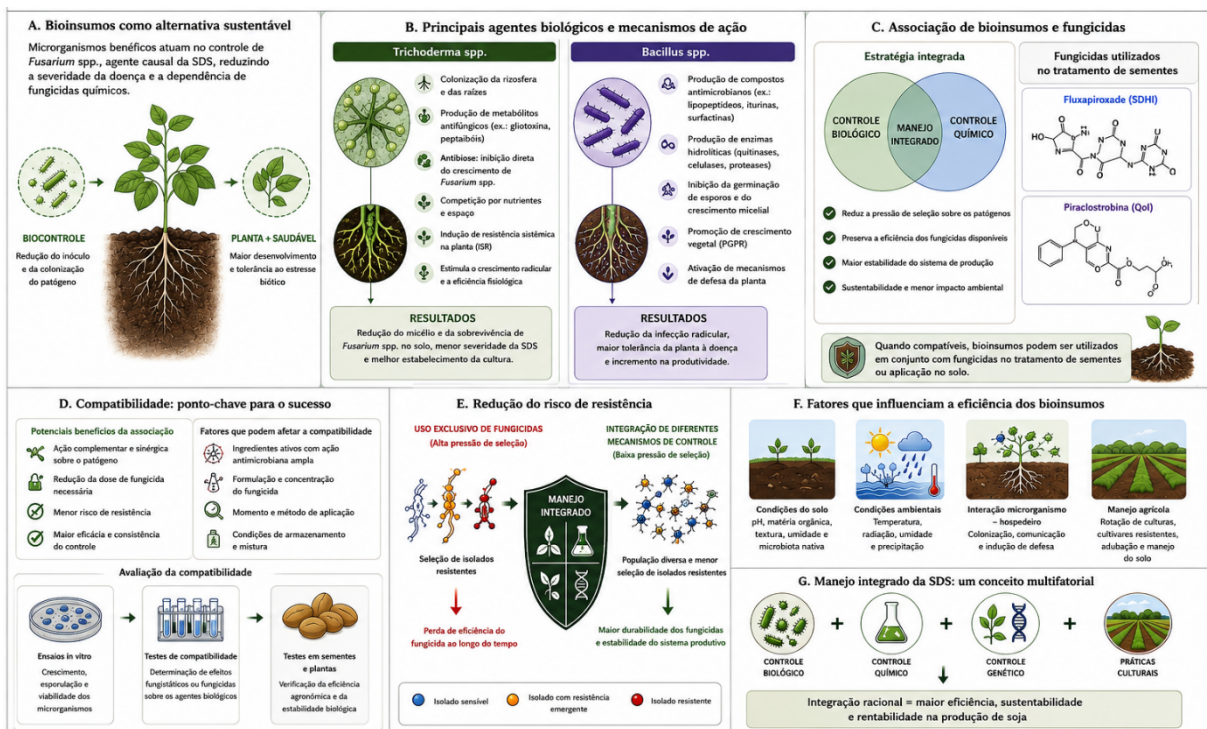


Figura 8 - Potencial dos bioinsumos no manejo integrado da síndrome da morte súbita da soja (SDS) e sua compatibilidade com fungicidas.

2.4 Sensibilidade a fungicidas – fluxapirroxade e piraclostrobina

A sensibilidade de espécies de *Fusarium spp.* aos fungicidas é um fator fundamental para o manejo químico da síndrome da morte súbita da soja (SDS). Entre os principais ingredientes ativos utilizados destacam-se o fluxapirroxade e a piraclostrobina, moléculas pertencentes aos grupos dos inibidores da succinato desidrogenase (SDHI) e das estrobilurinas (QoI), respectivamente. O fluxapirroxade atua na inibição da enzima succinato desidrogenase, comprometendo a respiração mitocondrial do fungo, enquanto a piraclostrobina bloqueia a transferência de elétrons no complexo citocromo bc1, interferindo diretamente na produção de energia celular do patógeno (SILVA, 2017).

O fluxapirroxade tem apresentado elevada eficiência no controle de patógenos radiculares, especialmente quando utilizado no tratamento de sementes. Sua ação sistêmica permite proteção prolongada durante os estádios iniciais da cultura, reduzindo a colonização radicular por *Fusarium spp.* e retardando a manifestação dos sintomas foliares da SDS. Estudos demonstram que o tratamento de sementes com moléculas do grupo SDHI reduz significativamente a severidade da doença e melhora o estabelecimento inicial das plantas em áreas com alta pressão de inóculo (KANDEL et al., 2018).

A piraclostrobina, pertencente ao grupo das QoI, apresenta ação predominantemente preventiva e maior eficiência no manejo de doenças foliares. Entretanto, quando associada ao fluxapirroxade, pode proporcionar efeito complementar no controle da SDS. A combinação entre SDHI e QoI amplia o espectro de ação dos fungicidas e auxilia no manejo antirresistência, reduzindo a pressão seletiva sobre populações do patógeno (GODOY et al., 2023).

A eficácia desses fungicidas está diretamente relacionada à sensibilidade dos isolados de *Fusarium spp.*, que pode variar entre regiões e populações. Estudos envolvendo testes de concentração efetiva média (EC_{50}) demonstram diferenças significativas na resposta dos isolados aos ingredientes ativos, indicando variabilidade genética entre populações do patógeno. Essa heterogeneidade reforça a importância do monitoramento contínuo da sensibilidade fúngica para manutenção da eficiência dos fungicidas utilizados no manejo da SDS (SILVA, 2017).

O uso repetitivo de fungicidas com o mesmo mecanismo de ação favorece a seleção de isolados menos sensíveis. No caso dos SDHIs, mutações em genes

relacionados à enzima succinato desidrogenase podem reduzir a afinidade do fungicida ao sítio de ação, comprometendo sua eficiência. Situação semelhante pode ocorrer com fungicidas Qol, como a piraclostrobina, embora relatos de resistência em *Fusarium spp.* ainda sejam limitados. Dessa forma, a alternância de mecanismos de ação e a integração de diferentes estratégias de manejo são fundamentais para reduzir o risco de resistência (GODOY et al., 2020).

A aplicação correta dos fungicidas também influencia diretamente os resultados obtidos em campo. O fluxapiroxade é preferencialmente utilizado via tratamento de sementes, permitindo maior disponibilidade do ingrediente ativo na região radicular, principal local de infecção do patógeno. Já a piraclostrobina pode ser utilizada tanto em tratamento de sementes quanto em aplicações foliares, embora sua eficiência seja limitada quando utilizada isoladamente para SDS, devido à natureza radicular da doença (REIS; REIS; ZANATTA, 2018).

Além do controle químico, a integração de fungicidas com estratégias culturais e biológicas contribui para redução da pressão de seleção sobre o patógeno. O uso de cultivares tolerantes, rotação de culturas e aplicação de microrganismos antagonistas, como *Trichoderma spp.* e *Bacillus spp.*, auxilia na redução da severidade da doença e favorece a sustentabilidade do manejo fitossanitário (LU et al., 2020).

Estudos realizados em condições de campo demonstram que a associação entre fluxapiroxade e piraclostrobina pode proporcionar redução significativa da severidade da SDS e aumento da produtividade da soja. Entretanto, a manutenção da eficiência dessas moléculas depende do monitoramento contínuo da sensibilidade dos isolados, do uso racional dos fungicidas e da adoção de estratégias integradas de manejo. Dessa forma, avaliações de sensibilidade in vitro tornam-se ferramentas essenciais para subsidiar programas de manejo antirresistência e preservar a eficiência dos fungicidas disponíveis (GODOY et al., 2023).

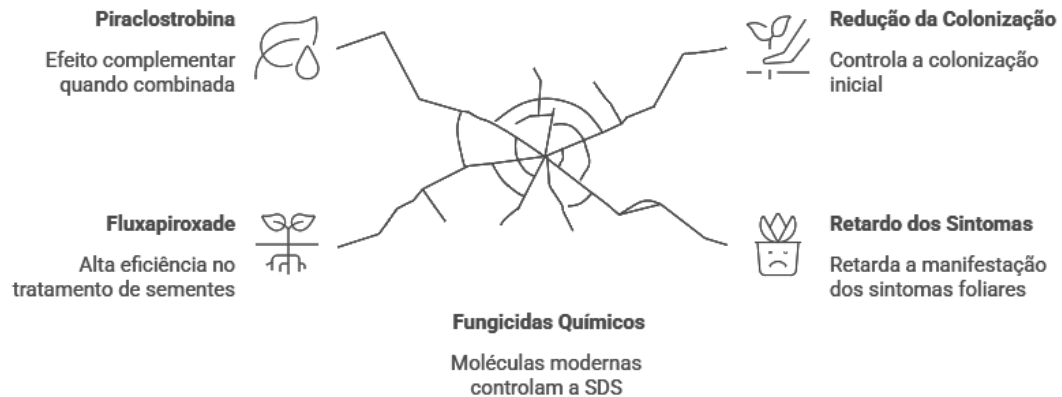


Figura 9 - Fungicidas químicos e a SDS.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado a partir de 44 isolados do agente causal da SDS da soja (Tabela 1), que foram obtidos a partir de hastes e colo de soja de diferentes regiões do Estado de Goiás. Cada isolado foi identificado a nível de gênero com um código (IF) para manutenção e armazenamento na coleção micológica de referência do IFGoiano campus Urutá.

O isolamento, a partir do tecido doente de plantas de soja foi realizado a partir de tecidos internos que foram coletados após descarte de tecidos superficiais. Com o auxílio de um bisturi flambado retirou-se fragmentos do colo e raiz, que foram submetidos a assepsia superficial com álcool [50 %] pelo tempo de 1', seguido de hipoclorito de sódio (HClO [3 %]), pelo tempo de 1' e tríplice lavagem em água destilada.

Os fragmentos foram depositados em papel mata-borrão, esterilizado para secagem em câmara de fluxo laminar. Em meio de cultivo ágar-água (AA), cinco fragmentos de tecidos foram depositados, vedados, identificados e permaneceram para incubação sob 25 °C a fotoperíodo de 12 horas por cinco dias. Com o crescimento micelial, selecionou-se as culturas típicas (aspectos morfológicos e microscópicos) e semelhantes a *Fusarium* sp.

Com auxílio de uma agulha estéril e fina, coletou-se propágulos da superfície do meio AA e transferiu-se para o centro de uma placa contendo meio batata-dextrose-

ágar (BDA), produzindo assim uma cultura axênica. Todos os isolados repicados permaneceram sob crescimento a 25 °C por um período de 7-10 dias. Esses foram

A partir de uma coleção de matrizes de *Fusarium* spp., agentes causais da morte-súbita-da-soja delineou-se um experimento *in vitro* inteiramente casualizado sendo o fator 1 – representado por tipos de isolados, e o fator 2 representado pelas concentrações de fluxapiroxade+piraclostrobina (Orkestra), sendo repetidos três vezes, totalizando 660 unidades experimentais (44*5*3). O fungicida foi diluído nas concentrações de 0.1, 1, 10 e 100 $\mu\text{L mL}^{-1}$ (ppm), além do controle negativo (sem difusão no meio de fungicida).

Inicialmente preparou-se soluções estoques de cada dosagem de fungicida. Cada dose líquida foi depositada em Erlenmeyers de 250 mL (solução estoque) que apresentaram concentrações maiores e calculadas para que a transferência de três mL (3000 μL) na solução final corresponda as dosagens citadas acima.

Tabela 1 - Código dos isolados, hospedeiro de origem, identificação do fungo, local de coleta, data de depósito e posição geográfica dos isolados utilizados no estudo.

Ord	Código dos isolados	Hospedeiro de Origem	Nome do fungo	Local de coleta	Data de depósito	Posição Geográfica
1	IF 004	Cana-de-açúcar [IF4]	<i>Fusarium</i> sp.	Luziânia (GO)	22/05/2024	ND
2	IF 048	Soja Tiguera (C1A2) [IF48] Morango cv. San Andres	<i>Fusarium</i> sp.	Vianópolis (GO)	23/05/2022	ND
3	IF 068	[IF68]	<i>Fusarium</i> sp.	Cristalina (GO)	23/05/2022	ND
4	IF 086	Cana [IF 86]	<i>Fusarium</i> sp.	Luziânia (GO)	07/06/2022	ND
5	IF 107	Tomate (28) [IF 107]	<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i>	São Paulo (SP)	08/06/2022	ND
6	IF 234	Chapadinha fruto [IF 234]	<i>Fusarium</i> sp.	Urutaí (GO)	23/09/2022	ND
7	IF 265	Tiguera Soja C8A4 [IF 265]	<i>Fusarium</i> sp.	Vianópolis (GO)	28/09/2022	ND
8	IF 277	Soja Tiguera (1)	<i>Fusarium</i> sp.	Urutaí (GO)	13/10/2023	ND
9	IF 278	Soja Tiguera (2)	<i>Fusarium</i> sp.	Urutaí (GO)	13/10/2023	ND
10	IF 279	Soja Tiguera (3)	<i>Fusarium</i> sp.	Urutaí (GO)	13/10/2023	ND
11	IF 280	Teta de vaca	<i>Fusarium</i> sp.	Urutaí (GO)	13/10/2023	ND
12	IF 282	Soja Tiguera C5A3	<i>Fusarium</i> sp.	Catalão (GO)	13/10/2023	ND
13	IF 283	Soja Tiguera C6A5	<i>Fusarium</i> sp.	Silvânia (GO)	13/10/2023	ND
14	IF 284	Mamão	<i>Fusarium</i> sp.	Urutaí (GO)	13/10/2023	ND
15	IF 285	Soja Tiguera Orizona	<i>Fusarium</i> sp.	Orizona (GO)	13/10/2023	ND
16	IF 286	Solo	<i>Fusarium</i> sp.	Urutaí (GO)	13/10/2023	ND
17	IF 287	Milho espiga	<i>Fusarium fujikuroi</i>	Urutaí (GO)	13/10/2023	ND
18	IF 288	Girassol BRSG 84 (semente)	<i>Fusarium</i> sp.	Urutaí (GO)	13/10/2023	ND
19	IF 289a	Soja Tiguera ST 3.4	<i>Fusarium</i> sp.	Luziânia (GO)	22/05/2024	ND

20	IF 289b	Soja Tiguera ST 3.4	<i>Fusarium</i> sp.	Luziânia (GO)	22/05/2024	ND
21	IF 290	Soja Tiguera ST 2.1	<i>Fusarium</i> sp.	Luziânia (GO)	13/10/2023	ND
22	IF 291	Soja Tiguera ST 3.8	<i>Fusarium</i> sp.	Luziânia (GO)	13/10/2023	ND 16o47'53"S
23	IF 294	Soja Tiguera ST 3.1	<i>Fusarium</i> sp.	Luziânia (GO)	13/10/2023	48o26'11"
24	IF 296	Desconhecido	<i>Fusarium</i> sp.	Urutaí (GO)	13/10/2023	ND 17o23'10"S
25	IF 313	Sorgo folha Adriana	<i>Fusarium graminearum</i>	Urutaí, GO	01/03/2024	48o48'12" O
26	IF 314	Soja Am 2.1	<i>Fusarium</i> sp.	Piracanjuba, GO	01/03/2024	ND
27	IF 315	Milho	<i>Phomopsis</i> sp.	Urutaí, GO	01/03/2024	ND 16o42'30" S
28	IF 316	Soja Am 6 CV. 2	<i>Trichoderma</i> sp.	Silvânia, GO	01/03/2024	48o37'20" O
29	IF 318	IFC 03 [IF 211]	<i>Fusarium</i> sp.	Passo Fundo (RS)	01/03/2024	16o45'25"S 48o31'31" O
30	IF 319	Soja Am 6.5	<i>Fusarium</i> sp.	Silvânia, GO	01/03/2024	ND
31	IF 321	Soja Am 1.4	<i>Fusarium</i> sp.	Piracanjuba, GO	13/10/2023	ND
32	IF 322	Soja Am 3.4	<i>Fusarium</i> sp.	São Miguel do Passa Quatro, GO	22/05/2024	17o6'36" S 48o39'57" O
33	IF 323	Soja	<i>Fusarium</i> sp.	Urutaí, GO	22/05/2024	ND 17o34'11"S
34	IF 324	Soja	<i>Fusarium</i> sp.	Urutaí, GO		48o43'26" O 16o42'30" S
35	IF 325	Soja Ipameri	<i>Fusarium</i> sp.	Ipameri, GO	16/09/2022	48o37'20" O
36	IF 326	Soja Am 6 cv.2 AS 3790 i2X	<i>Fusarium</i> sp.	Silvânia, GO	01/03/2024	ND 16o42'30" S
37	IF 328	Soja am 9.5	<i>Fusarium</i> sp.	Vianópolis, GO	01/03/2024	48o37'20" O
38	IF 330	Soja am 8.2	<i>Fusarium</i> sp.	Vianópolis, GO		ND

39	IF 331	Soja Am 10.5	<i>Fusarium</i> sp.	Orizona, GO	22/05/2024	17o6'10"S 48o19'36" O
40	IF 332	Soja am 4.4	<i>Fusarium</i> sp.	São Miguel do Passa Quatro, GO	22/05/2024	16o58'2" S 48o36'4" O
41	IF 414	Soja Am 6.1 (cv1) AS 3595 i2X (2024)	<i>Fusarium</i> sp.	Silvânia, GO	06/05/2024	16o42'30" S 48o37'20" O
42	IF 415	Soja Am 6.4 (CV2) AS 3790 i2X	<i>Fusarium</i> sp.	Silvânia, GO	22/05/2024	16o42'30" S 48o37'20" O
43	IF 428	Soja Am 2.5 (2024)	<i>Phomopsis</i> sp.	Piracanjuba, GO	06/05/2024	17o23'10"S 48o48'12" O
44	IF 432	Soja	<i>Fusarium</i> sp.	Urutaí, GO	15/05/2024	ND

*ND: Não definido.

O cálculo da solução estoque foi realizado pela expressão $C_1.V_1 = C_2.V_2$ (concentração*volume inicial = concentração final*volume final). Estabeleceu-se que seria depositado no meio de cultura BDA de volume final de 500 mL e adicionado três mL de solução estoque de cada dosagem. Cada meio de cultura BDA resultou em 22-25 placas contendo a diluição para o experimento.

Para 0,1 ppm a expressão foi de $C_1*3 = 0,1 * 500$ que resultaria em $C_1 = 16,67$ ppm (na solução estoque). A solução estoque apresentou um volume final de 250 mL que apresentou 16,67 ppm. Pelo conceito de ppm, 10⁶ mL possui 16,67 mL do i.a. (fluxapiraxade+piraclostrobina), para os 250 mL da solução estoque final deverá apresentar por regra de três o valor de 0,0041 mL, que é o equivalente a 4,1 µL (quantidade adicionada do fungicida nos 250 mL de água).

O fungicida Orquestra SC apresentou a mistura de 16,7 % de fluxapiraxade e 33,3 % de piraclostrobina, totalizando 50% dos i.a. Sabe-se que 4,1 µL possui 50% do i.a., em 100 % do volume final da solução estoque deverá ser adicionado para a concentração compor a solução estoque de 0,1 ppm a quantidade de 8,2 µL em 250 mL da solução.

Continuando, para a concentração de 1, 10 e 100 ppm, foi adicionado a água destilada e esterilizada a quantidade do produto comercial de 82 µL, 820 µL e 8200 µL, respectivamente. As soluções estoques foram congeladas a -20 °C, e com a diluição no meio de cultivo foi descongelada a temperatura ambiente. No meio de cultura batata-dextrose-ágar (BDA) contendo as diluições de fungicidas foram plaqueados em placas de Petri estéreis na quantidade de 20 mL.

A partir de culturas matrizes monospóricas de isolados de *Fusarium* spp. (Tab. 1) foi recortado discos de micélio de nove mm de diâmetro das matrizes (5-10 dias de incubação) e transferidos para o centro de três placas de Petri dos tratamentos. As placas foram devidamente vedadas com filmes plásticos de PVC, identificadas e incubadas em câmara de crescimento a condição de 25 °C sob 12 horas de fotoperíodo.

As avaliações foram realizadas com mensuração do diâmetro da colônia (mm) com régua, com intervalos de 24 em 24 horas, durante sete dias. Assim foi obtido informações aos um, dois, três, quatro, cinco, seis e sete dias após a inoculação (DAI) em diferentes isolados (fator 1) e concentrações dos fungicidas (fator 2).

A partir da integralização das medidas do diâmetro de colônia nos DAI, a variável independente X foi representada pelos números em DAI e Y o diâmetro da colônia (subtraído do diâmetro do disco de micélio, 9 mm) para calcular-se a área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM). Foi obtida através da integralização a curva de progresso para cada dosagem e/ou isolado (diâmetro da colônia x DAI) (SHANNER e FINNEY, 1977).

Os valores de severidade de cada parcela foram utilizados para o cálculo da área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM) utilizando a fórmula (1) (SHANER; FINNEY, 1977).

$$\text{AACPCM} = \frac{\sum n(x_i + x_{i+1})}{2} \times t_{i+1} - t_i \quad (1)$$

Onde:

n é o número de avaliações;

x é a diâmetro da colônia; e

$t_{i+1} - t_i$ é o intervalo entre duas avaliações consecutivas.

Os valores de diâmetro da colônia (mm) foram também submetidos ao cálculo para determinação do percentual de controle utilizando a fórmula (2) proposta por Abbott (1925).

$$\text{PC}\% = \frac{(T-F)}{T} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

T representa o percentual de doença na testemunha; e

F o percentual de doença no tratamento com fungicida e/ou indutor de resistência.

A taxa de crescimento micelial (TCM) foi calculada através da regressão linear sendo os DAI (valor de X) e Y os valores de diâmetro de colônia, respectivamente, sendo o parâmetro de coeficiente angular obtido no Excel®, (procedimento = inclinação(x;y) correspondente a taxa de crescimento dada em % de crescimento micelial (mm) dia⁻¹.

A dosagem letal capaz de inibir o crescimento micelial a 50 % (EC₅₀) foi calculada a partir da regressão linear do logaritmo (base 10) das dosagens da mistura do Orkestra com as porcentagens de inibição, permitindo a obtenção da

equação do modelo representada por $y = a + bx$, obtendo-se assim os coeficientes a e b . Para cada repetição foi calculada a EC substituindo o valor de y por 50 chegando a um valor de dosagem capaz de inibir o crescimento micelial único e exclusivo para cada isolado.

Utilizou-se a amplitude de $0-28,55 \mu\text{L mL}^{-1}$ e dividiu-se por 5 classes resultando na classe sensível ($0-5,7 \mu\text{L mL}^{-1}$), moderadamente sensível ($5,8-11,4 \mu\text{L mL}^{-1}$), intermediário ($11,5-17,0 \mu\text{L mL}^{-1}$), moderadamente insensível ($17,1-22,6 \mu\text{L mL}^{-1}$) e insensível ($22,7-28,55 \mu\text{L mL}^{-1}$).

A AACPCM e TCM dos isolados e das diferentes dosagens, a % de inibição do crescimento micelial aos 0,1, 1, 10, 100 ppm foram submetidos ao teste de comparação de médias Skott-Knott, e teste não paramétrico seguido de teste de comparação de médias Tukey, ambos a $P \sim 0,05$. Será realizada análise de componentes principais (CP), correlações canônicas (CN) e agrupamento utilizando medida de similaridade de Malahanobis, a fim de verificar relacionamentos dos fatores considerados utilizando o programa livre "R".

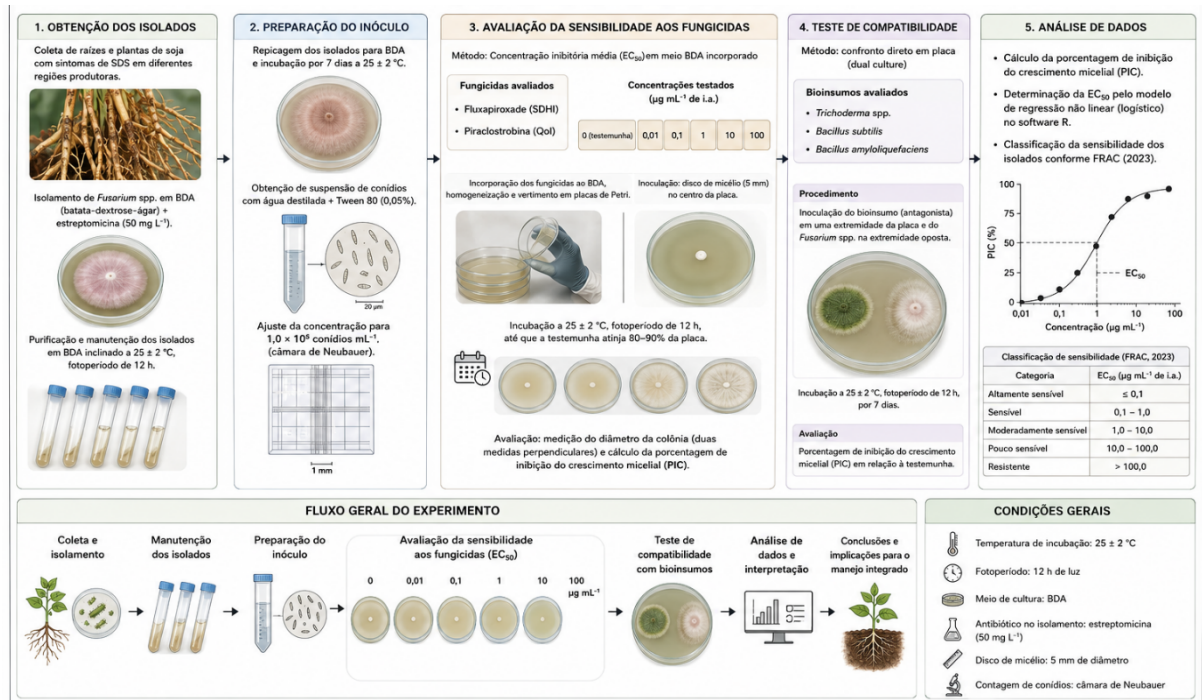


Figura 10 - Fluxograma da metodologia utilizada na avaliação da sensibilidade de isolados de *Fusarium* spp. aos fungicidas fluxapiraxade e piraclostrobina.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados revelam variações significativas entre os isolados quanto à sensibilidade ao composto químico, apontando para a complexidade na gestão fitossanitária da soja.

4.1 Sensibilidade de isolados de *Fusarium* spp. a fluxaripoxade+piraclostrobina

A Tabela 2 apresenta o crescimento micelial de 44 isolados de *Fusarium* spp. na presença da mistura fluxapiroxade (SDHI) + piraclostrobina (QoI), mensurado por diâmetro de colônia ao longo de sete dias, além dos parâmetros integradores AACPCM (área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial) e TCM (taxa de crescimento micelial). Em conjunto, os dados evidenciam heterogeneidade fenotípica marcada entre isolados quanto ao crescimento sob o fungicida, o que é consistente com a variabilidade de sensibilidade reportada para populações de patógenos e com o princípio de que fungicidas sítio-específicos (como SDHI e QoI) podem exercer forte pressão seletiva quando usados repetidamente (FRAC, 2024; FRAC, 2025).

As diferenças entre isolados foram precoces e se mantiveram ao longo do período. Já no 1º dia, observou-se amplitude de resposta entre crescimento nulo e crescimento elevado, sugerindo que parte dos isolados manteve capacidade de colonização mesmo sob exposição ao fungicida. Esse padrão se intensificou nos dias subsequentes, indicando trajetórias de crescimento distintas, o que é típico em ensaios in vitro quando existe diversidade real de sensibilidade na população (Bl et al., 2022).

No 7º dia, a separação entre isolados tornou-se particularmente informativa para comparação, pois reflete o desempenho final sob exposição contínua. Os maiores diâmetros foram observados em IF 414 (64,43 mm) e IF 325 (64,09 mm), seguidos por isolados como IF 048 (59,33 mm), IF 323 (57,79 mm) e IF 289b (57,53 mm). Esses isolados mantiveram crescimento elevado durante o período, caracterizando baixa supressão pelo tratamento e, portanto, menor sensibilidade fenotípica à mistura (Figura 1). Em contraste, isolados como IF 284 (3,80 mm), IF 277 (7,27 mm), IF 285 (7,87 mm) e IF 294 (8,20 mm) apresentaram crescimento severamente reduzido, indicando alta supressão micelial e maior sensibilidade fenotípica.

Do ponto de vista aplicado, essa amplitude de resposta ($\approx 3,8$ a $64,4$ mm no 7º dia) é relevante porque populações heterogêneas tendem a reduzir a previsibilidade do controle quando um mesmo padrão de uso é mantido ao longo das safras, reforçando recomendações de manejo anti-resistência e integração de práticas de manejo (FRAC, 2024; FRAC, 2025). Embora ensaios *in vitro* não sejam equivalentes a desempenho em campo, eles são amplamente utilizados para detecção de variação de sensibilidade e para orientar monitoramento (HAMILTON et al., 2024).

O AACPCM é um indicador particularmente robusto para discussão porque integra todo o crescimento no tempo, reduzindo o risco de interpretações baseadas apenas em um dia específico. Na Tabela 2, os maiores valores de AACPCM foram observados em IF 414 (229,15), IF 325 (219,19) e IF 324 (210,33), seguidos por IF 048 (203,80), IF 323 (201,89) e IF 265 (200,43). Esse grupo apresentou crescimento acumulado elevado e, portanto, menor supressão ao longo dos sete dias, sustentando a interpretação de menor sensibilidade fenotípica.

Em contraste, os menores AACPCM ocorreram em IF 284 (54,50), IF 330 (61,55), IF 285 (66,53), IF 294 (67,03) e IF 277 (68,77), evidenciando forte redução do crescimento acumulado. Esse resultado é coerente com estudos de sensibilidade a SDHIs que documentam distribuição ampla de respostas e destacam o valor de métricas integradoras (como área sob curva ou medidas equivalentes de crescimento) para caracterizar populações e apoiar monitoramento de risco (BI et al., 2022; HAMILTON et al., 2024).

A taxa de crescimento micelial (TCM) representa a velocidade média de expansão do micélio ao longo do período experimental e, em condições ideais, tende a acompanhar o comportamento observado para o diâmetro final das colônias e para o crescimento acumulado representado pela área abaixo da curva de crescimento micelial (AACPCM). De modo geral, isolados que apresentam maiores diâmetros de colônia ao longo do tempo e maiores valores de AACPCM tendem também a apresentar taxas médias de crescimento mais elevadas. Entretanto, conforme observado na Tabela 2, alguns isolados podem apresentar valores relativamente altos de TCM mesmo quando associados a diâmetros finais ou AACPCM mais baixos. Esse comportamento sugere que a TCM pode refletir variações pontuais na velocidade de crescimento em determinados intervalos do período experimental, não representando necessariamente o crescimento acumulado ao longo de toda a curva. Assim, enquanto o diâmetro final da colônia e a AACPCM sintetizam de forma mais direta o progresso

do crescimento micelial ao longo do tempo, a TCM pode capturar respostas fisiológicas momentâneas dos isolados frente ao estresse químico imposto pelo fungicida. Dessa forma, a análise conjunta desses parâmetros indica que o diâmetro final e a AACPCM constituem indicadores mais robustos do comportamento global do patógeno em ensaios *in vitro*, enquanto a TCM fornece informações complementares sobre a dinâmica de crescimento micelial (LI et al., 2015; BI et al., 2022; HAMILTON et al., 2024).

Fluxapiroxade (SDHI) e piraclostrobina (QoI) pertencem a classes com modo de ação sítio-específico, para as quais o FRAC recomenda manejo anti-resistência devido ao risco de seleção de isolados menos sensíveis em populações expostas continuamente (FRAC, 2024; FRAC, 2025). Evidências recentes mostram que programas de monitoramento de sensibilidade em patógenos associados à SDS, como *Fusarium virguliforme*, são úteis para estabelecer referências e detectar deslocamentos de sensibilidade ao longo do tempo (HAMILTON et al., 2024). Além disso, estudos experimentais e epidemiológicos destacam que moléculas associadas ao manejo da SDS (em especial como tratamento de sementes e estratégias correlatas) devem ser posicionadas com cuidado em programas integrados (KANDEL et al., 2016).

No caso de Qols, há literatura recente demonstrando potencial de resistência em *Fusarium* a piraclostrobina em outros patossistemas, reforçando que a variabilidade observada em ensaios *in vitro* deve ser interpretada como sinal de heterogeneidade fenotípica com possível implicação para manejo (ZHANG et al., 2024). Assim, os contrastes observados na Tabela 2 sustentam a existência de isolados com baixa e alta supressão sob a mistura, configurando um cenário em que a caracterização fenotípica é essencial para orientar decisões futuras (ex.: rotação de modos de ação, integração com práticas culturais e monitoramento sistemático).

Tabela 2 - Médias do diâmetro de colônia (mm) em diferentes dias após a inoculação, área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM) e taxa de crescimento micelial (TCM) de diferentes isolados de *Fusarium* spp. submetidos a dosagens de fluxapiroxade+piraclostrobina.

Isolados	Diâmetro da colônia (mm) em diferentes dias após a Inoculação							AACPCM	TCM (mm dia ⁻¹)
	1	2	3	4	5	6	7		
IF 004	5,23 Ef	13,00 f	23,47 de	30,77 gh	39,43 De	45,63 fg	53,57 de	181,71 Gh	0,13 Qr
IF 048	3,33 Lm	4,47 q	26,53 bc	33,73 c	42,80 Bc	50,07 cd	59,33 ab	203,80 Cd	0,10 Wx
IF 068	2,00 Rs	4,47 qr	7,60 tu	9,73 zA	10,60 Tu	13,00 xy	15,47 vw	90,47 Uv	0,46 Cd
IF 086	1,67 St	3,76 st	8,20 tu	10,47 yz	12,60 St	15,53 vw	18,40 tu	96,23 Tu	0,34 Fg
IF 107	3,53 Kl	10,73 ij	16,53 lm	24,93 no	32,53 Kl	40,00 lm	49,60 gh	175,57 H	0,14 no
IF 234	2,07 Rs	11,33 hi	17,87 k	26,60 lm	34,33 Hi	42,53 jk	45,53 lm	178,23 H	0,13 pq
IF 265	5,07 Ef	13,00 ef	21,60 ef	31,20 de	39,07 E	47,20 de	54,47 cd	200,43 De	0,13 rs
IF 277	2,20 Qr	3,60 st	4,30 xy	4,73 CD	5,33 Uv	5,67 y	7,27 vw	68,77 Vw	1,33 a
IF 278	0,73 Vw	7,33 no	16,07 mn	25,33 no	33,33 lj	42,80 hi	50,47 fg	174,77 H	0,12 tu
IF 279	0,40 Wx	2,53 vw	5,87 wx	9,53 AB	13,60 Rs	16,87 uv	20,93 st	96,37 Tu	0,63 bc
IF 280	3,80 lj	12,73 f	21,07 gf	28,67 hi	35,47 F	43,87 gh	47,93 hi	187,80 Fg	0,16 ij
IF 282	0,27 Xy	2,87 uv	6,27 vw	10,27 zA	13,27 St	20,40 st	25,00 qr	102,43 St	0,46 ef
IF 283	3,93 Hi	5,93 op	9,87 rs	12,33 wx	14,80 Rs	18,07 tu	23,60 rs	108,67 Rs	0,44 de
IF 284	0,00 Y	0,93 x	1,40 z	1,93 D	2,27 V	2,73 y	3,80 w	54,50 X	1,14 ab
IF 285	0,67 Vw	2,00 wx	3,60 yz	4,27 CD	5,47 Uv	5,87 xy	7,87 vw	66,53 Wx	0,89 ab
IF 286	0,87 Uv	4,47 q	7,53 uv	13,13 vw	16,13 Qr	21,80 qr	25,47 qr	110,90 Qr	0,45 ef
IF 287	0,27 Xy	2,27 tu	5,40 wx	7,87 BC	10,80 Tu	14,53 wx	17,07 uv	88,90 Uv	0,68 bc
IF 288	0,53 Wx	7,33 n	15,60 n	24,53 op	33,13 lj	39,07 mn	46,13 kl	167,93 I	0,13 no
IF 289a	4,10 Gh	10,40 kl	12,20 jk	29,40 hi	38,60 De	47,80 de	55,00 cd	174,95 H	0,12 uv
IF 289b	5,93 Cd	13,83 de	25,90 cd	31,20 de	42,30 Cd	50,37 bc	57,53 ab	193,33 Ef	0,12 vw
IF 290	3,27 Lm	11,40 gh	18,93 k	27,07 kl	32,53 Jk	38,07 kl	50,53 ef	176,90 H	0,14 mn
IF 291	2,53 Op	11,87 g	21,40 ef	30,53 ef	38,13 E	49,27 de	56,33 bc	199,67 De	0,11 wx
IF 294	0,60 W	1,80 wx	3,33 yz	4,33 CD	5,67 Uv	6,33 xy	8,20 vw	67,03 Wx	0,99 ab
IF 296	2,20 Qr	11,33 hi	16,00 n	22,27 rs	31,13 Lm	37,47 no	44,67 lm	167,50 I	0,16 jk

IF 313	4,80	Fg	12,70	f	20,80	gh	28,80	hi	33,90	lj	40,70	kl	45,30	kl	161,96	lj	0,16	kl
IF 314	7,30	B	15,90	cd	24,00	cd	32,50	cd	39,40	De	46,80	ef	51,00	ef	187,76	Fg	0,13	no
IF 315	3,10	Mn	10,60	jk	19,80	ij	27,80	jk	33,90	Hi	40,70	kl	46,00	jk	157,35	Kl	0,13	op
IF 316	3,87	lj	7,27	n	11,70	qr	14,00	uv	19,27	Pq	22,80	rs	28,10	pq	90,39	Uv	0,27	fg
IF 318	3,30	Lm	7,60	n	15,50	no	23,00	qr	27,80	Op	34,00	pq	39,60	op	129,37	Op	0,16	ij
IF 319	3,00	Mn	11,10	ij	21,10	g	29,90	fg	37,50	E	45,50	fg	54,20	cd	173,71	H	0,12	uv
IF 321	5,40	Ef	12,90	f	20,10	hi	27,00	kl	34,50	Gh	40,60	kl	46,20	jk	160,91	JK	0,15	lm
IF 322	4,87	F	10,37	kl	18,33	k	24,77	no	33,43	lj	39,57	kl	44,67	lm	151,23	Lm	0,16	lm
IF 323	5,60	De	15,30	cd	26,80	ab	34,20	bc	43,10	Bc	50,80	bc	57,79	ab	201,89	De	0,12	vw
IF 324	7,70	Ab	18,20	a	27,80	ab	37,80	ab	43,80	Ab	50,70	bc	56,39	bc	210,33	Bc	0,13	pq
IF 325	8,10	A	18,00	ab	28,00	ab	30,40	a	44,20	Ab	53,50	ab	64,09	a	219,19	Ab	0,13	rs
IF 326	2,80	No	10,10	lm	16,40	lm	26,50	kl	29,30	mn	37,00	no	43,40	mn	142,41	Mn	0,18	hi
IF 328	2,10	Rs	9,50	m	19,80	ij	28,40	ij	35,40	F	42,90	gh	49,90	gh	162,01	lj	0,12	st
IF 330	1,40	Tu	4,00	rs	8,90	st	11,20	xy	13,30	St	14,90	vw	17,40	uv	61,55	X	0,06	x
IF 331	0,70	Vw	5,10	pq	13,10	op	19,10	tu	28,30	Op	35,47	op	42,43	no	122,64	Pq	0,14	mn
IF 332	1,40	Tu	5,63	pq	11,23	pq	15,33	uv	20,20	Pq	24,30	qr	28,33	pq	91,57	Tu	0,24	gh
IF 414	6,87	Bc	17,37	bc	29,50	a	37,93	ab	50,63	A	58,07	a	64,43	a	229,15	Ab	0,10	wx
IF 415	5,77	Cd	12,83	f	21,43	ef	25,47	mn	35,47	Fg	40,10	kl	47,23	ij	161,81	lj	0,18	ij
IF 428	3,63	JK	10,30	lm	17,00	l	20,37	st	28,47	No	37,17	no	43,77	mn	136,83	No	0,16	jk
IF 432	2,30	Pq	9,90	m	16,60	lm	24,10	pq	35,00	Fg	42,20	ij	50,40	fg	154,16	Lm	0,13	rs
Shapiro	0,9323 ^{ns}		0,9395 ^{ns}		0,9429 ^{ns}		0,9506 ^{ns}		0,9512 ^{ns}		0,9542 ^{ns}		0,9461 ^{ns}		0,9474 ^{ns}		0,6455 ^{ns}	
Bartlet	449,1300 ^{ns}		341,0800 ^{ns}		377,0900 ^{ns}		357,9300 ^{ns}		347,6300 ^{ns}		332,5900 ^{ns}		312,1000 ^{ns}		372,5400 ^{ns}		1573000 ^{ns}	
CV (%)	71,64		52,56		48,21		43,58		41,1		39,36		37,77		35,18		87,59	
Teste F	145,7134 ^{**}		215,5788 ^{**}		233,0156 ^{**}		298,1691 ^{**}		218,8054 ^{**}		155,9944 ^{**}		154,2670 ^{**}		220,1338 ^{**}		143,4940 ^{**}	
Friedman	127,2454 ^{**}		127,5968 ^{**}		127,9419 ^{**}		127,5288 ^{**}		126,4861 ^{**}		125,7477 ^{**}		125,1292 ^{**}		127,3878 ^{**}		125,5455 ^{**}	

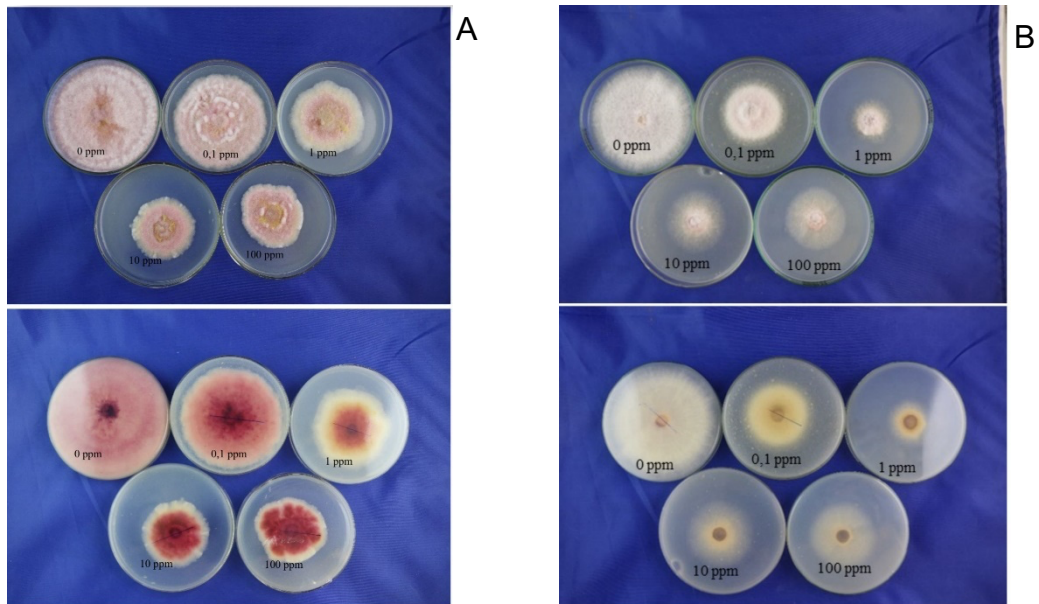


Figura 11 - A. Isolado IF 325 em meio com fluxapiroxade e piraclostrobina em diferentes dosagens 0,1 ppm; 1 ppm; 10 ppm e 100 ppm. B. Isolado IF 325 em meio com fluxapiroxade e piraclostrobina em diferentes dosagens: 0,1 ppm; 1 ppm; 10 ppm, e 100 ppm.

Na figura 11 podemos observar os aspectos morfológicos de isolados de *Fusarium* spp. submetidos a diferentes dosagens da mistura fluxapiroxade + piraclostrobina em meio BDA aos sete dias após inoculação. (A) Isolado IF 325; (B) Isolado IF 313. As colônias foram avaliadas nas concentrações de 0; 0,1; 1; 10 e 100 ppm, evidenciando redução progressiva do crescimento micelial conforme aumento da concentração fungicida. Observam-se diferenças fenotípicas entre os isolados quanto à pigmentação, densidade micelial e sensibilidade à mistura fungicida. As diferenças visuais observadas nas colônias corroboram os resultados quantitativos obtidos para diâmetro micelial, AACPCM e EC_{50} , evidenciando a variabilidade fenotípica dos isolados frente à mistura fluxapiroxade + piraclostrobina.

A Figura 12 expõe diferenças consistentes no crescimento micelial de isolados de *Fusarium* spp. classificados por grupos de sensibilidade ao fungicida fluxapiroxade + piraclostrobina. As curvas de progresso (Figura 12A) demonstram separação precoce entre os grupos, com isolados menos sensíveis (MS) apresentando crescimento contínuo e maiores diâmetros finais de colônia, enquanto isolados sensíveis (Se) mantiveram crescimento fortemente reduzido ao longo de todo o período avaliado. Os isolados intermediários (In) exibiram comportamento intermediário, confirmando a existência de um gradiente de resposta na população.

AAACPCM (Figura 12B) reforça esse padrão ao integrar o crescimento micelial ao longo do tempo. Isolados classificados como menos sensíveis apresentaram

maiores valores acumulados, indicando menor supressão pelo fungicida, enquanto os isolados sensíveis exibiram AACPCM significativamente inferiores, refletindo maior eficiência de controle. Esse comportamento é compatível com estudos recentes que destacam a AACPCM como parâmetro robusto para discriminar níveis de sensibilidade em ensaios *in vitro*, especialmente para fungicidas de sítio específico, como SDHIs e Qols (Bi et al., 2022; Hamilton et al., 2024).

A TCM (Figura 12C) mostra diferenças na velocidade média de crescimento entre os isolados, indicando estratégias fisiológicas distintas frente ao estresse químico. Embora alguns isolados apresentem crescimento inicial relativamente rápido, o acúmulo total ao longo do tempo permanece menor, evidenciando que taxa instantânea e crescimento acumulado nem sempre são diretamente proporcionais.

Em conjunto, os resultados demonstram elevada heterogeneidade fenotípica entre os isolados avaliados, com coexistência de fenótipos altamente sensíveis, intermediários e menos sensíveis à mistura fluxapiraxade + piraclostrobina. Esse padrão é típico de populações expostas a fungicidas com modo de ação específico e representa um cenário favorável ao deslocamento gradual de sensibilidade, conforme descrito em relatórios recentes do FRAC e em estudos com *Fusarium* associados à síndrome da SDS (Kandel et al., 2016; FRAC, 2024; Hamilton et al., 2024).

Os padrões observados na Tabela 2 tornam-se ainda mais evidentes quando visualizados graficamente na Figura 12. Enquanto a Tabela 2 quantifica o crescimento micelial por meio dos diâmetros diários, AACPCM e TCM, a Figura 12 permite acompanhar a dinâmica temporal desses isolados, facilitando a identificação dos diferentes grupos de sensibilidade. De forma consistente, os isolados que apresentaram maiores diâmetros finais e AACPCM elevados na Tabela 2 também exibiram curvas de crescimento mais acentuadas na Figura 12A, caracterizando menor supressão pelo fungicida. Por outro lado, os isolados com baixos valores de crescimento acumulado mantiveram curvas persistentemente reduzidas, confirmando maior sensibilidade ao tratamento. Essa concordância entre os parâmetros numéricos e a representação gráfica reforça a existência de um gradiente contínuo de resposta entre os isolados avaliados e evidencia a heterogeneidade fenotípica da população, aspecto central para a compreensão do comportamento de *Fusarium spp.* frente à mistura fluxapiraxade + piraclostrobina.

Do ponto de vista fitossanitário, a presença simultânea desses grupos reforça a necessidade de estratégias de manejo integradas, incluindo rotação de mecanismos

de ação e uso racional de fungicidas, como forma de retardar a seleção de isolados menos sensíveis. Assim, a caracterização fenotípica apresentada fornece subsídios relevantes para o monitoramento da sensibilidade de *Fusarium spp.* e para o aprimoramento de programas de manejo da morte súbita da soja.

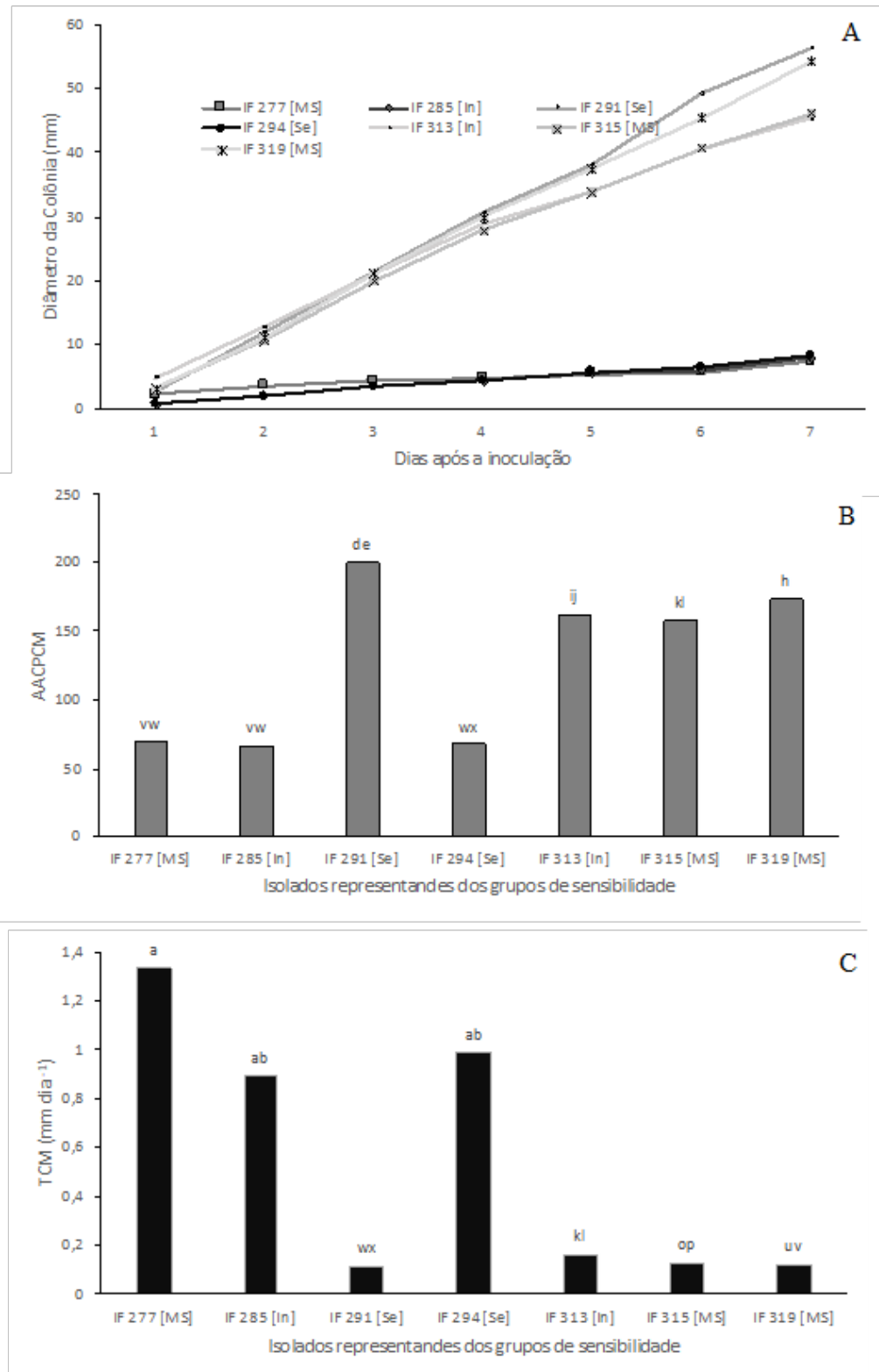


Figura 12 - Curvas de progresso e variáveis epidemiológicas dos isolados. A. Curva de progresso dos isolados classificados de acordo com a EC_{50} , B. área abaixo da curva de progresso dos isolados classificados de acordo com o EC_{50} , C. Taxa de crescimento micelial dos isolados classificados de acordo com o EC_{50} .

4.2 Efeito das dosagens sobre a sensibilidade de isolados de *Fusarium* spp. a fluxaripoxade+piraclostrobina

A Tabela 3 evidencia uma resposta dose-dependente do crescimento micelial de *Fusarium* spp. à mistura fluxapiraxade + piraclostrobina, com redução progressiva do diâmetro de colônia ao longo do tempo e diminuição do crescimento acumulado (AACPCM) à medida que a dosagem aumenta. Esse padrão é compatível com a lógica de ensaios de sensibilidade *in vitro*, nos quais o crescimento micelial é um indicador direto do efeito fungistático/fungicida e permite discriminar o impacto incremental de diferentes concentrações (DE ROSSI et al., 2015; LI et al., 2015).

No 1º dia após a inoculação (DAI 1), o tratamento sem fungicida (0) apresentou o maior diâmetro médio (5,92 mm), enquanto as doses crescentes reduziram o crescimento já no início (3,74 mm em 0,1; 2,63 mm em 1; 1,87 mm em 10; 1,66 mm em 100). Esse comportamento se mantém de forma consistente nos dias seguintes (DAI 2 a DAI 7), sempre com o controle (0) no patamar mais alto e as doses maiores no patamar mais baixo, indicando que a mistura limita a expansão micelial desde as fases iniciais e sustenta a supressão ao longo de todo o período.

No 7º dia, por exemplo, o diâmetro médio caiu de 59,60 mm (0) para 46,42 mm (0,1), 35,34 mm (1), 31,00 mm (10) e 28,14 mm (100), com diferença estatística entre as dosagens. Esse gradiente é relevante porque mostra que, na média da população avaliada, o aumento de dose melhora o controle até certo ponto, mas com tendência de ganho marginal menor nas doses mais altas (especialmente entre 10 e 100), sugerindo aproximação de um “platô” de supressão em condições do ensaio.

O AACPCM confirma a interpretação temporal, por integrar o crescimento micelial durante todo o período. Observa-se redução clara do crescimento acumulado com o aumento de dose: 213,64 (0) → 167,92 (0,1) → 130,75 (1) → 115,19 (10) → 104,27 (100). Isso indica que a mistura impacta não apenas um ponto do tempo, mas o desempenho de crescimento ao longo de toda a curva, sendo o AACPCM um parâmetro robusto para comparar tratamentos em ensaios de crescimento micelial (DE ROSSI et al., 2015; LI et al., 2015). Em termos práticos, os dados sugerem que a maior parte do ganho de supressão ocorre entre 0 e 1, e que doses acima de 10 passam a trazer reduções adicionais menores no crescimento acumulado.

A TCM apresentada aumenta com a dose (0,19 em 0; 0,23 em 0,1; 0,27 em 1; 0,37 em 10; 0,36 em 100). Em princípio, seria esperado que a “taxa de crescimento

micelial” diminuísse com doses mais altas, acompanhando os diâmetros e o AACPCM.

Os testes de normalidade (Shapiro) e homogeneidade de variâncias (Bartlett) não indicaram violações relevantes, sustentando o uso de análises paramétricas na maior parte das variáveis. Além disso, a significância nos testes F e Friedman reforça que as diferenças entre dosagens foram consistentes, refletindo efeito real do tratamento. Do ponto de vista de manejo, o comportamento dose-dependente observado é esperado para moléculas de ação sítio-específica como SDHI e QoI, para as quais o FRAC recomenda uso criterioso e estratégias anti-resistência, sobretudo em cenários de uso repetido e pressão seletiva (FRAC, 2024a; FRAC, 2024b). Embora a Tabela 3 represente médias gerais (não isolados específicos), ela contribui para demonstrar que o aumento de dose intensifica a supressão, mas também sugere que doses elevadas podem aproximar-se de um ponto de retorno decrescente, o que reforça a importância de posicionamento técnico (dose correta, rotação de modos de ação e integração com outras práticas) para preservar a vida útil das moléculas. (FRAC, 2024a; FRAC, 2024b).

Os resultados da Tabela 3 demonstram que o aumento da dosagem do fungicida é eficaz na redução do crescimento micelial, embora a sensibilidade não seja homogênea entre os isolados. A adoção de doses mais elevadas deve ser ponderada em relação ao custo, impacto ambiental e potencial seleção de resistência.

Tabela 3 - Médias do diâmetro de colônia (mm) em diferentes dias após a inoculação, área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM) e taxa de crescimento micelial (TCM) de diferentes dosagens de fluxapiroxade+piraclostrobina aplicados para isolados de *Fusarium* spp.

Dosagens de fluxapiroxade+piraclostrobina (mL mL ⁻¹)	Diâmetro da colônia (mm) em diferentes dias após a inoculação (DAI)							AACPCM	TCM (mm dia ⁻¹)
	1	2	3	4	5	6	7		
0	5,92 a	15,20 a	26,25 a	34,88 a	43,56 a	51,45 a	59,60 a	213,64 a	0,19 d
0,1	3,74 b	10,68 b	19,14 b	26,48 b	33,41 b	40,26 b	46,42 b	167,92 b	0,23 c
1	2,63 c	7,64 c	13,69 c	19,45 c	24,84 c	30,47 c	35,34 c	130,75 c	0,27 b
10	1,87 d	6,44 d	11,66 d	16,39 d	21,27 d	26,29 d	31,00 d	115,19 d	0,37 a
100	1,66 e	5,37 e	9,79 e	14,43 e	18,98 e	23,32 e	28,14 e	104,27 e	0,36 a
Shapiro	0,9647 ^{ns}	0,9928 ^{ns}	0,9889 ^{ns}	0,9841 ^{ns}	0,9725 ^{ns}	0,9655 ^{ns}	0,9583 ^{ns}	0,9864 ^{ns}	0,6072 ^{ns}
Bartlet	105,55 ^{ns}	111,0400 ⁿ _s	104,8900 ⁿ _s	82,8110 ^{ns}	55,1490 ^{ns}	46,9450 ^{ns}	381690 ^{ns}	85,9100 ^{ns}	91,2220 ⁿ _s
CV (%)	83,99	60,78	54,41	51,96	50,52	49,42	47,68	38,51	131,93
Teste F	218,7258	116,1357*	340,9902*	309,7005*	244,1602*	138,3284*	245,3640*	190,9328*	16,2629*
	**	*	*	*	*	*	*	*	*
Friedman	12,0000*	12,0000*	12,0000*	12,0000*	12,0000*	12,0000*	12,0000*	12,0000*	11,4667*

A análise estatística mostra significância elevada entre os tratamentos, como indicado pelos valores do teste F e Friedman (com $p < 0,05$ e $p < 0,01$), reforçando que a variação entre as dosagens foi relevante do ponto de vista experimental. Os testes de normalidade (Shapiro) e homogeneidade de variância (Bartlet) não apresentaram significância, indicando que os dados seguem uma distribuição adequada para análises paramétricas, exceto para o parâmetro AACPCM, que apresentou maior variabilidade.

A Figura 13 apresenta uma resposta claramente dose-dependente do crescimento micelial de *Fusarium spp.* à mistura fluxapirroxade + piraclostrobina. Na curva de progresso (Figura 13A), observa-se que o tratamento sem fungicida apresentou crescimento contínuo e os maiores diâmetros finais de colônia, enquanto o aumento das dosagens resultou em redução progressiva da expansão micelial ao longo de todo o período avaliado. As maiores doses (10 e 100 mL mL⁻¹) promoveram as maiores restrições de crescimento, embora com diferenças relativamente pequenas entre si nos últimos dias, sugerindo aproximação de um platô de supressão.

A AACPCM (Figura 13B) confirma esse padrão ao integrar o crescimento no tempo, apresentando redução gradativa e estatisticamente significativa à medida que a dose aumenta. O controle (0) exibiu o maior valor acumulado, seguido por 0,1 e 1 mL mL⁻¹, enquanto 10 e 100 mL mL⁻¹ apresentaram os menores AACPCM. Esse comportamento indica que a maior parte do efeito fungistático ocorre nas faixas iniciais de incremento de dose, com ganhos marginais menores nas concentrações mais elevadas, padrão frequentemente relatado em ensaios in vitro com fungicidas de sítio específico (Bi et al., 2022; Li et al., 2015).

A TCM (Figura 13C) apresentou aumento com o acréscimo das dosagens, comportamento que pode refletir ajustes fisiológicos dos isolados frente ao estresse químico ou particularidades do método de cálculo da taxa. Ainda assim, quando interpretada em conjunto com os diâmetros e a AACPCM, fica evidente que o crescimento absoluto e o crescimento acumulado foram consistentemente reduzidos nas maiores doses, reforçando o efeito supressivo da mistura.

Em conjunto, os três parâmetros demonstram que fluxapirroxade + piraclostrobina exerce controle progressivo sobre *Fusarium spp.*, porém com tendência de estabilização do efeito nas doses mais altas. Esse padrão é compatível com a ação de fungicidas SDHI e QoI, para os quais a literatura aponta respostas dose-dependentes e ressalta o risco de seleção de isolados menos sensíveis quando utilizados de forma repetitiva, especialmente em populações naturalmente heterogêneas como as de *Fusarium* (FRAC, 2024; Hamilton et al., 2024).

Do ponto de vista prático, os resultados indicam que o aumento da dose intensifica a supressão micelial, mas também sugerem retorno decrescente nas concentrações mais elevadas, reforçando a importância do posicionamento técnico da dose e da rotação de mecanismos de ação. Assim, a Figura 13 complementa os dados das Tabelas anteriores ao demonstrar, de forma gráfica, que a eficiência do

fungicida depende da concentração aplicada, mas deve ser integrada a estratégias de manejo para reduzir a pressão seletiva e preservar a eficácia das moléculas disponíveis.

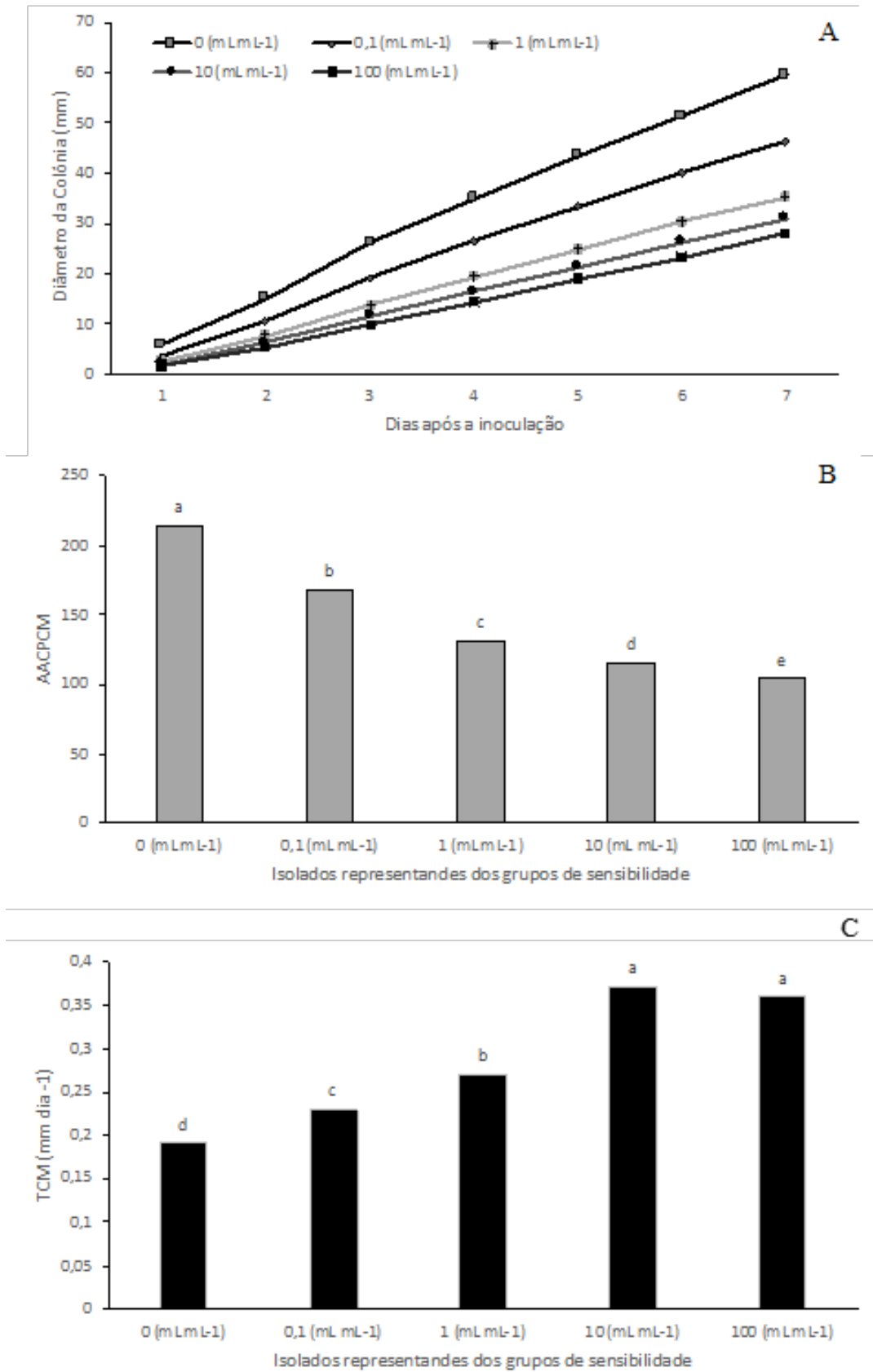


Figura 13 - Curvas de progresso e variáveis epidemiológicas das dosagens de fluxapiroxade+piraclostrobina. A. Curva de progresso dos isolados classificados de acordo com a EC₅₀,

B. área abaixo da curva de progresso dos isolados classificados de acordo com o EC_{50} , C. Taxa de crescimento micelial dos isolados classificados de acordo com o EC_{50} .

A Figura 14 abaixo detalha resposta dose-dependente do crescimento micelial de *Fusarium spp.* à mistura fluxapiraxade + piraclostrobina. Desde o 1º dia após a inoculação (A), observa-se redução progressiva do diâmetro de colônia com o aumento da dose, padrão mantido até o 7º DAI (B–G), indicando ação precoce e contínua do fungicida sobre o patógeno.

A AACPCM (H) confirma esse comportamento ao demonstrar diminuição gradual do crescimento acumulado conforme a concentração é elevada, evidenciando maior supressão micelial nas doses intermediárias e altas. Esse parâmetro integra a resposta ao longo do tempo e é amplamente utilizado para discriminar a eficiência de fungicidas em ensaios in vitro (LI et al., 2015; BI et al., 2022).

A TCM (I) variou entre as dosagens, refletindo ajustes fisiológicos dos isolados sob estresse químico; entretanto, quando interpretada em conjunto com os diâmetros e a AACPCM, fica evidente que o crescimento absoluto e acumulado é consistentemente reduzido nas maiores concentrações.

Em conjunto, as nove subfiguras demonstram que a mistura promove supressão progressiva do crescimento micelial, com tendência de estabilização do efeito nas doses mais elevadas, padrão típico de fungicidas de sítio específico (SDHI e QoI). Esse comportamento, aliado à heterogeneidade fenotípica de *Fusarium spp.*, reforça a necessidade de posicionamento técnico adequado, rotação de mecanismos de ação e manejo integrado, visando reduzir a pressão seletiva e preservar a eficácia das moléculas (FRAC, 2024; HAMILTON et al., 2024).

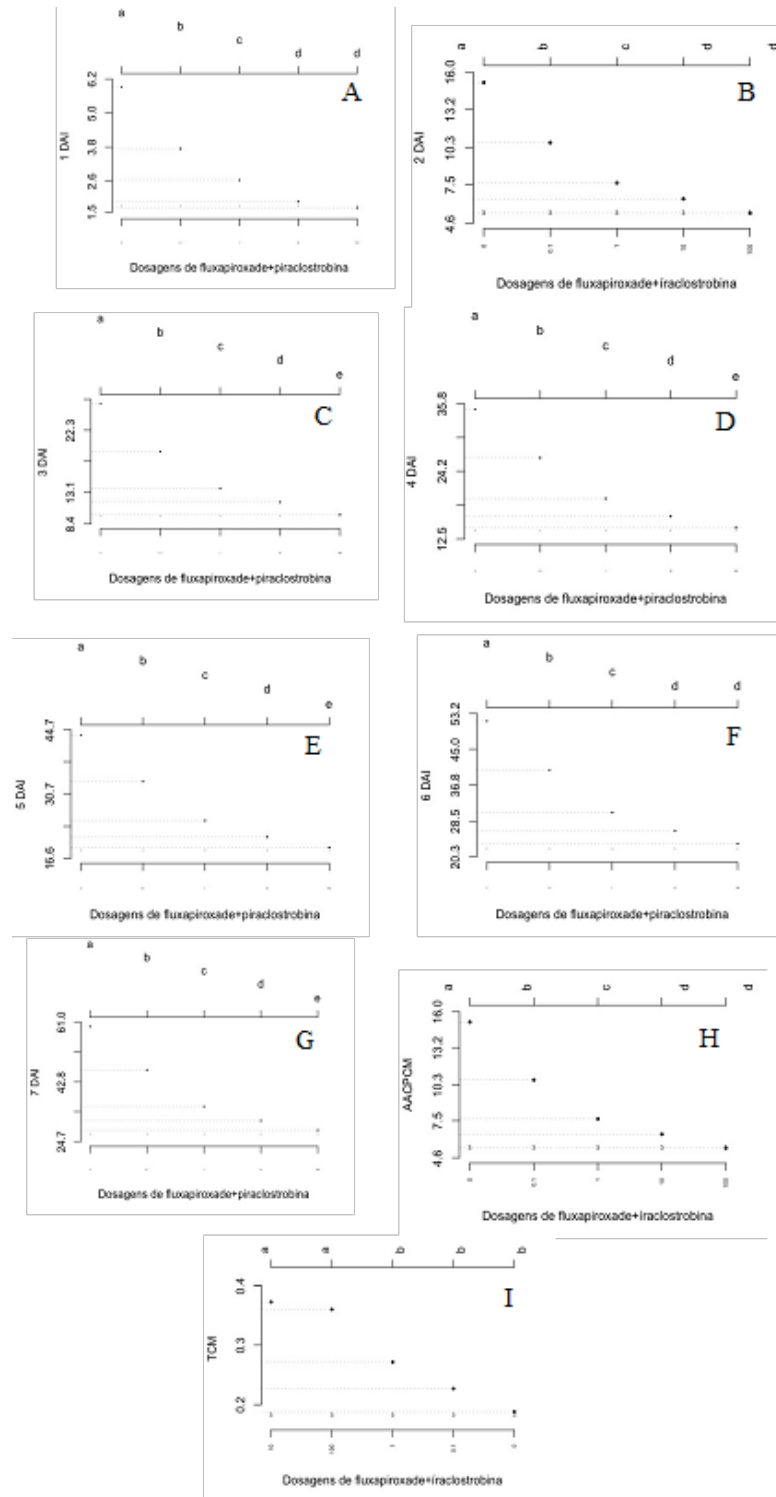


Figura 14 - Médias das variáveis dependentes de isolados de *Fusarium* spp. submetidos a dosagens de fluxapiroxade+piraclostrobina. A. 1 dia após a inoculação (DAI), B. 2 DAI, C. 3 DAI, D. 4 DAI, E. 5 DAI, F. 6 DAI, G. 7 DAI, H. área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM), e I. taxa de crescimento micelial (TCM).

4.2 Efeito do EC₅₀ sobre a sensibilidade de de isolados de *Fusarium* spp. a fluxaripoxade+piraclostrobina

A Tabela 4 apresenta os valores de EC₅₀ e erros padrão de 44 isolados de *Fusarium* spp., evidenciando ampla variabilidade na sensibilidade à mistura fluxapiraxade + piraclostrobina. Os valores de EC₅₀ oscilaram de 0,1531 (IF 294) a 28,5526 (IF 285), caracterizando um intervalo superior a 180 vezes entre o isolado mais sensível e o menos sensível. Essa amplitude indica elevada heterogeneidade fenotípica na população avaliada, condição frequentemente associada ao risco de deslocamento de sensibilidade em patógenos expostos a fungicidas de sítio específico.

A maioria dos isolados apresentou EC₅₀ inferiores a 5, sugerindo boa eficácia média do fungicida frente à população estudada. Entretanto, a presença de isolados com EC₅₀ superiores a 10 (como IF 285, IF 319, IF 313 e IF 315) evidencia a coexistência de subpopulações menos sensíveis, o que pode comprometer o desempenho do controle químico quando esses isolados se tornam predominantes. Esse padrão é consistente com estudos recentes que demonstram distribuição contínua de sensibilidade em *Fusarium* e outros fitopatógenos, com emergência gradual de fenótipos menos sensíveis sob pressão seletiva (LI et al., 2015; BI et al., 2022; HAMILTON et al., 2024).

Os elevados erros padrão observados em alguns isolados (por exemplo, IF 285 e IF 432) sugerem maior variabilidade na resposta dose–efeito, possivelmente associada a diferenças fisiológicas individuais ou instabilidade experimental. Por outro lado, isolados com erro padrão nulo (como IF 313 e IF 289b) indicam resposta mais uniforme às doses testadas. Ainda assim, o conjunto dos dados aponta para uma população heterogênea, com gradiente de sensibilidade típico de sistemas submetidos a fungicidas com modo de ação específico, como SDHIs e Qols.

Do ponto de vista fitossanitário, a detecção de isolados com EC₅₀ elevado representa um alerta precoce para possível redução de eficiência do produto ao longo do tempo. Relatórios recentes do FRAC destacam que esse cenário exige estratégias preventivas, incluindo rotação de mecanismos de ação, uso racional de doses e integração com práticas culturais, a fim de reduzir a pressão seletiva e prolongar a vida útil das moléculas disponíveis (FRAC, 2024a; FRAC, 2024b).

Assim, os resultados da Tabela 4 reforçam a importância do monitoramento contínuo da sensibilidade de *Fusarium spp.* e da classificação dos isolados em grupos de resposta, fornecendo subsídios técnicos para o manejo integrado da síndrome da SDS e para a tomada de decisão quanto ao posicionamento de fluxapiraxade + piraclostrobina em programas de controle.

Tabela 4 - Dosagem de fluxapiraxade+piraclostrobina capaz de inibir o crescimento micelial em 50 % e erros padrão de isolados de *Fusarium spp.*

Ord.	Isolado	EC ₅₀	Erro padrão
1	IF 285	28,5526	112,0576
2	IF 319	15,2020	22,4880
3	IF 313	14,5960	0,0000
4	IF 315	10,4930	6,1723
5	IF 322	9,3775	5,8149
6	IF 328	7,9130	3,0517
7	IF 316	7,0894	1,8706
8	IF 278	6,3356	1,3867
9	IF 277	5,9175	0,4533
10	IF 291	5,6524	0,4967
11	IF 414	5,0741	7,8739
12	IF 428	4,9766	3,0978
13	IF 048	4,6106	1,2915
14	IF 321	4,3934	3,0281
15	IF 234	4,0900	3,1234
16	IF 415	4,0019	1,2161
17	IF 314	3,9149	3,0367
18	IF 288	3,8697	2,3101
19	IF 004	3,8297	0,9287
20	IF 265	3,6852	1,6474
21	IF 289a	3,4283	0,8659
22	IF 287	2,8921	0,0784
23	IF 279	2,7480	0,4629
24	IF 068	2,6917	0,4448
25	IF 330	2,6383	0,1089
26	IF 284	2,6308	0,8063
27	IF 332	2,5396	0,4232
28	IF 296	2,3721	1,7393
29	IF 323	2,0367	0,9566
30	IF 283	1,9719	0,7090
31	IF 290	1,9350	1,0006

32	IF 318	1,8367	0,8855
33	IF 325	1,6405	0,8509
	IF		
34	289b	1,5312	0,0000
35	IF 107	1,0082	0,0000
36	IF 324	0,9190	0,7930
37	IF 280	0,8050	1,0442
38	IF 331	0,7561	0,0000
39	IF 286	0,6489	0,6951
40	IF 432	0,6419	670,0417
41	IF 282	0,4706	0,4269
42	IF 326	0,1607	0,8597
43	IF 086	0,1550	1,0291
44	IF 294	0,1531	0,6038

A ampla variação dos valores individuais de EC₅₀ observada na Tabela 4 reflete diretamente a distribuição das classes de sensibilidade apresentada na Tabela 5. Enquanto a maioria dos isolados se concentrou nas classes mais sensíveis, uma fração menor deslocou-se para categorias intermediárias e insensíveis, evidenciando a heterogeneidade fenotípica da população avaliada. Essa organização em classes permite visualizar o comportamento populacional de forma mais clara, mostrando que, embora o fungicida ainda apresente boa eficácia média, já existem isolados com menor sensibilidade circulando na área de estudo. Esse padrão é típico de populações sob pressão de fungicidas sítio-específicos e representa um estágio inicial de deslocamento de sensibilidade, reforçando a importância do monitoramento contínuo e da adoção imediata de estratégias de manejo anti-resistência para preservar a eficiência da mistura fluxapiraxade + piraclostrobina.

Desta forma, a Tabela 5 mostra que a maior parte dos isolados de *Fusarium spp.* foi classificada como sensível à mistura fluxapiraxade + piraclostrobina (79,5%), indicando que, para a população avaliada, a mistura ainda mantém bom desempenho *in vitro*. Ainda assim, a presença de 13,6% de isolados moderadamente sensíveis, 4,5% intermediários e 2,3% insensíveis evidencia uma distribuição heterogênea de respostas, com uma “cauda” de indivíduos menos sensíveis que, embora minoritária, é epidemiologicamente importante por sinalizar potencial de seleção quando o mesmo mecanismo de ação é repetido ao longo das safras (FRAC, 2024a; FRAC, 2024b).

Esse padrão — maioria sensível coexistindo com uma fração menor de isolados deslocados para classes menos sensíveis — é coerente com estudos de

monitoramento e baseline de sensibilidade em *Fusarium*, que destacam a utilidade do EC₅₀ para detectar precocemente mudanças populacionais antes que falhas de controle sejam evidentes no campo (WANG et al., 2017; HAMILTON et al., 2024). Além disso, trabalhos com SDHIs em *Fusarium* reforçam que diferenças de sensibilidade podem ocorrer entre espécies/isolados e que esse comportamento justifica monitoramento contínuo e manejo anti-resistência (SANG et al., 2018; BREUNIG; CHILVERS, 2021). No contexto de fungicidas sítio-específicos, recomendações técnicas convergem para reduzir pressão seletiva por meio de rotação de mecanismos de ação, uso em mistura com eficácia real, e integração com medidas não químicas, preservando a vida útil das moléculas (FRAC, 2024a; FRAC, 2024b).

Tabela 5 - Número de isolados, nomes das classes de sensibilidade e porcentagem de isoladas em cada amplitude de classe de dosagem de fluxapiraxade + piraclostrobina capaz de inibir o crescimento micelial em 50 %.

Amplitudes de Classes de EC₅₀	Número de isolados	Nome das classes de sensibilidade	% de isolados (%)
0-5,7	35	Sensíveis	79,5
5,8-11,4	6	Moderadamente sensível	13,6
11,5-17,0	2	Intermediário	4,5
17,1-22,6	0	Moderadamente insensível	0,0
22,7-28,55	1	Insensíveis	2,3

A heterogeneidade observada entre os isolados de *Fusarium* spp. quanto ao crescimento micelial, AACPCM, TCM e EC₅₀ indica que a população avaliada apresenta diferentes níveis de adaptação fisiológica à mistura fluxapiraxade + piraclostrobina. Essa variação pode estar associada a diferenças intrínsecas entre isolados, como vigor micelial, capacidade metabólica, eficiência respiratória e possíveis alterações nos sítios-alvo dos fungicidas. Como fluxapiraxade pertence ao grupo dos SDHI e piraclostrobina ao grupo dos QoI, ambos atuam sobre a respiração mitocondrial, interferindo diretamente na produção de energia celular do fungo. Assim, isolados capazes de manter crescimento mesmo sob exposição ao fungicida podem apresentar mecanismos bioquímicos que reduzem a sensibilidade ao estresse químico imposto pela mistura (FRAC, 2024a; FRAC, 2024b).

Do ponto de vista bioquímico, os fungicidas SDHI atuam inibindo a enzima succinato desidrogenase, componente do complexo II da cadeia respiratória mitocondrial. Alterações estruturais nas subunidades dessa enzima podem reduzir a ligação do fungicida ao sítio-alvo, resultando em menor sensibilidade. Em estudos com espécies associadas à SDS, como *F. virguliforme*, *F. brasiliense* e *F. tucumaniae*, diferenças nos valores médios de EC_{50} para fluopyram, também pertencente ao grupo SDHI, demonstraram que a sensibilidade pode variar entre espécies e isolados, reforçando a importância do monitoramento populacional em programas de manejo químico (SANG et al., 2018).

A piraclostrobina, por sua vez, pertence ao grupo dos QoI, cujo mecanismo de ação envolve a inibição da transferência de elétrons no complexo citocromo bc1 da mitocôndria. Em fungicidas desse grupo, a resistência geralmente está relacionada a alterações no gene do citocromo b, reduzindo a afinidade do ingrediente ativo pelo sítio de ação. Embora a resistência de *Fusarium* spp. à piraclostrobina ainda seja menos documentada para SDS em comparação a outros patossistemas, a presença de isolados com maior crescimento micelial sob exposição à mistura sugere a necessidade de vigilância, especialmente porque fungicidas sítio-específicos apresentam maior risco de seleção quando usados de forma repetitiva (FRAC, 2024a; ZHANG et al., 2024).

Os valores de EC_{50} obtidos neste estudo permitem interpretar a população de *Fusarium* spp. como fenotipicamente heterogênea. A predominância de isolados sensíveis indica que a mistura ainda apresenta boa eficiência média in vitro; entretanto, a presença de isolados moderadamente sensíveis, intermediários e insensíveis constitui um sinal de alerta. Entre os isolados classificados como sensíveis destacaram-se IF 294 (0,1531), IF 086 (0,1550), IF 326 (0,1607), IF 282 (0,4706) e IF 432 (0,6419), os quais apresentaram elevada supressão micelial e baixos valores de AACPCM. Na classe dos moderadamente sensíveis, destacaram-se IF 291 (5,6524), IF 277 (5,9175), IF 278 (6,3356) e IF 316 (7,0894), evidenciando crescimento intermediário sob exposição ao fungicida. Entre os isolados classificados como intermediários, IF 313 (14,5960) e IF 319 (15,2020) apresentaram crescimento acumulado elevado e menor supressão micelial. Já o isolado IF 285 destacou-se como insensível, apresentando o maior valor de EC_{50} (28,5526), indicando baixa sensibilidade fenotípica à mistura fluxapiraxade + piraclostrobina. Esse padrão pode representar um estágio inicial de deslocamento de sensibilidade, no qual

subpopulações menos sensíveis permanecem em baixa frequência, mas podem ser selecionadas com o uso contínuo dos mesmos mecanismos de ação. Estudos recentes de monitoramento de *F. virguliforme* em soja demonstram que avaliações de EC₅₀ são úteis para estabelecer linhas de base e detectar mudanças graduais na sensibilidade antes da ocorrência de falhas evidentes de controle em campo (HAMILTON et al., 2024; BI et al., 2022).

A elevada correlação entre o diâmetro final da colônia e a AACPCM reforça que parâmetros integradores são mais adequados para representar o comportamento global dos isolados frente ao fungicida. Enquanto o diâmetro final expressa o resultado acumulado do crescimento até o sétimo dia, a AACPCM integra a trajetória de expansão micelial ao longo do tempo, permitindo identificar isolados que mantêm crescimento contínuo mesmo sob pressão química. Por outro lado, a menor associação da TCM com a AACPCM sugere que a taxa de crescimento pode refletir respostas fisiológicas pontuais, não necessariamente equivalentes ao crescimento acumulado. Portanto, a análise conjunta desses parâmetros é essencial para diferenciar isolados sensíveis daqueles com menor supressão micelial (LI et al., 2015; BI et al., 2022; HAMILTON et al., 2024).

Do ponto de vista do manejo da resistência, os resultados reforçam a necessidade de evitar o uso repetitivo de fungicidas com o mesmo modo de ação. O FRAC recomenda que moléculas com risco de resistência sejam utilizadas dentro de programas integrados, envolvendo rotação de mecanismos de ação, uso de misturas efetivas, respeito às doses recomendadas e redução da pressão de seleção. Dessa forma, o uso da mistura fluxapiraxade + piraclostrobina deve ser associado a outras estratégias de manejo, especialmente por envolver dois grupos de ação sítio-específicos, SDHI e QoI, ambos dependentes da preservação da sensibilidade populacional para manutenção da eficiência ao longo do tempo (FRAC, 2024a; FRAC, 2024b).

Nesse contexto, os bioinsumos surgem como ferramentas complementares importantes para reduzir a dependência exclusiva do controle químico. Agentes biológicos como *Trichoderma* spp. e *Bacillus* spp. podem atuar por diferentes mecanismos, incluindo competição por espaço e nutrientes, antibiose, micoparasitismo, produção de enzimas hidrolíticas e indução de resistência sistêmica na planta. A utilização desses microrganismos no manejo de doenças radiculares pode contribuir para redução da população de *Fusarium* spp. no solo e diminuir a

pressão seletiva exercida pelos fungicidas convencionais (BETTIOL; MORANDI, 2009; KÖHL; KOLNAAR; RAVENSBERG, 2019).

A integração entre fungicidas e bioinsumos, entretanto, deve ser planejada com cautela. A compatibilidade entre produtos químicos e agentes biológicos precisa ser avaliada, pois determinados ingredientes ativos podem reduzir a germinação, crescimento ou viabilidade dos microrganismos benéficos. Quando compatíveis, essas associações podem ampliar a eficiência do manejo, combinando a ação rápida dos fungicidas com os efeitos ecológicos e fisiológicos dos agentes biológicos na rizosfera. Assim, estudos de compatibilidade *in vitro* e em sementes são relevantes para definir combinações mais seguras e eficientes no manejo integrado da SDS (BETTIOL; MORANDI, 2009; LU et al., 2020).

Portanto, os resultados obtidos nesta dissertação não devem ser interpretados apenas como uma resposta pontual dos isolados à mistura fungicida, mas como indicativo da dinâmica de sensibilidade de uma população de *Fusarium spp.* A presença de isolados com maior EC_{50} , maior AACPCM e maior crescimento sob exposição ao fungicida evidencia a importância do monitoramento contínuo, da adoção de estratégias antirresistência e da integração entre controle químico, biológico, cultural e genético. Essa abordagem é essencial para preservar a eficiência de fluxaproxade + piraclostrobina e fortalecer o manejo sustentável da síndrome da morte súbita da soja (FRAC, 2024a; HAMILTON et al., 2024).

A Figura 15 destaca relações consistentes entre as variáveis de crescimento micelial dos isolados de *Fusarium spp.* submetidos à mistura fluxaproxade + piraclostrobina. No gráfico A, observa-se associação positiva moderada entre o diâmetro da colônia no 1º dia após a inoculação e a AACPCM ($R^2 = 0,62$), indicando que isolados com maior crescimento inicial tendem a apresentar maior crescimento acumulado ao longo do período experimental. Esse comportamento sugere que o vigor inicial do micélio contribui para o desempenho posterior, mesmo sob pressão do fungicida.

Essa relação torna-se ainda mais explícita no gráfico B, no qual o diâmetro da colônia no 7º dia apresenta forte correlação com a AACPCM ($R^2 = 0,94$), demonstrando que o crescimento final praticamente sintetiza o progresso micelial ao longo do tempo. Esse resultado confirma a AACPCM como um parâmetro integrador robusto e amplamente utilizado para representar a resposta global do patógeno em ensaios *in vitro*, conforme descrito em estudos recentes de sensibilidade a fungicidas

em *Fusarium* e outros fitopatógenos (LI et al., 2015; BI et al., 2022; HAMILTON et al., 2024).

Em contraste, o gráfico C revela relação fraca entre a TCM e a AACPCM ($R^2 = 0,40$), com maior dispersão dos dados, indicando que a taxa instantânea de crescimento não reflete necessariamente o crescimento acumulado. Esse padrão sugere ajustes fisiológicos temporários dos isolados frente ao estresse químico, nos quais aumentos pontuais na velocidade de expansão não se traduzem em maior colonização ao longo do tempo. Trabalhos recentes apontam que essa dissociação é comum em fungos submetidos a fungicidas de sítio específico, refletindo plasticidade metabólica e diferentes estratégias adaptativas (SANG et al., 2018; BREUNIG; CHILVERS, 2021).

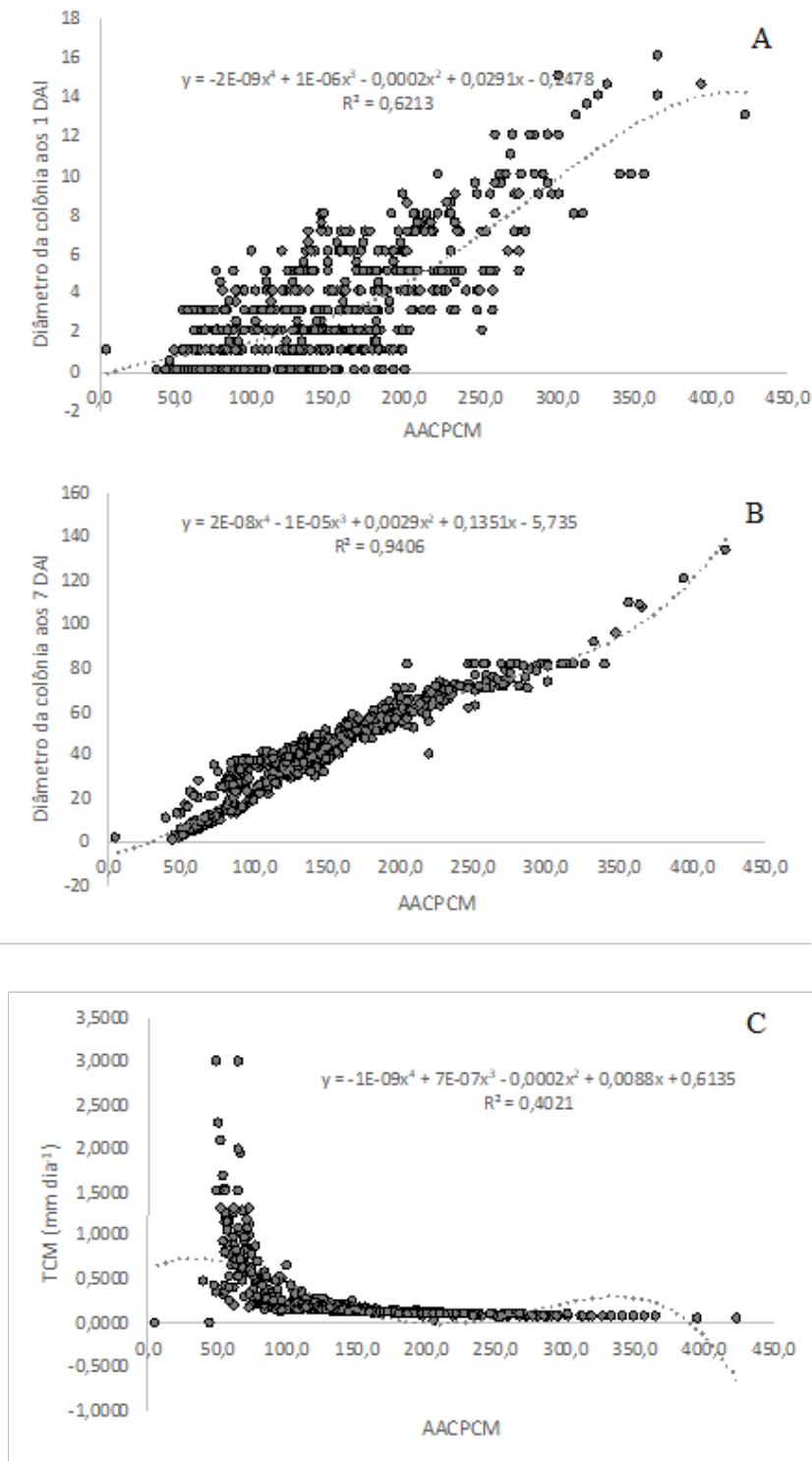


Figura 15 - Modelagem polinomial de quarto grau entre variáveis respostas. A. Relacionamento do diâmetro da colônia ao 1 dia após a inoculação e área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM), B. relacionamento do diâmetro da colônia ao sete dia após a inoculação e a AACPCM, C. relacionamento da taxa de crescimento micelial (TCM) com AACPCM.

Em conjunto, os resultados mostram que a AACPCM se correlaciona fortemente com o crescimento final da colônia, enquanto a TCM apresenta menor poder explicativo, reforçando que parâmetros integradores são mais adequados para

discriminar níveis de sensibilidade. Além disso, a ampla dispersão observada, especialmente nos baixos valores de AACPCM, evidencia elevada heterogeneidade fenotípica entre os isolados, característica típica de populações de *Fusarium spp.* expostas a fungicidas SDHI e QoI.

Do ponto de vista fitossanitário, essas relações confirmam que isolados com maior crescimento inicial tendem a manter maior crescimento acumulado, favorecendo sua persistência sob pressão química. Esse cenário reforça a necessidade de monitoramento contínuo da sensibilidade e adoção de estratégias anti-resistência, incluindo rotação de mecanismos de ação e manejo integrado, para reduzir a seleção de fenótipos menos sensíveis e preservar a eficácia da mistura fluxapiraxade + piraclostrobina (FRAC, 2024; HAMILTON et al., 2024).

Os resultados obtidos neste estudo demonstram elevada heterogeneidade fenotípica entre os isolados de *Fusarium spp.* frente à mistura fluxapiraxade + piraclostrobina, evidenciada pelas diferenças no crescimento micelial, AACPCM, TCM e EC₅₀. Embora o fungicida seja aplicado principalmente visando o manejo de doenças da parte aérea da soja, parte da calda pulverizada pode atingir o solo durante as aplicações, especialmente em sistemas de pulverização aérea, nos quais fatores como deriva, arquitetura da cultura e escoamento foliar favorecem a deposição indireta de fungicidas na superfície do solo. Nesse contexto, populações saprofíticas de *Fusarium spp.* presentes na rizosfera e em restos culturais podem ser continuamente expostas a concentrações subletais dos ingredientes ativos, criando um ambiente favorável à seleção gradual de isolados menos sensíveis. Esse processo pode explicar, ao menos parcialmente, a coexistência observada entre isolados altamente sensíveis e outros com elevada capacidade de crescimento sob exposição à mistura fungicida (FRAC, 2024a; HAMILTON et al., 2024).

Do ponto de vista ecológico e fisiológico, a exposição indireta e repetitiva de fungos habitantes do solo a fungicidas sítio-específicos pode induzir alterações adaptativas relacionadas à respiração mitocondrial, metabolismo energético e mecanismos de detoxificação celular. Fungos em condição saprofítica apresentam elevada plasticidade metabólica, podendo sobreviver sob diferentes fontes de carbono e condições ambientais. Assim, exposições frequentes a resíduos de SDHI e QoI no ambiente edáfico podem atuar como pressão seletiva sobre populações de *Fusarium spp.*, favorecendo indivíduos capazes de tolerar concentrações reduzidas dos fungicidas. Essa hipótese é compatível com os resultados observados neste trabalho,

nos quais determinados isolados, como IF 285, IF 313 e IF 319, apresentaram elevados valores de EC_{50} e crescimento acumulado expressivo mesmo sob exposição contínua ao fungicida. Trabalhos recentes apontam que populações de fungos do solo submetidas a exposições sucessivas a fungicidas podem sofrer deslocamentos graduais de sensibilidade, mesmo na ausência de aplicações diretamente direcionadas ao patógeno-alvo (SANG et al., 2018; ZHANG et al., 2024).

Além da possível seleção de fenótipos menos sensíveis, a deposição indireta de fungicidas no solo pode interferir na microbiota edáfica e nas interações ecológicas da rizosfera, afetando microrganismos antagonistas naturalmente associados ao controle biológico de *Fusarium* spp. A redução da diversidade microbiana causada pelo uso intensivo de fungicidas pode favorecer a permanência e adaptação de isolados mais tolerantes no ambiente, aumentando o risco de sobrevivência e persistência do patógeno entre safras. Nesse cenário, estratégias integradas envolvendo rotação de mecanismos de ação, posicionamento adequado das pulverizações, redução de aplicações desnecessárias e uso de bioinsumos tornam-se fundamentais para diminuir a pressão seletiva exercida sobre as populações saprofitas de *Fusarium* spp. Dessa forma, os resultados deste estudo sugerem que o monitoramento da sensibilidade deve considerar não apenas o efeito direto do fungicida sobre o patógeno durante o controle da doença, mas também os possíveis impactos indiretos das pulverizações agrícolas sobre a dinâmica populacional de fungos habitantes do solo (BETTIOL; MORANDI, 2009; FRAC, 2024a; LU et al., 2020).

De forma integrada, os resultados demonstram elevada heterogeneidade fenotípica entre os isolados de *Fusarium* spp., evidenciada pelas diferenças no crescimento micelial, AACPCM, TCM e valores de EC_{50} frente à mistura fluxapiraxade + piraclostrobina. Embora a maioria dos isolados tenha sido classificada como sensível, a detecção de subpopulações com menor sensibilidade indica um cenário de alerta precoce para possível deslocamento de sensibilidade. As relações observadas entre crescimento inicial, crescimento acumulado e resposta às dosagens reforçam que parâmetros integradores, como a AACPCM, são mais representativos do comportamento do patógeno sob pressão química. Em conjunto, esses achados confirmam que o fungicida ainda apresenta boa eficácia média, porém evidenciam a necessidade de monitoramento contínuo e adoção imediata de estratégias de manejo integrado para preservar sua eficiência ao longo do tempo.

Diante desse conjunto de evidências, torna-se possível avançar para as conclusões do estudo, sintetizando os principais resultados obtidos quanto à variabilidade de sensibilidade dos isolados, à resposta dose-dependente ao fungicida e às implicações práticas para o manejo da síndrome da morte súbita da soja. O capítulo seguinte apresenta essas considerações finais, destacando as contribuições do trabalho e suas aplicações no contexto fitossanitário e produtivo.

5. CONCLUSÕES

Os isolados de *Fusarium* spp. causadores da síndrome da morte súbita da soja apresentaram elevada variabilidade de sensibilidade à mistura fluxapiraxade + piraclostrobina, evidenciada pelas diferenças no crescimento micelial, AACPCM, TCM e valores de EC_{50} . Os isolados IF 294, IF 086 e IF 326 destacaram-se como os mais sensíveis ao fungicida, enquanto IF 313, IF 319 e IF 285 apresentaram menor sensibilidade, indicando heterogeneidade fenotípica entre os isolados avaliados.

A mistura fungicida promoveu redução dose-dependente do crescimento micelial dos isolados, com maior supressão nas doses intermediárias e elevadas. Entretanto, observou-se tendência de estabilização do efeito nas maiores concentrações, sugerindo retorno decrescente do incremento de dose.

A AACPCM foi o parâmetro mais representativo para avaliação da sensibilidade dos isolados, apresentando maior robustez na discriminação dos grupos de reação e forte associação com o crescimento final das colônias, enquanto a TCM apresentou menor capacidade explicativa.

Os resultados permitiram quantificar a EC_{50} dos isolados, classificar os grupos de sensibilidade e confirmar a existência de variabilidade populacional entre isolados de diferentes origens. Embora a maioria dos isolados tenha sido classificada como sensível, a presença de subpopulações menos sensíveis reforça a necessidade de monitoramento contínuo e adoção de estratégias de manejo integrado, visando preservar a eficiência de fluxapiraxade + piraclostrobina no manejo da síndrome da morte súbita da soja.

REFERÊNCIAS

- ABBOTT, W. A. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, v. 18, n. 3, p. 265-267, 1925.
- ALMEIDA, R. E. M. et al. Epidemiology and management of soybean sudden death syndrome: current advances and challenges. *Plant Pathology*, Oxford, v. 73, n. 2, p. 245–258, 2024.
- AOKI, T.; O'DONNELL, K.; HOMMA, Y.; LATTANZI, A. R. Sudden-death syndrome of soybean is caused by two morphologically and phylogenetically distinct species within the *Fusarium solani* species complex—*F. virguliforme* in North America and *F. tucumaniae* in South America. *Mycologia*, Lawrence, v. 95, n. 4, p. 660–684, 2003.
- AOKI, T.; O'DONNELL, K.; SCANDIANI, M. M. Sudden death syndrome of soybean in South America is caused by four species of *Fusarium*: *F. brasiliense*, *F. crassistipitatum*, *F. tucumaniae*, and *F. virguliforme*. *Mycoscience*, Tokyo, v. 53, p. 243–251, 2012.
- BALARDIN, C. R. et al. Possibilidade de transmissão de *Fusarium solani* f. sp. *glycines*, agente causal da podridão vermelha da raiz da soja, através da semente. *Fitopatologia Brasileira*, v. 30, n. 6, p. 574–581, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s0100-41582005000600002>>. Acesso em: 15 dez. 2023.
- BERGAMIN FILHO, A. et al. Epidemiologia de doenças de plantas. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. (org.). *Manual de fitopatologia: princípios e conceitos*. Ouro Fino, MG: Agronômica, 2018. p. 71–83.
- BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. *Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009.
- BEZERRA, A. R. G.; SEDIYAMA, T.; BORÉM, A.; SOARES, M. M. Importância econômica. In: SILVA, F.; BORÉM, A.; SEDIYAMA, T.; CÂMARA, G. *Soja do plantio a colheita*. 2ª ed. São Paulo: Editora Oficina de Texto, 2022. Cap. 1.
- BEZERRA, J. R. M. et al. Cadeia produtiva da soja: aplicações industriais e perspectivas de mercado. *Revista Brasileira de Agroindústria*, Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 301–315, 2022.
- BI, Y.; CHEN, L.; ZHANG, X.; LIU, Y. Sensitivity of *Fusarium* spp. to SDHI fungicides and characterization of growth inhibition patterns in vitro. *Plant Disease*, St. Paul, v. 106, n. 8, p. 2145–2154, 2022.
- BROWN, A. R. et al. Fungicide resistance risk in soilborne pathogens: implications for SDHI and QoI compounds. *Pest Management Science*, Oxford, v. 79, p. 412–421, 2023.
- BROWN, M. T. et al. Influence of integrated management strategies on soybean sudden death syndrome (SDS) root infection, foliar symptoms, yield and net returns.

Pathogens, v. 12, p. 1–11, 2023. Disponível em:

<<https://doi.org/10.3390/pathogens12070913>>. Acesso em: 15 dez. 2023.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). *Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2025/26 – 4º levantamento*. Brasília: CONAB, 2026.

CRESWELL, J. W. Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

CUNHA, J. P. A. R.; RUAS, R. A. A.; SILVA JÚNIOR, J. L. Tecnologia de aplicação de fungicidas na cultura da soja. Uberlândia: Editora UFU, 2020.

DE PAULA, S. et al. Potential of resistance inducers for soybean rust management. *Canadian Journal of Plant Pathology*, v. 43, n. 2, p. 298–307, 2021.

DE ROSSI, R. L.; REIS, E. M.; CARMONA, M.; FORCELINI, C. A. Curves of mycelial growth and area under disease progress curve as tools to evaluate fungicide sensitivity in phytopathogenic fungi. *Summa Phytopathologica, Botucatu*, v. 41, n. 2, p. 123–129, 2015.

FONSECA, I. C. B. et al. Expansão da sojicultura no Brasil e impactos tecnológicos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 56, e02411, 2021.

FRAC – FUNGICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE. FRAC Code List 2024: fungicides sorted by mode of action. Brussels: FRAC, 2024. Disponível em: <https://www.frac.info>. Acesso em: 2026.

FRAC – FUNGICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE. FRAC Recommendations for resistance management 2025. Brussels: FRAC, 2025. Disponível em: <https://www.frac.info>. Acesso em: 2026.

FRAC – FUNGICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE. Minutes of the 2024 QoI Working Group Meeting with Recommendations for 2024. Brussels: FRAC, 2024. Disponível em: <<https://www.frac.info>>. Acesso em: 06 fev. 2026

FRAC. Manejo de resistência a fungicidas. Comitê de ação a resistência a fungicidas FRAC-BRASIL. Disponível em: <<https://www.frac-br.org/informa%C3%A7oes-basicas>> Acesso 19 dez 2023.

GARCIA, R. A. et al. Integrated disease management strategies to mitigate fungicide resistance in crop systems. *Crop Protection*, Amsterdam, v. 176, 106319, 2024.

GODOY, C. V. et al. Doenças da soja. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. (org.). Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas. 5. ed. Ouro Fino: Agronômica Ceres, 2016. p. 657–706.

GODOY, C. V. et al. Doenças da soja. In: KIMATI, H. et al. (org.). Manual de fitopatologia. v. 2: Doenças das plantas cultivadas. 5. ed. São Paulo: Ceres, 2016. cap. 67.

GODOY, C. V. et al. Eficiência de fungicidas para o controle de mancha-alvo, *Corynespora cassiicola*, na cultura da soja, na safra 2022/2023: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Londrina: Embrapa Soja, 2023. (Circular Técnica, n. 194).

GODOY, C. V. et al. Ferrugem asiática da soja: bases para o manejo da doença e estratégias antirresistência. Londrina: Embrapa Soja, 2020. 39 p. (Documentos, 428).

HAMILTON, J. P.; MUELLER, D. S.; BRADLEY, C. A.; WISE, K. A. Monitoring fungicide sensitivity in *Fusarium virguliforme* populations associated with soybean sudden death syndrome. *Plant Disease*, St. Paul, v. 108, n. 1, p. 95–104, 2024. DOI: 10.1094/PDIS-11-23-2465-RE.

HARMAN, G. E.; HOWELL, C. R.; VITERBO, A.; CHET, I.; LORITO, M. *Trichoderma* species: opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, London, v. 2, n. 1, p. 43–56, 2004.

HARTMAN, G. L.; RUPE, J. C.; SIKORA, E. J.; DOMIER, L. L.; DAVIS, J. A.; STEFFEY, K. L. *Compendium of soybean diseases and pests*. 5. ed. St. Paul: APS Press, 2015.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiros. Londrina: Embrapa Soja, 2014. 70 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Levantamento sistemático da produção agrícola – março de 2026. Rio de Janeiro: IBGE, 2026.
JONES, R. K. et al. EC₅₀ determination and sensitivity profiling of *Fusarium* spp. to SDHI fungicides. *Plant Disease*, St. Paul, v. 107, p. 1452–1461, 2023.

KANDEL, Y. R. et al. Benefits and profitability of fluopyram-amended seed treatments for suppressing sudden death syndrome and protecting soybean yield: a meta-analysis. *Plant Disease*, v. 102, n. 6, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1094/PDIS-10-17-1540-RE>>. Acesso em: 15 dez. 2023.

KANDEL, Y. R. et al. Impact of fluopyram fungicide and preemergence herbicides on soybean injury, population, sudden death syndrome, and yield. *Crop Protection*, v. 106, p. 103–109, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.12.009>>. Acesso em: 15 dez. 2023.

KANDEL, Y. R.; MUELLER, D. S.; BRADLEY, C. A.; WISE, K. A. Integrated management of soybean sudden death syndrome: current strategies and future directions. *Crop Protection*, Amsterdam, v. 89, p. 40–48, 2016.

KÖHL, J.; KOLNAAR, R.; RAVENSBERG, W. J. *Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases: relevance beyond efficacy*. *Frontiers in Plant Science*, Lausanne, v. 10, p. 845, 2019.

LANDGRAF, L. Associar fungicidas e estratégias de manejo é fundamental para o controle da ferrugem da soja. Embrapa Soja, 2023. Disponível em:

<<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/81773811/associar-fungicidas-e-estrategias-de-manejo-e-fundamental-para-o-controle-da-ferrugem-da-soja>>. Acesso em: 19 dez. 2023.

LEANDRO, L. F. S. et al. Cropping system diversification reduces severity and incidence of soybean sudden death syndrome caused by *Fusarium virguliforme*. *Plant Disease*, v. 102, n. 9, p. 1748–1758, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1094/pdis-11-16-1660-re>>. Acesso em: 15 dez. 2023.

LEE, J. H. et al. Molecular characterization and fungicide sensitivity of *Fusarium* isolates associated with soybean root diseases. *European Journal of Plant Pathology*, Dordrecht, v. 168, p. 215–229, 2024.

LI, H.; ZHU, X.; ZHANG, Y.; ZHOU, M. Evaluation of fungicide sensitivity in *Fusarium* spp. based on mycelial growth inhibition and EC₅₀ determination. *Plant Disease*, St. Paul, v. 99, n. 9, p. 1267–1274, 2015.

LIU, Y. et al. Survival structures and mycotoxin production of *Fusarium* spp. in agricultural soils. *Frontiers in Microbiology*, Lausanne, v. 14, 1189023, 2023.

LU, X.; ZHOU, D.; CHEN, X.; ZHANG, J.; HUANG, H.; WEI, L. *Integrated management of soilborne diseases in soybean using biological agents and fungicides*. *Biological Control*, Amsterdam, v. 147, p. 104263, 2020.

LU, Z. et al. Screening of antagonistic *Trichoderma* strains and their application for controlling stalk rot in maize. *Journal of Integrative Agriculture*, v. 19, p. 145–152, 2020.

LUO, Y. et al. Soybean yield loss to sudden death syndrome in relation to symptom expression and root colonization by *Fusarium solani* f. sp. *glycines*. *Phytopathology*, v. 84, n. 8, p. 914–920, 2000.

MILANESI, P. M. Podridão vermelha da raiz e síndrome da morte súbita da soja. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2013.

MUELLER, D. S. et al. Evaluation of Glycine max germ plasm for resistance to *Fusarium solani* f. sp. *glycines*. *Plant Disease*, v. 86, n. 7, p. 741–746, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1094/pdis.2002.86.7.741>>. Acesso em: 15 dez. 2023.

MURITHI, H. M. et al. Diversity and pathogenicity of *Fusarium* species associated with soybean sudden death syndrome. *Plant Pathology*, Oxford, v. 70, p. 1783–1796, 2021.

NANUCI, R. L. Aplicação de fungicidas multissítios em mistura e de forma isolada no manejo da resistência de *Phakopsora pachyrhizi* na soja. 2019. 34 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Instituto Federal Goiano, Urutaí, GO, 2019.

NASCIMENTO, A. R. et al. Resistência de fitopatógenos a fungicidas: causas e estratégias de manejo. *Summa Phytopathologica*, Botucatu, v. 41, p. 77–85, 2015.

PAIVA, F. A. et al. Origem e evolução da cultura da soja. *Revista Verde*, Mossoró, v. 4, n. 3, p. 1–10, 2009.

PASCHOLATI, S. F.; MELO, T. A.; DALIO, R. J. D. Indução de resistência contra patógenos: definição e perspectivas de uso. *Visão Agrícola*, n. 13, p. 110-112, 2015.

PEREIRA, L. A. et al. Economic impact of soybean sudden death syndrome in Brazilian production systems. *Agricultural Systems*, Amsterdam, v. 226, 103553, 2024.

REIS, E. M.; CASA, R. T.; MEDEIROS, C. A. *Doenças da soja: etiologia, epidemiologia e manejo integrado*. Passo Fundo: Berthier, 2010.

REIS, E. M.; REIS, A. C.; ZANATTA, M. *Manejo de doenças da soja*. Passo Fundo: Berthier, 2018.

SANDOVAL-DENIS, M.; LOMBARD, L.; CROUS, P. W. Back to the roots: a reappraisal of *Neocosmospora*. *Studies in Mycology*, Amsterdam, v. 92, p. 165–200, 2019.

SANG, H. et al. *Fluopyram sensitivity and functional characterization of mutations in Fusarium species associated with soybean sudden death syndrome*. *Frontiers in Microbiology*, v. 9, 2018.

SANTOS, M. L. et al. Industrial applications of soybean and by-products: trends and perspectives. *Journal of Agribusiness Development*, London, v. 9, p. 55–68, 2023.

SEIXAS, C. D. S. et al. *Doenças da soja*. Embrapa Soja, 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/producao/doencas-da-soja>>. Acesso em: 13 dez. 2023.

SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow mildewing resistance in Knox wheat. *Phytopathology*, v. 67, p. 1051-1056, 1977.

SILVA, S. Z. Modelo determinístico e análise de incerteza para predição do tempo de resistência de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas inibidores de succinato desidrogenase (SDHI) na cultura da soja. 2017. 80 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba, 2017.

SMITH, D. L. et al. Resistance management for site-specific fungicides in modern agriculture. *Annual Review of Phytopathology*, Palo Alto, v. 60, p. 325–348, 2022.

SOARES, R. M. et al. *Mancha parda*. Embrapa Soja, 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/producao/doencas-da-soja/doencas-causadas-por-fungos/mancha-parda>>. Acesso em: 13 dez. 2023.

XING, L.; WESTPHAL, A. Interaction of *Fusarium solani* f. sp. *glycines* and *Heterodera glycines* in sudden death syndrome of soybean. *Phytopathology*, v. 96, n. 7, p. 763–770, 2006

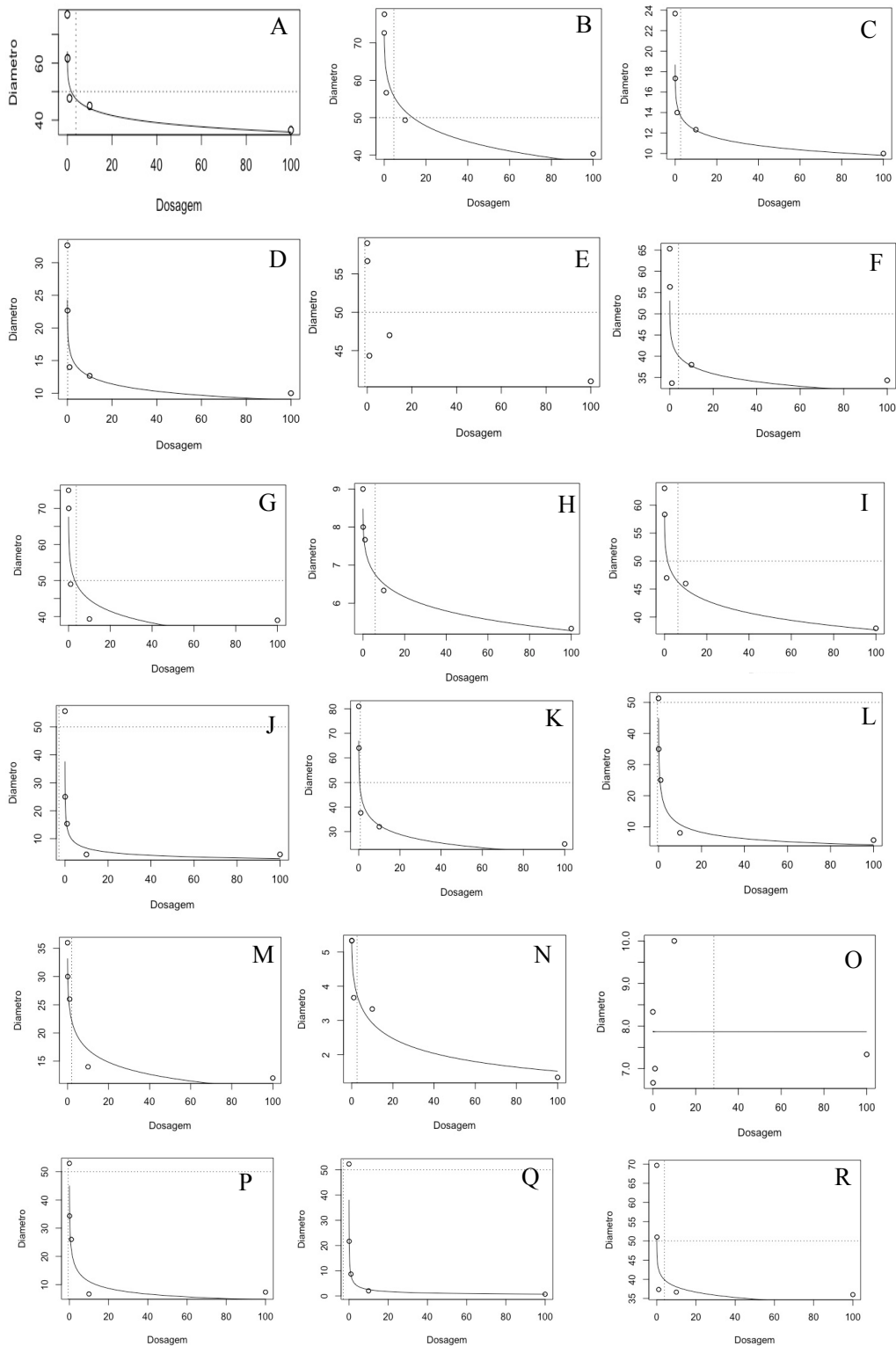
XU, X. et al. Environmental drivers of soybean sudden death syndrome development. *Plant Disease*, St. Paul, v. 106, p. 987–995, 2022.

ZHANG, H.; LI, M.; WANG, J.; CHEN, Q. Variability in sensitivity of *Fusarium* species to pyraclostrobin and implications for QoI resistance management. *Journal of Fungi*, Basel, v. 10, n. 2, p. 134, 2024.

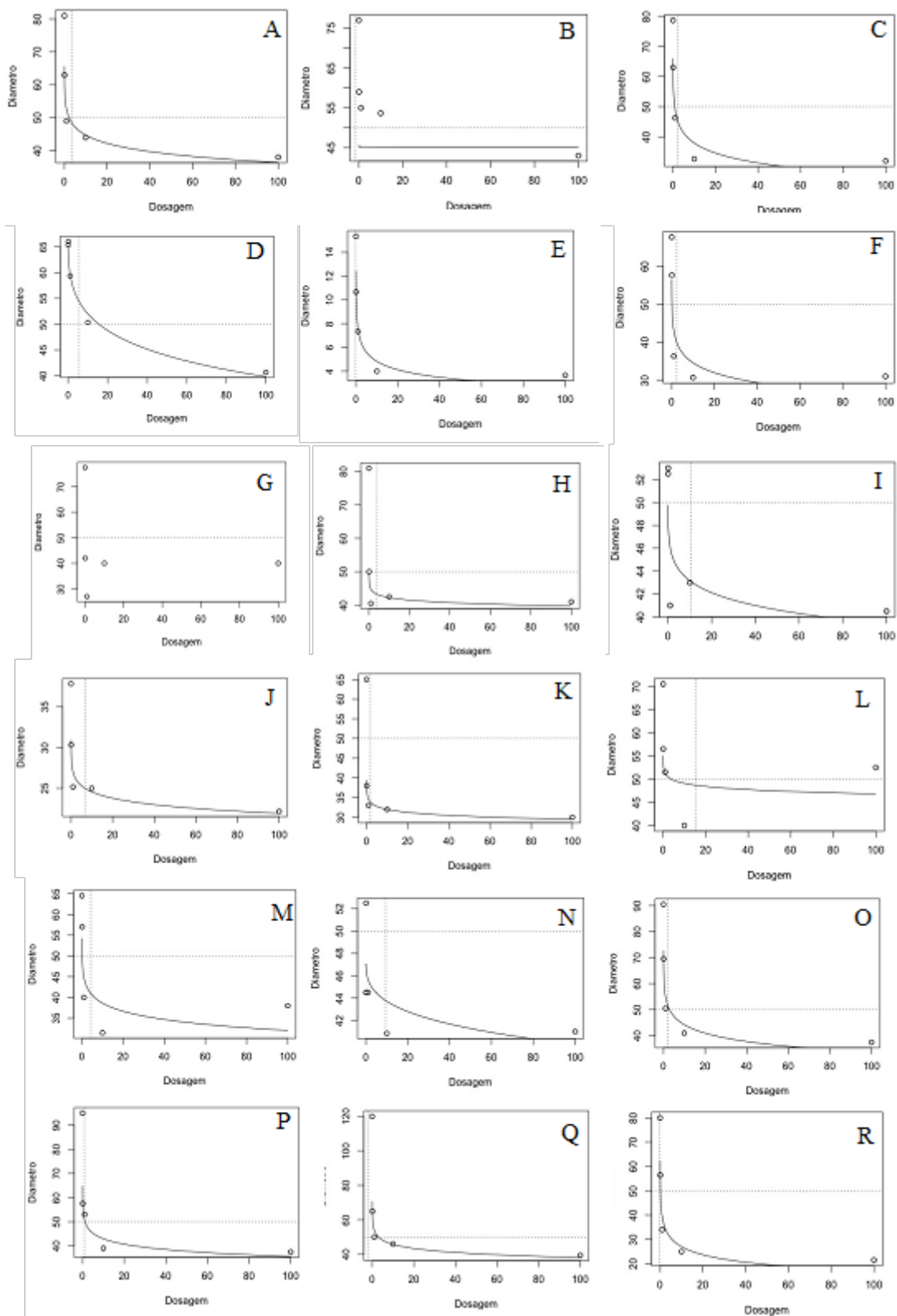
ZHANG, Y.; LIU, X.; WANG, J.; CHEN, F. Potential resistance of *Fusarium* spp. to pyraclostrobin and implications for fungicide resistance management. *Crop Protection*, Guildford, v. 178, p. 106567, 2024.

ZHANG, Y. et al. PCR-based identification and sensitivity assessment of *Fusarium* isolates from soybean fields. *Journal of Fungi*, Basel, v. 9, 341, 2023.

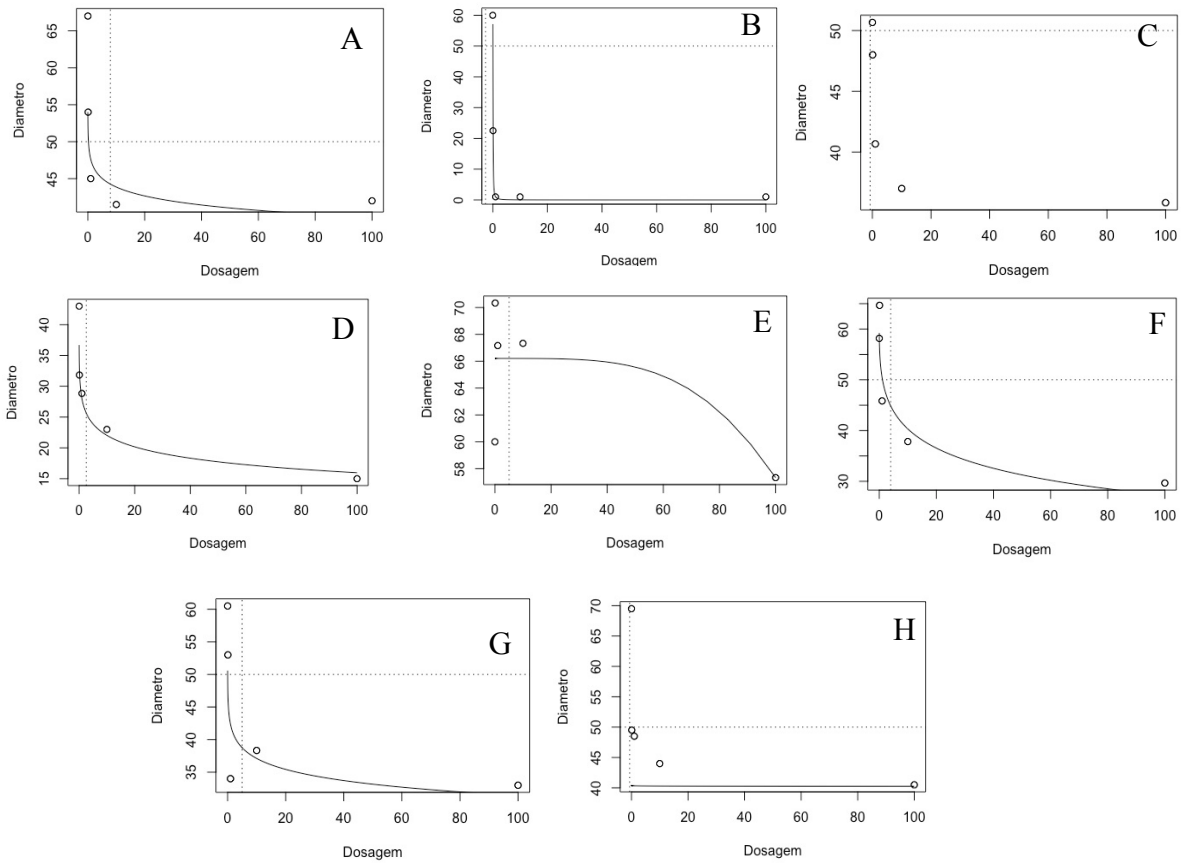
ANEXOS



Anexo 1. Regressões dos isolados de *Fusarium* spp. obtidos durante o cálculo do EC₅₀ [1] - A. IF 004, B. IF 48, C. IF 68, D. IF 86, E. IF 107, F. IF 234, G. IF 265, H. IF 277, I. IF 278, J. IF 279, K. IF 280, L. IF 282, M. IF 283, N. IF 284, O. IF 285, P. IF 286, Q. IF 287, R. IF 288.



Anexo 2. Curvas de regressão obtidas para cálculo do EC_{50} [2] - A. IF 289a, B. IF 289b, C. IF 290, D. IF 291, E. IF 294, F. IF 296, G. IF 313, H. IF 314, I. IF 315, J. IF 316, K. IF 318, L. IF 319, M. IF 321, N. IF 322, O. IF 323, P. IF 324, Q. IF 325, R. IF 326.



Anexo 3. Curvas de regressão dos isolados de *Fusarium* spp. obtidas para o cálculo do EC₅₀ [3] - A. IF 328, B. IF 330, C. IF 331, D. IF 332, E. IF 414, F. IF 415, G. IF 428, H. IF 432.