

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MARIA AUGUSTA MENDES GONÇALVES

**ISOLADOS DE *Trichoderma* spp. NO BIOCONTROLE DE FITOPATÓGENOS
HABITANTES DO SOLO, ESTABELECIMENTO INICIAL E NA INDUÇÃO DE
DEFESA DA SOJA**

DOIS VIZINHOS

2026

MARIA AUGUSTA MENDES GONÇALVES

**ISOLADOS DE *Trichoderma* spp. NO BIOCONTROLE DE FITOPATÓGENOS
HABITANTES DO SOLO, ESTABELECIMENTO INICIAL E NA INDUÇÃO DE
DEFESA DA SOJA**

**Isolates of *Trichoderma* spp. in the Biocontrol of Soilborne Phytopathogens,
Initial Establishment, and in Inducing Defense in Soybean**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Agronomia, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Lucas da Silva Domingues.

Coorientador(a): Maira Cristina Schuster Russiano.

DOIS VIZINHOS

2026



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

MARIA AUGUSTA MENDES GONÇALVES

**ISOLADOS DE *Trichoderma* spp. NO BIOCONTROLE DE FITOPATÓGENOS
HABITANTES DO SOLO, ESTABELECIMENTO INICIAL E NA INDUÇÃO DE
DEFESA DA SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Agronomia, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 24/junho/2026

Lucas da Silva Domingues (Orientador)
Doutor em Agronomia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Dois Vizinhos

Maira Cristina Schuster Russiano (Coorientadora)
Doutora em Agronomia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Dois Vizinhos

Américo Wagner Júnior
Doutor em Fitotecnia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Dois Vizinhos

Camila Natacha Salvadori
Mestranda em Agronomia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Pato Branco

DOIS VIZINHOS

2026

Dedico este trabalho a Deus, que sempre foi minha
fortaleza e guiou cada passo desta caminhada e aos
meus pais. Que antes do curso de Agronomia me
ensinaram que tudo aquilo que semeamos, um dia
colhemos.

Está colheita também é de vocês.

AGRADECIMENTOS

A Deus, minha gratidão por ser meu guia, sustento e força, como está escrito em Isaías 41,10, “Por isso não tema, pois estou com você; não tenha medo, pois sou o seu Deus. Eu o fortalecerei e o ajudarei.” À minha mãezinha do céu, Nossa Senhora Aparecida, por todas as bênçãos, intercessão e cuidado.

Agradeço à minha mãe Gabriela, pela dedicação, esforço e amor, e ao meu pai Cezar (in memoriam), cuja ausência física, nunca diminuiu sua presença em minha vida. Onde sempre acreditaram em mim, e não mediram esforços, para eu chegar até aqui, agradeço por tudo que fizeram e fazem. As minhas irmãs, Maria Antonia e Maria Gabriela por estarem sempre ao meu lado. Aos meus avôs, Nelson e Eidy, Luiz e Aparecida, pelas orações e todo apoio. A toda a minha família, que, de diferentes maneiras, contribuíram. Ao meu companheiro de vida, João Lucas, por ser meu porto seguro, oferecendo consolo, incentivo e carinho durante toda essa jornada.

Ao professor Lucas Domingues, meu orientador, por todos os valiosos ensinamentos, pela confiança e apoio durante todos esses anos de graduação, principalmente pela forma tranquila e acolhedora, que fizeram total diferença. Ao grupo de pesquisa PHAGEM, pelos anos de parceria e aprendizado. À minha coorientadora, Maira Schuster, pela orientação, dedicação e por todo o apoio durante esta etapa.

Às minhas amigas, Danieli, Karla, Samara, Larissa, Eliza, Vanessa, Ana Júlia e Maiara, pelos momentos compartilhados, companheirismo e por tornaram essa jornada mais leve e divertida. Aos meus amigos petianos do PET - Agricultura Familiar, pela amizade e especialmente ao tutor, Américo Wagner.

Por fim, a todas as pessoas que fizeram parte desta trajetória e deixaram um pouco de si em minha caminhada, o meu mais sincero muito obrigada.

"Consagre ao Senhor tudo o que você faz,
e os seus planos serão bem sucedidos"
(Provérbios - 16,3).

RESUMO

A soja é a principal cultura oleaginosa produzida e consumida em nível mundial. Dentre os fatores que afetam a sua produtividade, as doenças causadas por fitopatógenos habitantes do solo, *Fusarium tucumaniae*, *Macrophomina phaseolina*, *Rhizoctonia solani* e *Sclerotinia sclerotiorum*, possuem grande importância e difícil controle. Embora o manejo químico seja o método mais utilizado, este tem ocasionado preocupações ambientais e à saúde humana. Nesse contexto, o uso de fungos do gênero *Trichoderma* representa uma alternativa sustentável no controle dessas doenças, atuando por competição, antibiose e micoparasitismo, além de promover o crescimento vegetal e induzir mecanismos de defesa nas plantas. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de isolados de *Trichoderma* spp. no biocontrole de fitopatógenos habitantes do solo associados à cultura da soja, bem como no estabelecimento inicial e indução da resposta de defesa das plantas. O estudo foi conduzido no Laboratório de Controle Biológico II da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos. Foram utilizados seis isolados de *Trichoderma*: *T. breve* (TB01), *T. scalesiae* (TS02), *T. anaharzianum* (TA01), *T. zeharizianum* (TZ01) e dois isolados de *T. koningiopsis* (TK05 e TK06). Os isolados foram submetidos a ensaios de confronto direto contra os quatro fitopatógenos (*F. tucumaniae*, *M. phaseolina*, *R. solani* e *S. sclerotiorum*), com três repetições por tratamento. Paralelamente, realizou-se o tratamento de sementes de soja com os isolados (quatro repetições de 50 sementes) para avaliar o potencial germinativo e o índice de velocidade de emergência (IVE). No estágio fenológico V1, foi avaliado o comprimento da parte aérea e do sistema radicular, além do acúmulo de biomassa seca. Neste mesmo estágio, realizaram-se as análises de indução de resistência, quantificando proteínas totais, quitinase e β -1,3-glucanase. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado. Os dados foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk, ANOVA, e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, seguido de análise de regressão com o auxílio do software Rbio. Os resultados demonstraram que todos os isolados inibiram o crescimento micelial dos patógenos, com índices de 10 a 65% de inibição em relação à testemunha. Além disso, houve incremento no IVE, no comprimento da parte aérea e no acúmulo de massa seca. Os isolados também demonstraram potencial para a indução de mecanismos de resistência, promovendo aumentos de 15 a 33% no teor de proteínas totais, de 36 a 65% na atividade da quitinase e de 13 a 47% na atividade da β -1,3-glucanase, comparados à testemunha. Conclui-se que os isolados de *Trichoderma* spp. apresentam potencial para o manejo biológico de fitopatógenos habitantes do solo na cultura da soja, contribuindo para o crescimento vegetal e indução de mecanismos de defesa, constituindo uma alternativa promissora para sistemas agrícolas sustentáveis.

Palavras-chave: Controle biológico; Patógenos; Indução de resistência; Promoção de crescimento.

ABSTRACT

Soybean is the main oilseed crop produced and consumed worldwide. Among the factors that affect its productivity, diseases caused by soil-dwelling pathogens like *Fusarium tucumaniae*, *Macrophomina phaseolina*, *Rhizoctonia solani*, and *Sclerotinia sclerotiorum* are very important and hard to control. Although chemical management is the most commonly used method, it has raised environmental and human health concerns. In this context, the use of fungi from the *Trichoderma* genus represents a sustainable alternative for controlling these diseases, working through competition, antibiosis, and mycoparasitism, as well as promoting plant growth and inducing defense mechanisms in plants. This study aimed to evaluate the potential of *Trichoderma* spp. isolates in controlling soil-borne phytopathogens associated with soybean crops, as well as in the initial establishment and induction of plant defense responses. The study was conducted at the Biological Control II Laboratory of the Federal University of Technology – Paraná, Dois Vizinhos Campus. Six *Trichoderma* isolates were used: *T. breve* (TB01), *T. scalesiae* (TS02), *T. anaharzianum* (TA01), *T. zeloharzianum* (TZ01), and two isolates of *T. koningiopsis* (TK05 and TK06). The isolates were subjected to direct confrontation assays against the four phytopathogens (*F. tucumaniae*, *M. phaseolina*, *R. solani*, and *S. sclerotiorum*), with three repetitions per treatment. At the same time, soybean seeds were treated with the isolates (four repetitions of 50 seeds) to evaluate germination potential and the emergence speed index (ESI). At the V1 phenological stage, the length of the aerial part and the root system was assessed, along with dry biomass accumulation. In this same stage, resistance induction analyses were performed, quantifying total proteins, chitinase, and β -1,3-glucanase. The experimental design used was completely randomized. The data were subjected to Shapiro-Wilk normality tests, ANOVA, and the means were compared using the Scott-Knott test, followed by regression analysis with the help of Rbio software. The results showed that all the isolates inhibited the mycelial growth of the pathogens, with inhibition rates ranging from 10 to 65% compared to the control. Additionally, there was an increase in the NVI, in the shoot length, and in dry mass accumulation. The isolates also showed potential for inducing resistance mechanisms, promoting increases of 15 to 33% in total protein content, 36 to 65% in chitinase activity, and 13 to 47% in β -1,3-glucanase activity compared to the control. It is concluded that *Trichoderma* spp. isolates have potential for the biological management of soilborne pathogens in soybean crops, contributing to plant growth and the induction of defense mechanisms, making them a promising alternative for sustainable agricultural systems.

Keywords: Biological control; Pathogens; Induced resistance; Growth promotion.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estádios fenológicos da cultura da soja.....	18
Figura 2 - Placas de Petri® com 15 dias de crescimento contendo, a) <i>Fusarium tucumaniae</i> ; b) <i>Macrophomina phaseolina</i> ; c) <i>Rhizoctonia solani</i> ; d) <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> , respectivamente	32
Figura 3 - Procedimento de instalação do ensaio de pareamento de culturas, sendo: a) transferência de disco micelial de 7 mm de <i>M. phaseolina</i> para placa de Petri® contendo meio de cultura; b) marcação a 1 cm da borda da placa para posicionamento dos microrganismos no ensaio	33
Figura 4 - Cultura pareada em placa de Petri®, com disco micelial do fitopatógeno posicionado em uma extremidade e disco micelial de <i>Trichoderma</i> spp. na extremidade oposta	34
Figura 5 - Procedimentos de incubação e avaliação do crescimento micelial do patógeno, sendo: a) Placas de Petri® acomodadas em câmara BOD; b) Medição do diâmetro da colônia na placa.....	35
Figura 6 - Procedimento para obtenção e diluição da suspensão de conídios de <i>Trichoderma</i> spp.: a) Suspensão de conídios obtida a partir dos isolados; b) Realização de diluições seriadas da suspensão; c) Homogeneização da suspensão em agitador do tipo vortex.....	36
Figura 7 - Procedimento para contagem de conídios: a) Representação da câmara de Neubauer utilizada para a contagem de conídios de <i>Trichoderma</i> spp.; b) Conídios de <i>Trichoderma</i> spp. visualizados em um dos quadrantes da câmara de Neubauer	37
Figura 8 - Etapas do teste de germinação da soja: a) Tratamento das sementes com isolados de <i>Trichoderma</i> spp.; b) Distribuição das sementes no substrato para semeadura; c) Bandejas contendo os tratamentos durante a condução do experimento	38
Figura 9 – Avaliações de emergência e germinação de soja: a) Contagem de plântulas emergidas aos cinco dias após a semeadura; b) Contagem final para determinação do índice de velocidade de emergência e da germinação aos sete dias após a semeadura	39
Figura 10 – Plantas de soja em estágio fenológico V1 utilizadas para avaliação	40
Figura 11 – Avaliação do desenvolvimento inicial de plantas de soja: a) Determinação do comprimento da parte aérea; b) Determinação do comprimento da raiz; c) Amostras acondicionadas em estufa para secagem; d) Determinação da massa seca da parte aérea	40
Figura 12 - Efeito antagonista de isolados de <i>Trichoderma</i> spp. sobre o crescimento micelial de <i>F. tucumaniae</i> . a) Crescimento micelial do patógeno (cm) em pareamento de culturas com os isolados TB01, TS02, TA01, TZ01, TK06 e TK05 ao longo de 10 dias de avaliação; b) crescimento micelial de <i>F. tucumaniae</i> no décimo dia de avaliação	45
Figura 13 - Efeito antagonista de isolados de <i>Trichoderma</i> spp. sobre o crescimento micelial de <i>S. sclerotiorum</i> . a) Crescimento micelial do patógeno (cm) em pareamento de culturas com os isolados TB01, TS02, TA01, TZ01,	

TK06 e TK05 ao longo de 6 dias de avaliação; b) crescimento micelial de <i>S. sclerotiorum</i> no sexto dia de avaliação	46
Figura 14 - Efeito antagonista de isolados de <i>Trichoderma</i> spp. sobre o crescimento micelial de <i>M. phaseolina</i> . a) Crescimento micelial do patógeno (cm) em pareamento de culturas com os isolados TB01, TS02, TA01, TZ01, TK06 e TK05 ao longo de 2 dias de avaliação; b) crescimento micelial de <i>M. phaseolina</i> no segundo dia de avaliação	47
Figura 15 - Efeito antagonista de isolados de <i>Trichoderma</i> spp. sobre o crescimento micelial de <i>R. solani</i> . a) Crescimento micelial do patógeno (cm) em pareamento de culturas com os isolados TB01, TS02, TA01, TZ01, TK06 e TK05 ao longo de 7 dias de avaliação; b) crescimento micelial de <i>R. solani</i> no sétimo dia de avaliação	49
Figura 16 - Interação antagônica entre isolados de <i>Trichoderma</i> e os fitopatógenos <i>F. tucumaniae</i> , <i>M. phaseolina</i> , <i>R. solani</i> e <i>S. sclerotiorum</i> em ensaio de pareamento de culturas, evidenciando mecanismos de competição e micoparasitismo.....	50
Figura 17 - Mecanismos de ação de <i>Trichoderma</i> spp. no controle de fitopatógenos: a) Micoparasitismo; b) competição por espaço e nutrientes	51
Figura 18 - Resposta de defesa de plantas de soja inoculadas com isolados de <i>Trichoderma</i> spp. por meio da quantificação de proteínas totais	55
Figura 19 - Resposta de defesa de plantas de soja inoculadas com isolados de <i>Trichoderma</i> spp. por meio da quantificação de quitinase	56
Figura 20 - Resposta de defesa de plantas de soja inoculadas com isolados de <i>Trichoderma</i> spp. por meio da quantificação de β -1,3-glucanase.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Inibição do Crescimento Micelial (PIC%) de <i>F. tucumaniae</i> , <i>S. sclerotiorum</i> , <i>M. phaseolina</i> e <i>R. solani</i> em teste de pareamento de culturas com diferentes isolados de <i>Trichoderma</i>	43
Tabela 2 - Equação da reta e R2 ajustado referentes ao crescimento micelial de <i>F. tucumaniae</i>	45
Tabela 3 - Equação da reta e R2 ajustado referentes ao crescimento micelial de <i>S. sclerotiorum</i>	46
Tabela 4 - Equação da reta e R2 ajustado referentes ao crescimento micelial de <i>M. phaseolina</i>	48
Tabela 5 - Equação da reta e R2 ajustado referentes ao crescimento micelial de <i>R. solani</i>	49
Tabela 6 - Porcentagem de germinação (%) e índice de velocidade de emergência (IVE) de sementes de soja submetidas a tratamentos com diferentes isolados de <i>Trichoderma</i>	51
Tabela 7 - Efeito do tratamento de sementes com isolados de <i>Trichoderma</i> sobre o comprimento da parte aérea (COMP-PA), comprimento radicular (COMP-RZ), massa seca da parte aérea (MS-PA) e massa seca das raízes (MS-RZ) de plantas de soja no estágio fenológico V1.	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAB	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
spp.	Espécies
Et al.	Expressão latina "et alii", que significa "e outros"
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
V	Estádio vegetativo da soja
R	Estádio reprodutivo da soja
VE	Estádio vegetativo de emergência da soja
VC	Estádio vegetativo cotiledonar da soja
V1	Primeiro nó vegetativo (folhas unifoliadas completas)
V2	Segundo nó vegetativo (primeira folha trifoliada expandida)
V3	Terceiro nó vegetativo (segunda folha trifoliada expandida)
R1	Início do florescimento
R2	Florescimento pleno
R3	Início do desenvolvimento da vagem
R4	Vagem completamente desenvolvida
R5	Início do enchimento dos grãos
R6	Grão completamente desenvolvido
R7	Início da maturação
R8	Maturação plena
PVR	Podridão Vermelha da Raiz
SMS	Síndrome da Morte Súbita
ROS	Espécies Reativas de Oxigênio
NRP	Peptídeos Não Ribossômicos
PK	Policetídeos
6-PP	6-pentil- α -pirona
RSA	Resistência Sistêmica Adquirida
RSI	Resistência Sistêmica Induzida
AIA	Ácido indol-3-acético
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
PR	Paraná
DIC	Delineamento Inteiramente casualizado

BDA	Batata, Dextrose e Ágar
PVC	Policloreto de Vinila
BOD	Demanda Bioquímica de Oxigênio
PIC	Porcentagem de Inibição do Crescimento Micelial
PN	Plântulas normais
N	Número
IVE	Índice de Velocidade de Emergência
COMP-PA	Comprimento da Parte Aérea
COMP-RZ	Comprimento da Raiz
MS-PA	Massa seca da parte aérea
MS-RZ	Massa seca da raiz
PVPP	Polivinilpolipirrolidona
RPM	Rotações por Minuto
HCL	Ácido Clorídrico
ANOVA	Análise de variância estatística
ed.	Edição
DOI	Identificador de Objeto Digital
v.	Volume
p.	Página

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
Cm	Centímetro
°C	Grau Celsius
mm/dia	Milímetros por dia
mm	Milímetro
R\$	Real (moeda brasileira)
®	Marca registrada
mL	Mililitro
μL	Microlitro
mL ⁻¹	Por mililitro
g	Grama
β	Beta
× g	Força centrífuga relativa
mg	Miligrama
M	Molar
mM	Milimolar
nm	Nanômetro
pH	Potencial hidrogeniônico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo geral	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
3 REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1 A cultura da soja	16
3.1.1 Ecofisiologia e desenvolvimento da soja	17
3.2 Patógenos habitantes do solo de importância na cultura da soja.....	20
3.2.1 <i>Rhizoctonia solani</i> Kühn	20
3.2.2 <i>Macrophomina phaseolina</i>	21
3.2.3 <i>Fusarium</i> spp.....	22
3.2.4 <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	23
3.3 Controle biológico.....	25
3.4 Gênero <i>Trichoderma</i> spp.....	26
3.4.1 Mecanismos de ação do <i>Trichoderma</i>	27
3.4.1.1 <u>Competição</u>	27
3.4.1.2 <u>Antibiose</u>	28
3.4.1.3 <u>Micoparasitismo</u>	29
3.4.1.4 <u>Indução de resistência vegetal</u>	29
3.4.1.5 <u>Promoção de crescimento vegetal</u>	30
4 MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1 Confronto direto entre isolados de <i>Trichoderma</i> spp. e fitopatógenos da soja	32
4.2 Efeito de isolados de <i>Trichoderma</i> spp. sobre o desenvolvimento inicial das plantas de soja	35
4.2.1 Preparo da suspensão de conídios	35
4.2.2 Tratamento de sementes.....	37
4.2.3 Teste de Germinação e Índice de Velocidade de Emergência	37
4.2.4 Comprimento da parte aérea e da raiz	39
4.2.5 Acúmulo de massa seca	40
4.3 Resposta da defesa de plantas de soja inoculadas com isolados de <i>Trichoderma</i>.....	41
4.3.1 Preparo do extrato enzimático.....	41
4.3.2 Determinação das proteínas totais	41
4.3.3 Determinação da atividade de quitinase.....	41
4.3.4 Determinação da atividade de β -1,3-glucanase	42
4.3.5 Análises Estatísticas	42
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
5.1 Antagonismo por confronto direto	43

5.2 Efeito na germinação e índice de velocidade de emergência de soja	51
5.3 Efeito de isolados de <i>Trichoderma</i> no desenvolvimento inicial de plantas de soja	53
5.4 Resposta da defesa de plantas de soja inoculadas com isolados de <i>Trichoderma</i>	54
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
REFERÊNCIAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) representa, em nível mundial, a principal cultura oleaginosa produzida e consumida. Os grãos apresentam elevados teores de proteína e óleo, que podem ultrapassar 40% e 20%, respectivamente. Essa característica confere à cultura ampla versatilidade de utilização, sendo destinada tanto à alimentação animal, por meio da produção de farelo, quanto ao consumo humano, a partir da extração de seu óleo (Roessing et al., 2005; Sediya, 2009).

O Brasil é consolidado como maior produtor do grão, na safra 2024/2025, a cultura da soja apresentou área plantada de 48.434,4 mil hectares, com produção de 171.480,5 mil toneladas. A produção tem se mostrado ascendente, na safra 2025/2026, ainda em finalização, já alcançando 177.985,0 mil toneladas no mês de fevereiro de 2026 (CONAB, 2026).

Dentre os diversos fatores que afetam a produtividade da soja, as doenças possuem grande importância, especialmente as radiculares, causadas por fitopatógenos habitantes do solo. Essas doenças podem provocar severas perdas de produção, principalmente quando associadas aos fungos, os quais apresentam capacidade saprofítica, sobrevivendo em restos culturais incorporados ao solo e por meio de estruturas de resistência por longos ciclos produtivos (Correia e Michereff, 2018). Entre as doenças principais da cultura ocasionadas por estes fungos destacam-se a *Rhizoctonia solani* Kuühn, *Macrophomina phaseolina*, *Fusarium* spp. e *Sclerotinia sclerotiorum*.

A *Rhizoctonia solani* é conhecida por causar na fase de plântula estrangulamento da haste no nível do solo, resultando em murcha e tombamento. A planta em estádios mais desenvolvidos, ocorre sua morte em grupos no campo, a chamada reboleiras, (Henning et al., 2014).

A *Macrophomina phaseolina* é agente causal da doença conhecida como podridão de carvão da raiz. As raízes apresentam a epiderme solta, com coloração acinzentada, deixando à mostra pontuações negras, que são os microescleródios (Kaur, 2012).

As espécies de *Fusarium* são responsáveis pela podridão vermelha da raiz, doença que infecta o sistema radicular, reduzindo a massa das raízes e provocando coloração castanho-avermelhada a quase negra nos tecidos infectados (Nakajima et al., 1996).

A *Sclerotinia sclerotiorum*, forma manchas aquosas sobre os tecidos, evoluindo para coloração castanho-claro e com a formação de micélio branco e denso, característico do mofo-branco (Reis *et al.*, 2019).

Para o controle dessas doenças, o método mais utilizado é o manejo químico. No entanto, o uso intensivo e inadequado desses produtos tem ocasionado diversos problemas ambientais, como contaminação do solo e da água, intoxicação de agricultores, seleção de patógenos resistentes, eliminação de organismos benéficos e redução da biodiversidade. Além disso, pode provocar desequilíbrio biológico, alterando a ciclagem de nutrientes e da matéria orgânica (Morandi; Bettiol, 2009).

Diante desse cenário, o controle biológico tem se consolidado como uma ferramenta sustentável para o manejo de doenças, utilizando microrganismos benéficos capazes de atuar contra fitopatógenos. Os microrganismos mais utilizados pertencem ao gênero *Trichoderma*, compreendido por fungos de vida livre, habitantes do solo e do filo Ascomycota. Essas espécies apresentam ampla distribuição geográfica, rápido crescimento, elevada capacidade de colonização da rizosfera e de nichos no solo, além de habilidade em parasitar outros fungos e estabelecer interações benéficas com as plantas (Abreu; Pfenning, 2019).

Além disso, espécies de *Trichoderma* apresentam múltiplos mecanismos de ação contra microrganismos fitopatogênicos, incluindo micoparasitismo, produção de compostos antimicrobianos e enzimas hidrolíticas, competição por nutrientes e espaço, além da indução de resistência nas plantas. Esses fungos também promovem o crescimento vegetal, contribuindo para o aumento da produtividade, maior absorção de nutrientes e tolerância a estresses abióticos, como seca e salinidade (Suassuna; Silva; Bettiol, 2019).

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o potencial de isolados de *Trichoderma* spp. no biocontrole de fitopatógenos habitantes do solo associados à cultura da soja, bem como no estabelecimento inicial e indução da resposta de defesa das plantas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial de isolados de *Trichoderma* spp. no biocontrole de fitopatógenos habitantes do solo associados à cultura da soja, bem como no estabelecimento inicial e indução da resposta de defesa das plantas.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o potencial antagonista de isolados de *Trichoderma* spp. sobre os fitopatógenos: *Fusarium tucumaniae*, *Macrophomina phaseolina*, *Rhizoctonia solani* e *Sclerotinia sclerotiorum*;
- Avaliar o efeito do tratamento de sementes com isolados de *Trichoderma* spp. sobre a viabilidade e o vigor da soja;
- Verificar a influência dos isolados de *Trichoderma* spp. no desenvolvimento inicial das plantas de soja;
- Avaliar a resposta de defesa de plantas de soja inoculadas com isolados de *Trichoderma* spp. na indução de defesa vegetal, por meio da determinação de proteína e atividade enzimática;
- Identificar os isolados de *Trichoderma* spp. com maior potencial para o biocontrole de fitopatógenos habitantes do solo, promoção do crescimento vegetal e indução da resposta de defesa em plantas de soja.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A cultura da soja

A soja é cultivada para diversos fins, mas basicamente a produção de farelo destinado à alimentação animal e a de óleo vegetal são as principais utilizações. Este último é utilizado tanto na alimentação humana quanto na produção de biodiesel, onde este grão se destaca como a principal matéria-prima desse biocombustível, representando cerca de 70% da sua composição (Carvalho *et al.*, 2023).

Além disso, na indústria alimentícia, é utilizada na produção de massas, cereais, produtos cárneos e bebidas. Na indústria química, para fabricação de adesivos, fertilizantes, fibras, papel, emulsões para tintas, entre outras aplicações (Sanches; Michelon; Roessing, 2007).

A soja tem como centro de origem a região da China antiga, onde essa leguminosa, há mais de 5.000 anos, constituía a base alimentar das populações do continente asiático (Câmara, 2015). A sua importância tornou-se mais significativa no início do século XX, quando os Estados Unidos começaram a cultivá-la, impulsionando sua produção e o seu desenvolvimento, com o surgimento das primeiras cultivares comerciais (Sanches; Michelon; Roessing; 2007).

No território brasileiro, a soja foi introduzida em 1882 no Estado da Bahia, porém sem sucesso. A partir de 1908, foram obtidos melhores resultados por imigrantes japoneses, que em 1914 iniciaram a produção de grãos no Rio Grande do Sul. Em 1941, a cultura passou a constar pela primeira vez nas estatísticas oficiais desse Estado e, no mesmo ano, foi construída a primeira fábrica de processamento de soja (Nunes, 2024). No Estado do Paraná, em meados da década de 1960, a soja era cultivada entre as "ruas" dos cafezais, passando adquirir maior importância com a crise da economia cafeeira (Szymanek; Istake; 2018).

À medida que se obtinham excelentes resultados na região Sul do Brasil com seu cultivo, as pesquisas foram sendo intensificadas e a cultura se expandindo, o qual instituições como a Embrapa foram fundamentais para esse avanço. Diante de sua versatilidade e da existência de cultivares adaptadas às diferentes realidades produtivas, atualmente ocorre a presença da cultura em praticamente todo o território nacional, desde as altas latitudes gaúchas até as baixas latitudes equatoriais tropicais (Câmara, 2015).

O Brasil se consolidou como o maior produtor mundial de soja, sendo responsável por mais de 37% da produção global. Em 2024, a produção mundial do cultivo atingiu 397.671 milhões de toneladas, onde é concentrada em três principais produtores, Brasil, Estados Unidos e Argentina que, juntos, respondem por mais de 75% da produção total (FAO, 2026).

A soja teve impacto marcante na história do agronegócio brasileiro, que pode ser dividida em duas fases, antes de 1960 e após a sua consolidação. Em cerca de seis décadas, a produção de soja cresceu aproximadamente 400 vezes, impulsionando muitas transformações, nas quais o país passou de uma agricultura de subsistência para o desenvolvimento da agricultura empresarial, além de promover a mecanização das lavouras, expansão da fronteira agrícola e a inserção do Brasil no comércio internacional (Gazzoni; Dall'Agnol, 2018).

3.1.1 Ecofisiologia e desenvolvimento da soja

A soja (*Glycine max* (L) Merrill), é uma planta anual ereta e de reprodução autógama, da família das leguminosas (Fabaceae). O seu ciclo pode variar de 75 a 200 dias e à altura de 30 a 200 cm. Apresenta caule herbáceo, pubescente e ramificado, com o hábito de crescimento classificado, por determinado, semi determinado ou indeterminado e seu desenvolvimento é iniciado logo após a germinação, a partir do eixo embrionário (Müller, 1981).

O seu sistema radicular é caracterizado por uma raiz principal e por raízes secundárias. Nas raízes da soja formam-se nódulos, que são resultados de uma relação de simbiose entre a planta com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*. Essas bactérias fixam nitrogênio atmosférico, transformando-o em nitrato, ou seja, uma forma assimilável pela soja, e em troca, a mesma fornece carboidratos necessários para as bactérias (Mascarenhas *et al.*, 2005).

O fruto da soja é do tipo legume, popularmente conhecido como vagem, cuja coloração pode variar de cinza, amarelo-palha ou preta. Cada vagem pode conter de 1 a 5 grãos, sendo mais comum de 2 a 3 nas cultivares comerciais e em uma única planta a produtividade pode alcançar cerca de 400 grãos (Müller, 1981).

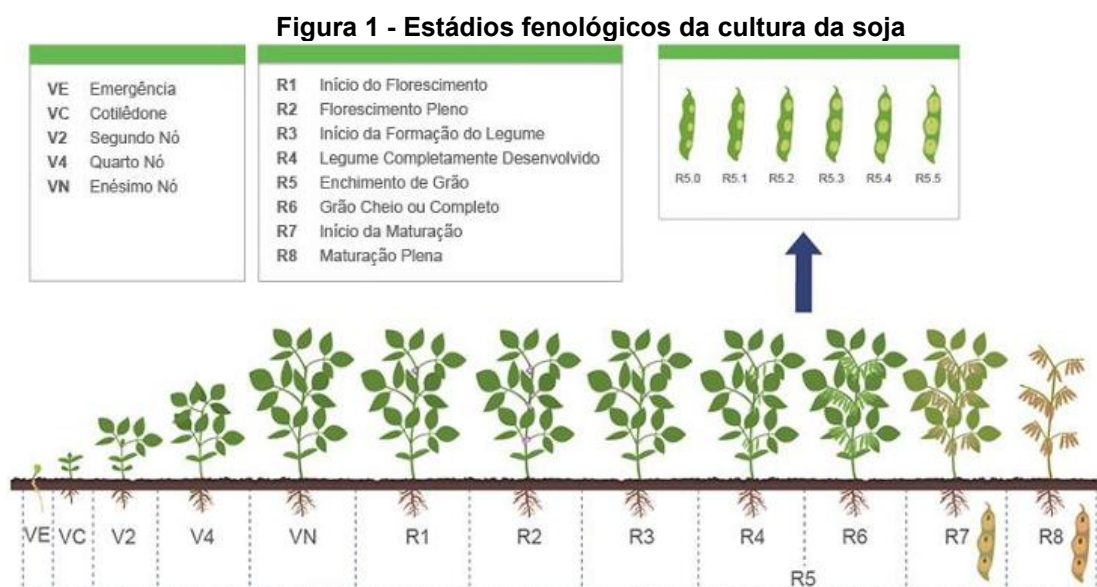
Do ponto de vista fenológico da cultura, os estádios de desenvolvimento são essenciais para profissionais e produtores que trabalham com a soja, pois a partir da escala permite tomadas de decisões no manejo, padronizar comparações em estudos

e minimização ou eliminação de erros que poderão surgir durante o ciclo (Lapera *et al.*, 2018).

A escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977) divide os estádios de desenvolvimento da soja em vegetativos (V) e reprodutivos (R) (Figura 1). Para cultivares com o hábito determinado, o estágio vegetativo abrange desde a emergência até o início do florescimento. Esse período inicia-se em VE (emergência), quando os cotilédones se encontram acima da superfície do solo, seguido do estágio VC, caracterizado pela abertura dos cotilédones.

A partir do VC, os estádios vegetativos passam a ser subdivididos por números (V1, V2, V3...). A planta é considerada em V1 quando as folhas unifoliadas estão completas, em V2, quando a primeira folha trifoliada está completamente expandida e em V3, quando a segunda trifoliada está completa, e assim sucessivamente até chegar no florescimento (Fehr e Caviness, 1977).

A fase reprodutiva da soja inicia-se com o florescimento até a maturação fisiológica dos grãos. Onde esta fase é subdividida em quatro grupos de estádios, o florescimento (R1 e R2), desenvolvimento da vagem (R3 e R4), desenvolvimento do grão (R5 e R6) e maturação da planta (R7 e R8) (Fehr; Caviness, 1977 e Neumaier *et al.*, 2000).



Fonte: Tejo *et al.*, 2019.

Em relação à temperatura, a faixa ideal para o crescimento e desenvolvimento da cultura da soja, está entre 20 °C a 30 °C, sendo em torno de 25 °C a condição mais favorável para uma rápida e uniforme emergência das plântulas. Temperaturas iguais

ou inferiores a 10 °C, seu crescimento vegetativo é muito pequeno ou nulo, acima de 40 °C seu crescimento também fica comprometido e reduz a capacidade de retenção de vagens e danos na floração (Sediyama, 2009).

Em torno de 90% do peso da planta é constituído por água, sendo vital para todos os processos bioquímicos e fisiológicos. Os dois períodos mais críticos quanto a disponibilidade hídrica são a germinação e emergência e, a floração e enchimento de grãos. A fase inicial, tanto o excesso quanto a deficiência são prejudiciais para o estabelecimento e estande adequado da soja, o qual a umidade do solo não deve ultrapassar de 85% e necessita no mínimo 50%. A semente deve absorver 50% do seu peso em água, para obter germinação eficiente (Farias *et al.*, 2007).

À medida que a planta vai se desenvolvendo, sua demanda por água, consequentemente aumenta, atingindo seu ponto máximo durante o período de floração e enchimento dos grãos, chegando a uma necessidade de 8 mm/dia. Após essa fase, sua demanda hídrica reduz gradativamente até a maturação de grãos, ou seja, período que antecede a colheita. O excesso hídrico nesta etapa reduz a secagem e causa injúrias na qualidade de grãos e sementes. Ao longo de todo o ciclo a cultura necessita de um volume total de água que varia de 450 mm a 800 mm (Farias *et al.*, 2007).

O número de horas de luz (fotoperíodo), é o responsável pela indução de florescimento da soja, onde a mesma é considerada uma planta de dia curto, ou seja, quando a duração do dia é menor que seu fotoperíodo crítico, as plantas recebem um estímulo para florescer, transitando de estágio vegetativo para o reprodutivo (Rodrigues *et al.*, 2001).

Diante disso, fica evidente que o crescimento e desenvolvimento da soja, resultam da interação entre a cultivar utilizada, manejo e os fatores ambientais. Práticas como escolha adequada da cultivar para cada região, época e profundidade de semeadura, o manejo da nutrição e da fertilidade do solo, além do controle de insetos-praga, doenças e plantas invasoras, são fundamentais para alta produtividade (Tejo *et al.*, 2019).

3.2 Patógenos habitantes do solo de importância na cultura da soja

Dentre vários fatores que podem impedir a cultura da soja de atingir todo seu potencial de produtividade, destacam-se as doenças. As mesmas podem ser

ocasionadas por fungos, vírus, bactérias e nematóides, as quais afetam desde a germinação até a fase final de enchimentos de grãos (Seixas *et al.*, 2020).

Segundo estes mesmos autores, a importância econômica de cada doença pode variar de safra para safra, sendo dependentes da região, condições climáticas e manejo realizado durante todo o ciclo produtivo. Há estimativa que as perdas anuais em lavouras de soja brasileiras devido às doenças estejam entre 15% a 20%, no entanto, algumas podem resultar em perdas de até 100%.

A rotação de culturas é uma das recomendações para reduzir a incidência de doenças na cultura da soja, seu objetivo é diminuir a quantidade de inóculos que sobrevivem no solo, por meio de restos culturais. No entanto, esta prática isolada, sem outras alternativas culturais, não é efetiva para fungos habitantes de solo (Reis *et al.*, 2014).

Esses fungos, possuem elevada capacidade de competição saprofítica e apresentam uma eficiente estrutura de resistência, que lhes permitem permanecer viáveis por longos períodos no solo, mesmo na ausência de plantas hospedeiras e condições ambientais favoráveis. Este conjunto de fatores está relacionado, a dificuldade de controlar esses fungos fitopatogênicos, uma vez que estão introduzidos no solo (Bellé e Fontana, 2018).

As principais doenças causadas por esse grupo de fitopatógenos na região sul do Brasil, são o tombamento de plântulas e morte de plantas adultas em reboleiras (*Rhizoctonia solani* Kuühn), a podridão do carvão (*Macrophomina phaseolina*), podridão vermelha, ou morte súbita (*Fusarium* spp.) (Reis *et al.*, 2014); e o mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) (Meyer *et al.*, 2025).

3.2.1 *Rhizoctonia solani* Kühn

A *Rhizoctonia solani* Kühn é um fungo fitopatogênico habitante do solo, responsável pelo tombamento de plântulas e pela morte de plantas em estádios mais avançados distribuídas em reboleiras, apresentando ampla gama de hospedeiros (Ito, 2013).

Este patógeno sobrevive em restos culturais e em estruturas de resistências chamadas escleródios, os quais, após a germinação, originam o micélio capaz de colonizar os tecidos vegetais. A infecção ocorre nas raízes e na região do colo da

planta, através do contato direto do micélio com o hospedeiro, por meio de aberturas naturais ou ferimentos (Bellé e Fontana, 2018).

Na fase de plântula, observa-se o estrangulamento da haste ao nível do solo, o que resulta em murcha e tombamento das plantas ou, em alguns casos, em sobrevivência temporária, acompanhada da emissão de raízes adventícias acima da região afetada (Almeida *et al.*, 1997).

O tombamento pode ocorrer desde a fase de pré-emergência até aproximadamente 30 a 35 dias após a emergência, sendo que, em geral, as plantas afetadas tombam antes da fase de floração. A ocorrência dessa condição é favorecida por temperaturas mais baixas, entre 15 °C e 18 °C, associadas à elevada umidade do solo (Henning *et al.*, 2014).

Segundo estes mesmos autores, após o florescimento, pode ocorrer a morte de plantas adultas, geralmente de forma agrupada no campo, formando reboleiras. Os sintomas iniciam com o desenvolvimento de podridão de aspecto aquoso e coloração castanha na haste, próxima ao nível do solo. O sistema radicular adquire coloração castanho-escura, com o tecido cortical tornando-se amolecido e, expondo um lenho firme, de coloração variando de branca a castanho-clara.

Na parte superior, as plantas infectadas apresentam clorose, seguida de murcha, enquanto na região basal da haste principal, a podridão evolui, podendo atingir vários centímetros acima do nível do solo. Nessas plantas, é comum a permanência das folhas aderidas, com a curvatura voltada para baixo (Seixas *et al.*, 2020).

3.2.2 *Macrophomina phaseolina*

A *Macrophomina phaseolina* é um fungo necrotrófico habitante do solo, agente causal da doença conhecida como podridão de carvão da raiz, caracterizado por ampla gama de hospedeiros, sendo responsável por perdas econômicas em mais de 500 espécies (Islam *et al.*, 2012). No Brasil, destacam-se como culturas suscetíveis o feijão, milho, amendoim, girassol, soja, sorgo e a crotalária (Gupta *et al.*, 2012).

Nos tecidos infectados, o fungo produz grande quantidade de microescleródios, que constituem uma das principais formas de sobrevivência e fonte de inóculo desse patógeno. Essas estruturas são formadas a partir do micélio e caracterizam-se por elevada resistência em condições adversas, principalmente em

altas temperaturas e estresse hídrico. Com a decomposição dos tecidos infectados, eles são liberados no solo, onde, ao entrarem em contato com a região do colo ou das raízes das plantas, germinam e iniciam o processo de infecção (Almeida *et al.*, 2014).

Os microescleródios apresentam elevada longevidade, podendo permanecer viáveis no solo por períodos que variam de 2 a 15 anos. Além disso, nem todas as suas células germinam simultaneamente, o que permite que uma mesma estrutura origine infecções em diferentes estádios fenológicos da cultura da soja (Gupta *et al.*, 2012).

A infecção das raízes pode ocorrer desde o início da germinação, caracterizando-se pelo aparecimento de lesões superficiais no colo da planta, de coloração marrom-avermelhada. As radículas infectadas apresentam escurecimento dos tecidos, indicando a progressão da infecção (Henning *et al.*, 2014).

Após o florescimento, durante a fase de formação de vagens, observa-se amarelecimento das plantas, semelhante à maturação fisiológica. Esse processo é progressivo, evoluindo para murcha. As folhas permanecem aderidas aos pecíolos e, posteriormente, tornam-se secas, adquirindo coloração marrom-escura. Nessa fase, as plantas apresentam sistema radicular de coloração acinzentada, cuja epiderme se destaca facilmente, expondo pontuações negras características, correspondentes aos microescleródios (Almeida *et al.*, 2014).

Os sintomas são favorecidos por condições de estresse hídrico associadas a temperaturas elevadas, entre 28 °C e 35 °C. A severidade da doença pode ser intensificada em solos compactados, uma vez que essas condições limitam o desenvolvimento do sistema radicular, tornando-o superficial e reduzindo a tolerância das plantas à deficiência hídrica (Ito, 2013).

3.2.3 *Fusarium* spp.

Espécies do gênero *Fusarium* são conhecidas como agentes causais da podridão vermelha da raiz (PVR), também denominada síndrome da morte súbita (SMS) (Soares *et al.*, 2023).

Inicialmente, esse patógeno foi identificado de forma mais ampla, porém estudos posteriores, baseados em análises moleculares, morfológicas e de patogenicidade permitiram sua reclassificação, sendo atualmente reconhecidas quatro espécies associadas à PVR, *Fusarium brasiliense*, *F. cuneirostrum*, *F. tucumaniae* e *F. virguliforme* (Aoki *et al.*, 2005).

O patógeno sobrevive no solo por meio de clamidósporos, estruturas de resistência que garantem sua persistência por longos períodos, dificultando o manejo (Singh *et al.*, 2010).

Em condições favoráveis, especialmente em temperaturas em torno de 28 °C e elevada umidade, ocorre a germinação e penetração do fungo nas raízes da planta hospedeira, com colonização do sistema vascular e obstrução dos vasos do xilema com micélio ou esporos (McGovern, 2015).

A infecção radicular inicia-se com lesões avermelhadas na raiz principal, geralmente localizada abaixo do nível do solo, que evoluem para coloração castanho-avermelhada a quase negra. O tecido lenhoso da haste, acima do nível do solo, adquire coloração castanho-clara (Seixas *et al.*, 2020).

Os sintomas foliares surgem, em geral, após o estágio R4, com aparecimento de manchas cloróticas entre as nervuras, que evoluem para necrose ou estrias, conferindo o aspecto típico de folha “carijó” (Nakajima *et al.*, 1996). Esses sintomas são decorrentes de toxinas produzidas pelo fungo nas raízes e translocadas para a parte aérea, uma vez que o patógeno raramente coloniza o caule além de poucos centímetros acima do nível do solo (Roy *et al.*, 1997).

A doença pode ocorrer de forma localizada, em pequenas áreas (reboleiras) ou faixas, geralmente associadas a regiões mais úmidas ou com solo compactado (Xing; Westphal, 2006).

As perdas de produtividade dependem da intensidade da doença e do momento de sua ocorrência no ciclo da cultura. Infecções precoces podem causar aborto de flores e vagens jovens, resultando em maiores perdas. Já em infecções tardias, ocorre redução no número e no tamanho das sementes. Como o fungo persiste no solo por longos períodos, a área afetada tende a aumentar com o tempo (Westphal *et al.*, 2008).

3.2.4 *Sclerotinia sclerotiorum*

Sclerotinia sclerotiorum é um fungo necrotrófico habitante do solo e agente causal do mofo-branco, doença de importância econômica devido ao elevado potencial de causar prejuízos em lavouras agrícolas. No Brasil, estima-se que mais de 10 milhões de hectares cultivados com soja estejam infestados por esse patógeno (Meyer *et al.*, 2022).

O desenvolvimento da doença está relacionado diretamente a condições ambientais, apresentando maior severidade em lavouras de soja cultivadas em altitudes superiores a 600 metros. Ambientes com alta umidade, associadas a temperaturas amenas, favorecem a ocorrência e a intensidade da doença (Seixas *et al.*, 2020).

Embora *S. sclerotiorum* possa infectar a soja em diferentes estádios de desenvolvimento, o período entre a floração plena e o início da formação das vagens (R2 a R3) é considerado o mais suscetível à infecção (Meyer *et al.*, 2014).

O patógeno é capaz de infectar diferentes partes da planta. Porém, os sintomas iniciam-se a partir das inflorescências, axilas foliares e ramos laterais, com o aparecimento de manchas encharcadas. Com a evolução da doença, essas manchas adquirem coloração castanho-clara e passam a apresentar micélio branco e denso, característico do mofo-branco (Siqueri; Yorinori; Yuyama, 2011).

Na parte foliar, são observados murchas e secamentos. Após alguns dias, ocorre a formação de escleródios, estruturas rígidas e de coloração negra que constituem a principal forma de resistência do fungo (Reis *et al.*, 2019).

O patógeno evolui seu crescimento no interior do caule, impedindo transporte de água e minerais, o que pode levar à morte da planta (Henning *et al.*, 2005).

Os escleródios presentes no solo, quando submetidos a condições de alta umidade e temperaturas entre 10 °C e 21 °C, germinam e formam apotécios. Essas estruturas produzem ascósporos, que são liberados no ar e atuam como principais responsáveis pela infecção das plantas (Meyer *et al.*, 2014).

A importância deste patógeno, também está relacionada à agressividade da doença e ampla gama de hospedeiros, contabilizando mais de 400 espécies já registradas, fato que limita as opções de rotação de culturas nas áreas infestadas. Outro fator relevante é a rápida disseminação do fungo na lavoura, já que cada planta infectada pode produzir dezenas de escleródios, estruturas facilmente espalhadas pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas (Lobo Junior, 2011).

3.3 Controle biológico

O aumento dos custos do controle químico, aliado à redução da eficiência de alguns produtos e dos impactos ambientais decorrentes de seu uso, evidencia a

necessidade de adoção de estratégias alternativas para o manejo de fitopatógenos (Michereff; Mariano, 1993).

Essa demanda é ainda mais relevante no caso de patógenos habitantes do solo, cujo controle é dificultado pela presença de múltiplas estruturas de sobrevivência, que garantem sua persistência por longos períodos (Visconti *et al.*; 2017). Nesse contexto, o controle com o uso de agentes biológicos destaca-se como alternativa promissora e sustentável.

Cook e Baker (1983), definiram o controle biológico de doenças, como, redução da soma de inóculo ou das atividades determinantes da doença provocada por um patógeno, realizada por ou através de um ou mais organismos que não o homem. De forma mais simplificada, Bettiol (1991) descreveu esse método como o controle de um microrganismo através de outro microrganismo.

Segundo Bettiol *et al.* (2024), o controle biológico pode ser classificado em quatro tipos, natural, conservacionista, clássico e aumentativo. O controle biológico aumentativo é o mais difundido entre os agricultores, caracterizando-se pela aplicação massal de antagonistas em sistemas agrícolas, utilizando agentes de biocontrole disponíveis comercialmente.

Entre os principais microrganismos utilizados no controle biológico, destacam-se fungos do gênero *Trichoderma* e bactérias do gênero *Bacillus*, ambos amplamente empregados no manejo de doenças de plantas. Esses antagonistas apresentam ação sobre diversos fitopatógenos, incluindo, *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Macrophomina*, *Sclerotinia*, *Sclerotium*, *Botrytis* e *Crinipellis* (Morandi; Bettiol, 2009).

Os agentes antagonistas utilizados no controle biológico podem atuar sobre os fitopatógenos por diferentes mecanismos, dentre eles, por competição, onde ambos competem por espaço e nutrientes; antibiose por meio da produção de metabólitos com ação inibitória; parasitismo, quando o agente parasita hifas e estruturas de resistência do patógeno; pela indução a resistência, estimulando os mecanismos de defesa das plantas e promoção do crescimento vegetal, onde o antagonista promove o crescimento da planta (Milanesi *et al.*, 2013, Deketelaere *et al.*, 2017). Diante dos mecanismos de ação apresentados pelos microrganismos, o mercado de insumos biológicos tem mostrado crescimento significativo.

Segundo dados da plataforma CropData, da CropLife Brasil (2026), o setor movimentou R\$ 6,2 bilhões no Brasil em 2025, com crescimento de 15% em relação

ao ano anterior. Além disso, a área tratada com produtos biológicos obteve aumento de 28%, totalizando 194 milhões de hectares.

3.4 Gênero *Trichoderma* spp.

As espécies do gênero *Trichoderma* são fungos formados por estruturas multicelulares em forma de tubos chamadas hifas, cujo conjunto constitui o micélio. A partir das hifas desenvolvem-se os conidióforos e os clamidósporos, estruturas envolvidas na resistência a condições adversas (Kubicek; Harman, 1998). O gênero é pertencente ao Filo Ascomycota, Classe Sordariomycetes, subclasse Hypocreomycetidae, Ordem Hypocreales e Família Hypocreaceae (Sales *et al.*, 2020).

Entre os fungos filamentosos, espécies do gênero *Trichoderma* estão entre as mais utilizadas e estudadas no controle biológico. O sucesso desse fungo está relacionado à sua alta capacidade reprodutiva, habilidade de sobreviver em condições desfavoráveis, eficiência na utilização de nutrientes e capacidade de modificar a rizosfera. Além disso, apresenta elevada agressividade contra fungos fitopatogênicos, contribuindo para o controle de doenças, atua na promoção do crescimento vegetal e na ativação dos mecanismos de defesa das plantas (De Meyer *et al.*, 1998; Yedidia *et al.*, 2001).

Os isolados de *Trichoderma* são facilmente reconhecidos em meio de cultura devido ao seu rápido crescimento e ao aspecto branco e algodinoso do micélio. O desenvolvimento ocorre, geralmente, em temperaturas entre 25°C e 30°C. Após cerca de 48 horas de cultivo, já podem ser observadas pústulas ou círculos esverdeados formados pela grande quantidade de esporos subhialinos. Em massa, esses esporos adquirem coloração verde, conferindo à colônia um aspecto granular ou pulverulento característico (Abreu; Pfenning, 2019).

Segundo esses mesmos autores, os fungos do gênero *Trichoderma* estão presentes em todos os tipos de solo e diversos outros ambientes como a rizosfera e a matéria orgânica. Também são frequentemente encontradas em madeira em decomposição e em fungos que formam corpos de frutificação, como cogumelos, onde os mesmos servem de substrato.

As espécies são consideradas cosmopolitas e saprofíticas, sendo encontradas principalmente em regiões de clima tropical, mas também em ambientes

de clima frio e condições extremas, como solos da Antártica (Macías-Rodríguez *et al.*, 2020).

3.4.1 Mecanismos de ação do *Trichoderma*

3.4.1.1 Competição

A competição pode ser definida como interação entre dois ou mais organismos que disputam o mesmo recurso ou necessidade, de forma que o consumo ou utilização por um deles diminui a disponibilidade para os demais. Esses recursos podem incluir nutrientes, oxigênio, espaço físico, luz e entre outros (Monte; Bettiol; Hermosa, 2019).

Espécies de *Trichoderma* apresentam rápido crescimento, elevada capacidade reprodutiva e grande adaptação ao ambiente do solo, características que favorecem a captura de nutrientes e a ocupação de espaço próximo às raízes antes do estabelecimento dos patógenos (Yao *et al.*, 2023; Schuster; Schmoll, 2010).

Nesse processo, o antagonista reduz o desenvolvimento do patógeno ao se estabelecer rapidamente na rizosfera, nos tecidos vegetais e em outros nichos compartilhados, competindo de forma eficiente por espaço e nutrientes (Tyśkiewicz *et al.*, 2022).

Dessa forma, a competência rizosférica e a capacidade de colonização das raízes são fatores essenciais nesse mecanismo, pois permitem ao fungo restringir o acesso do fitopatógeno aos recursos necessários para seu estabelecimento e desenvolvimento (Abbas *et al.*, 2022; Singh *et al.*, 2024).

As plantas possuem mecanismos de defesa contra patógenos, entre eles, a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), que provocam estresse oxidativo e dificultam a penetração e o desenvolvimento de fitopatógenos nos tecidos vegetais. Nesse contexto, uma característica importante do *Trichoderma* é sua elevada tolerância ao estresse oxidativo, o que favorece sua capacidade de competir e se estabelecer na rizosfera. Algumas cepas conseguem suportar níveis de ROS que muitos outros fungos não toleram (Morán-Diez *et al.*, 2010).

Além disso, esse fungo ativa mecanismos antioxidantes e induz, tanto nas raízes quanto na parte aérea, a redução dos ROS quando estas se tornam prejudiciais

ao vegetal. Essa ação contribui para aumentar a tolerância das plantas ao déficit hídrico e a outros tipos de estresses abióticos (Mastouri *et al.*, 2012).

Outra característica que torna o *Trichoderma* um competidor eficiente é sua capacidade de produzir sideróforos, compostos que auxiliam na captação de ferro e favorecem sua sobrevivência e competitividade na rizosfera, especialmente em ambientes com baixas concentrações desse elemento (Mukherjee *et al.*, 2012).

Além disso, o fungo é capaz de solubilizar fosfatos por meio de processos como acidificação, quelação e hidrólise, aumentando a disponibilidade de fósforo no solo (Li *et al.*, 2015).

3.4.1.2 Antibiose

A antibiose é definida como a produção e liberação de compostos com atividade antimicrobiana capazes de inibir o crescimento, a germinação, a diferenciação e a viabilidade de fitopatógenos (Yao *et al.*, 2023).

Esse mecanismo destaca-se pela grande diversidade química dos metabólitos produzidos, que podem ser voláteis ou não, permitindo que o antagonista afete o patógeno mesmo antes do contato físico direto (Khan *et al.*, 2020).

Entre os metabólitos secundários produzidos por *Trichoderma*, os mais estudados são os peptaibóis, pequenos peptídeos não ribossômicos (NRP), os policetídeos (PK), os terpenos e as pironas, como a 6-pentil- α -pirona (6-PP), compostos associados à atividade antimicrobiana e ao potencial de biocontrole do fungo (Monte; Bettiol; Hermosa, 2019).

Os peptaibóis atuam formando canais nas membranas celulares dos organismos-alvo, causando alterações na permeabilidade da célula e, consequentemente, danos celulares. Entre os policetídeos, destacam-se os koniginins, metabólitos conhecidos pela atividade antagonista contra diversos fitopatógenos, como *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani*, *Bipolaris sorokiniana*, *Phytophthora cinnamomi* e *Pythium middletonii* (Khan *et al.*, 2020). O 6-PP também apresenta efeito antifúngico, possuindo amplo espectro de atividade contra diferentes fungos e oomicetos (Mendoza-Mendoza *et al.*, 2024).

3.4.1.3 Micoparasitismo

No gênero *Trichoderma*, o micoparasitismo ocorre por meio de uma série de etapas que começa com o reconhecimento do fungo hospedeiro. Em seguida, o antagonista se aproxima e entra em contato com o patógeno, ocorrendo o enrolamento de suas hifas ao redor do alvo, o que permite sua penetração e posterior degradação estrutural (Mukherjee *et al.*, 2022; Guzmán-Guzmán *et al.*, 2023).

Na etapa de localização do hospedeiro, o *Trichoderma* é capaz de identificar o patógeno à distância e direcionar o crescimento de suas hifas em resposta a estímulos químicos liberados pelo organismo alvo. Após reconhecer o hospedeiro, os carboidratos presentes na parede celular do antagonista ligam-se às lectinas do patógeno, promovendo o enrolamento das hifas e a formação de apressórios (Chet *et al.*, 1994).

Na sequência, o fungo inicia o ataque ao hospedeiro por meio da liberação de enzimas, como celulasas, glucanases, quitinases e proteases, responsáveis pela degradação da parede celular do alvo. Além disso, o *Trichoderma* é capaz de inativar as enzimas produzidas pelo fitopatógeno, dificultando sua colonização e penetração nos tecidos vegetais (Sood *et al.*, 2020).

Essas enzimas produzidas por diferentes cepas de *Trichoderma*, apresentam elevada eficácia na inibição da germinação de esporos, do crescimento das hifas e da formação de estruturas de resistência de um amplo número de fitopatógenos (Monte, 2001).

3.4.1.4 Indução de resistência vegetal

A indução de resistência caracteriza-se pela ativação dos mecanismos de defesas da planta após o contato com um agente indutor, desencadeando respostas defensivas tanto no local da infecção quanto em tecidos distantes (Romeiro, 2007). Entre os principais mecanismos de defesa ativados estão a produção de fitoalexinas, compostos fenólicos, quitinases, glucanases, e deposição de lignina (Romeiro, 2007; Barros *et al.*, 2010).

Nesse contexto, espécies de *Trichoderma* atuam como agentes indutores de resistência ao estimular respostas imunológicas nas plantas. Esse efeito está relacionado a produção de metabólitos e moléculas sinalizadoras capazes de atuar como elicitores de defesa, incluindo proteínas, peptídeos, enzimas, oligossacarídeos

advindos da degradação da parede celular e metabólitos secundários (Hermosa *et al.*, 2012; Nunes, 2018).

A indução de resistência pode ocorrer por dois mecanismos principais, a resistência sistêmica adquirida (RSA) e a resistência sistêmica induzida (RSI). A RSA é ativada pela presença de patógenos ou microrganismos não-patogênicos, mediada pelo ácido salicílico e resulta no acúmulo de proteínas relacionadas à patogênese, como quitinases e glucanases. A RSI é induzida por microrganismos da rizosfera, como rizobactérias e microrganismos rizosféricos, sendo mediada pelos hormônios ácido jasmônico e etileno (Pascholati *et al.*, 2019).

3.4.1.5 Promoção de crescimento vegetal

Além da ação direta sobre os fitopatógenos, o *Trichoderma* atua como bioestimulante, contribuindo para o desenvolvimento vegetal e o aumento da produtividade das culturas (Woo *et al.*, 2014). Esse efeito está associado a diferentes mecanismos fisiológicos e bioquímicos, incluindo a produção de fitormônios, sideróforos, metabólitos secundários e enzimas (El Enshasy *et al.*, 2020).

Entre os hormônios produzidos, sobressai o ácido indol-3-acético (AIA), pertencente ao grupo das auxinas, o qual promove o crescimento radicular e a proliferação de pelos radiculares, favorecendo a arquitetura do sistema radicular, resultando em maior eficiência na absorção de água e nutrientes e, consequentemente, melhor desempenho das plantas (Machado *et al.*, 2016).

Esses fungos também contribuem para maior disponibilidade de nutrientes no solo, por meio da solubilização de fosfato, potássio e zinco, processo realizado pela produção de enzimas, como fosfatases e fitases, além de ácidos orgânicos (Bononi *et al.*, 2020).

Estudos em condições controladas e de campo demonstram ainda que espécies de *Trichoderma* podem reduzir os efeitos de estresses abióticos, como deficiência hídrica, salinidade e baixa disponibilidade de nutrientes, favorecendo o desempenho das plantas em condições adversas (Mastouri *et al.*, 2012; Brotman *et al.*, 2013; Sofo *et al.*, 2014).

Além disso, alguns metabólitos secundários produzidos pelo agente apresentam atividade semelhante à auxina, sendo eficazes mesmo em baixas concentrações. Entre eles, destaca-se o 6-pentil- α -pirona (6-PP), associado ao

estímulo do desenvolvimento radicular, aumento da altura das plantas, expansão da área foliar e maior taxa de germinação de sementes (Hermosa *et al.*, 2013; Nieto-Jacobo *et al.*, 2017).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado no Laboratório de Controle Biológico II da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), situado no município de Dois Vizinhos/PR.

4.1 Confronto direto entre isolados de *Trichoderma* spp. e fitopatógenos da soja

Para avaliar o potencial antagonista dos seis isolados de *Trichoderma* prospectados, realizou-se o confronto *in vitro* com quatro fitopatógenos de solo: *Fusarium tucumaniae*, *Macrophomina phaseolina*, *Rhizoctonia solani* e *Sclerotinia sclerotiorum*, todos provenientes da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Soja de Londrina, PR (Figura 2).

Figura 2 - Placas de Petri® com 15 dias de crescimento contendo, a) *Fusarium tucumaniae*; b) *Macrophomina phaseolina*; c) *Rhizoctonia solani*; d) *Sclerotinia sclerotiorum*, respectivamente



Fonte: Arquivo pessoal (2026)

Os antagonistas consistiram em seis isolados de *Trichoderma*: *T. breve* (TB01), *T. scalesiae* (TS02), *T. anaharzianum* (TA01), *T. zeloharzianum* (TZ01) e dois isolados de *T. koningiopsis* (TK05) e (TK06), todos provenientes da Startup SRM Brazil Technology, incubada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Dois Vizinhos, PR.

Os isolados TA01, TZ01 e TK05 foram obtidos a partir de tecidos da parte aérea de plantas de soja submetidos à desinfestação superficial, o que os considera endofíticos. Em contrapartida, os isolados TB01, TS02 e TK06 foram bioprospectados de amostras de solo, representando isolados rizosféricos.

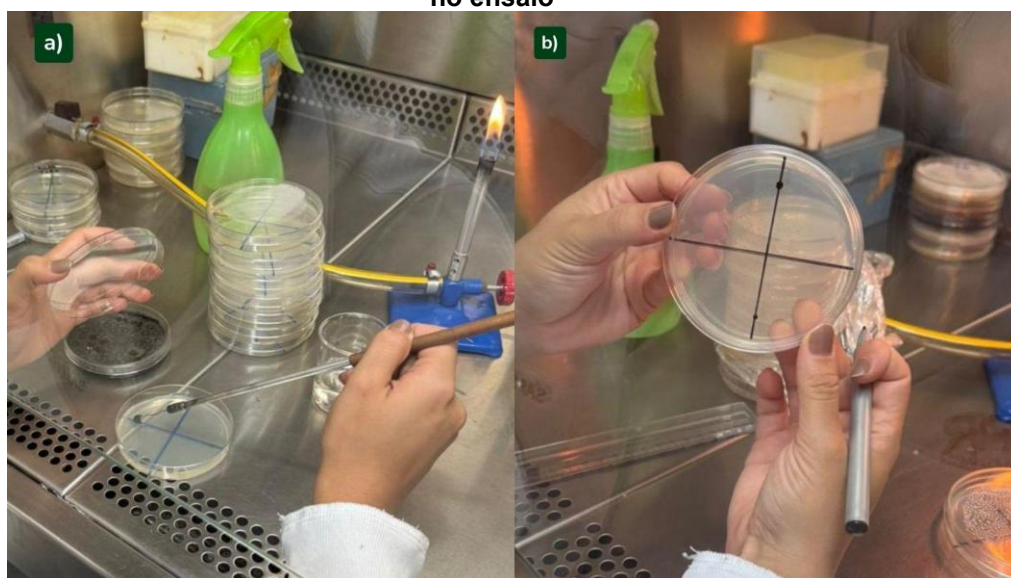
O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial, 6x4+1 (isolados de *Trichoderma* x Fitopatógenos da soja + Testemunha)

Cada tratamento é composto por três repetições, sendo cada placa de Petri® considerada uma unidade experimental, totalizando 84 placas.

Para a avaliação de confronto direto, seguiu-se a metodologia descrita por Dennis e Webster (1971). Foram utilizadas placas de Petri® descartáveis com 8,3 cm de diâmetro, contendo 20 mL de meio BDA (Batata, Dextrose e Ágar).

Em câmara de fluxo laminar, com auxílio de alça de platina estéril, foi transferido um disco de micélio de 7 mm de diâmetro de cada patógeno com distância de um centímetro da borda da placa (Figura 3).

Figura 3 - Procedimento de instalação do ensaio de pareamento de culturas, sendo: a) transferência de disco micelial de 7 mm de *M. phaseolina* para placa de Petri® contendo meio de cultura; b) marcação a 1 cm da borda da placa para posicionamento dos microrganismos no ensaio



Fonte: Arquivo pessoal (2026)

Do lado oposto, a um centímetro da borda, foi transferido um disco de micélio de cada um dos seis isolados de *Trichoderma* spp. (Figura 4). Para a testemunha, foi inoculado apenas o fitopatógeno em posição idêntica.

Figura 4 - Cultura pareada em placa de Petri®, com disco micelial do fitopatógeno posicionado em uma extremidade e disco micelial de *Trichoderma* spp. na extremidade oposta



Fonte: Arquivo pessoal (2026)

As placas de Petri® foram seladas com plástico filme de PVC e demarcadas com duas linhas perpendiculares sobre o tratamento e o disco de micélio, utilizadas como referência para as medições diárias do crescimento da colônia. Em seguida, as placas foram incubadas em BOD a 25 °C e fotoperíodo de 12 horas (Figura 5).

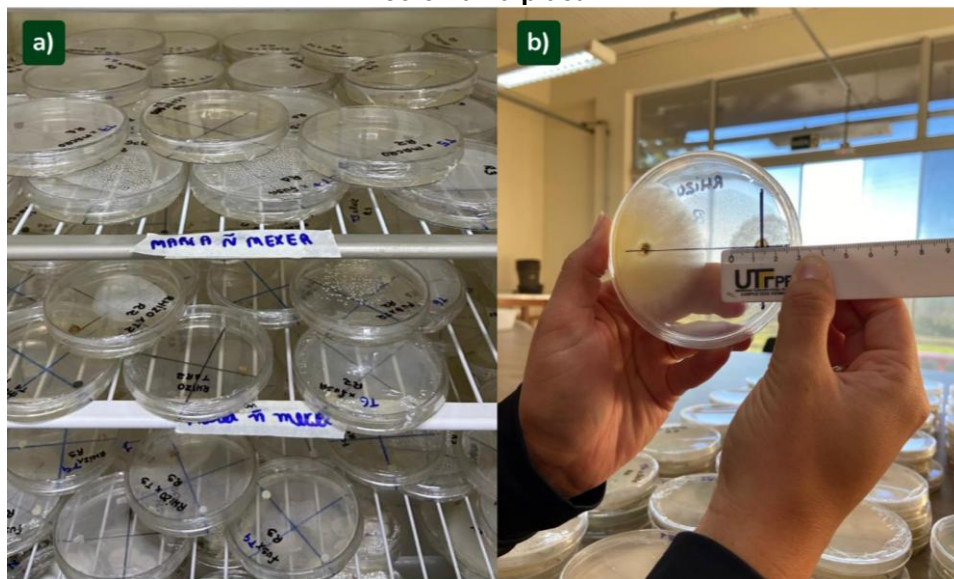
O crescimento micelial dos fitopatógenos foi mensurado diariamente, com o auxílio de régua graduada, a partir de 24 horas após a inoculação. As análises foram realizadas até o momento em que a testemunha (isenta de *Trichoderma* spp.) atingiu o fechamento completo da placa de Petri®.

Dessa forma, o período de avaliação foi de 10 dias para *F. tucumaniae*, 6 dias para *S. sclerotiorum*, 7 dias para *R. solani* e 2 dias para *M. phaseolina*.

As avaliações consistiram na medição do diâmetro da colônia (cm) em dois eixos perpendiculares, sendo utilizada a média das medidas obtidas. Para o cálculo da porcentagem de inibição do crescimento micelial (PIC), conforme proposto por Menten *et al.* (1976), aplicou-se a seguinte fórmula:

$$PIC = \frac{(\text{crescimento da testemunha} - \text{crescimento do tratamento})}{(\text{crescimento da testemunha})} \times 100 = \%$$

Figura 5 - Procedimentos de incubação e avaliação do crescimento micelial do patógeno, sendo: a) Placas de Petri® acomodadas em câmara BOD; b) Medição do diâmetro da colônia na placa



Fonte: Arquivo pessoal (2026)

4.2 Efeito de isolados de *Trichoderma* spp. sobre o desenvolvimento inicial das plantas de soja

Para avaliar o potencial de promoção do crescimento vegetal da soja, realizou-se o tratamento de sementes com seis isolados de *Trichoderma* spp. prospectados.

4.2.1 Preparo da suspensão de conídios

Para o preparo da suspensão de conídios dos isolados de *Trichoderma* spp., seguiu-se a metodologia descrita por Salustiano *et al.* (2008). Inicialmente, foram adicionados 200 μ L de solução de Tween 80 a 0,05% e 10 mL de água destilada sobre as placas de Petri® contendo os isolados esporulados. Em seguida, com auxílio de alça de Drigalski esterilizada, realizou-se a raspagem superficial das colônias, visando à liberação dos conídios na suspensão.

Posteriormente, a suspensão obtida foi transferida para tubos, onde realizou-se sucessivas diluições seriadas. Para cada diluição, foi transferido 1 mL da suspensão anterior para um novo tubo contendo 9 mL de água destilada, após cada diluição era realizada homogeneização em agitador tipo vortex por aproximadamente 30 segundos, garantindo a dispersão uniforme dos conídios (Figura 6).

Figura 6 - Procedimento para obtenção e diluição da suspensão de conídios de *Trichoderma* spp.: a) Suspensão de conídios obtida a partir dos isolados; b) Realização de diluições seriadas da suspensão; c) Homogeneização da suspensão em agitador do tipo vortex

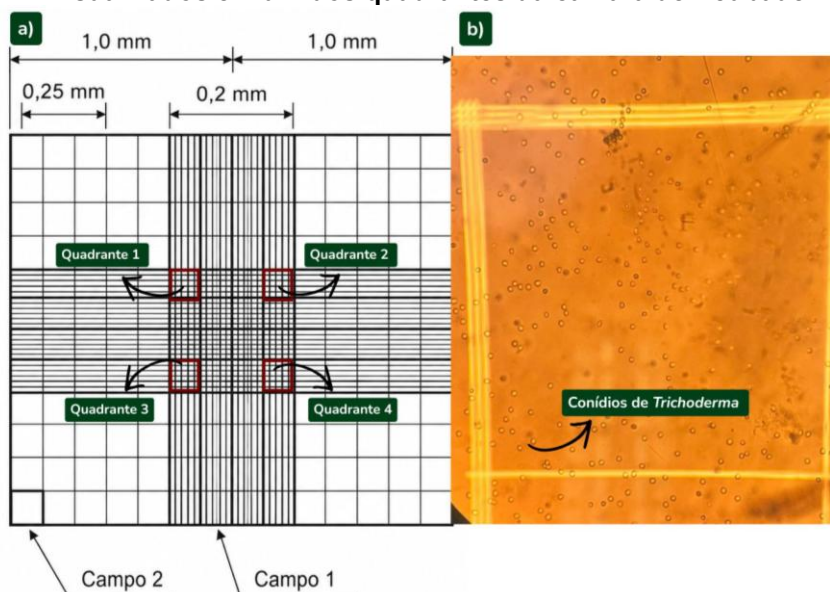


Fonte: Arquivo pessoal (2026)

Após a homogeneização, uma alíquota de 1 mL da suspensão foi coletada e adicionada a câmara de Neubauer (Figura 7), para a contagem de conídios conforme a metodologia descrita por Muniz *et al.* (2018), utilizando microscópio óptico.

Na contagem, considerou-se o quadrante C da câmara de Neubauer, conforme recomendado por Alfenas, Zauza e Mafia (2007). Após a obtenção da média de conídios nos quatro quadrantes avaliados, os resultados foram expressos em número de conídios por mililitro (conídios mL⁻¹).

Figura 7 - Procedimento para contagem de conídios: a) Representação da câmara de Neubauer utilizada para a contagem de conídios de *Trichoderma* spp.; b) Conídios de *Trichoderma* spp. visualizados em um dos quadrantes da câmara de Neubauer



Fonte: Arquivo pessoal (2026)

4.2.2 Tratamento de sementes

Para o tratamento de sementes, utilizou a suspensão de esporos na concentração de:

- TK06 (*T. koningiopsis*) - $8,2 \times 10^7$ conídios mL^{-1} ,
- TZ01 (*T. zeloharzianum*) - $2,97 \times 10^8$ conídios mL^{-1} ,
- TA01 (*T. anaharzianum*) - $1,67 \times 10^8$ conídios mL^{-1} ,
- TB01 (*T. breve*) - $1,82 \times 10^8$ conídios mL^{-1} ,
- TK05 (*T. koningiopsis*) - $7,4 \times 10^7$ conídios mL^{-1}
- TS02 (*T. scalesiae*) - $1,9 \times 10^8$ conídios mL^{-1} .

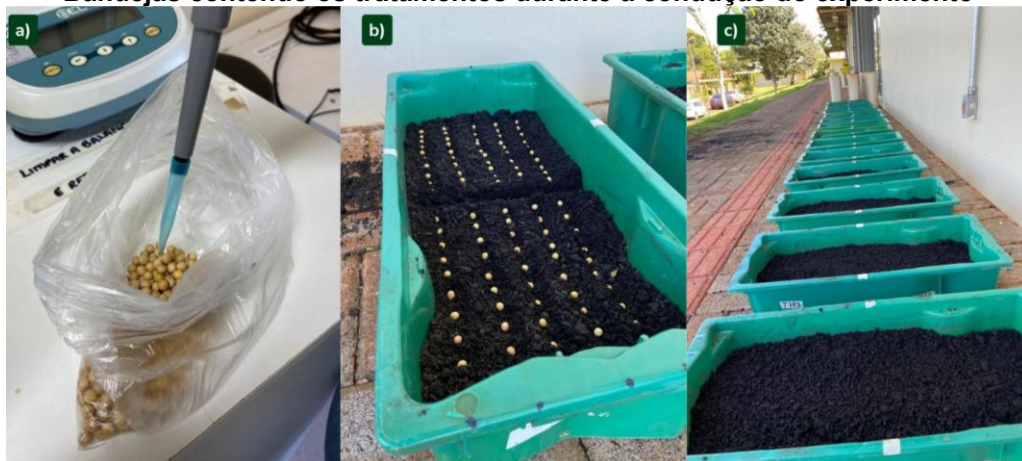
As sementes de soja da cultivar Brasmax Zeus IPRO foram tratadas com 300 μL da suspensão de esporos para cada 200 sementes, correspondendo à dose de 3 mL kg^{-1} de sementes. Após a aplicação da suspensão, as sementes foram homogeneizadas em saco plástico e, posteriormente, semeadas em bandejas.

4.2.3 Teste de Germinação e Índice de Velocidade de Emergência

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), composto por sete tratamentos, sendo seis isolados de *Trichoderma* spp. e uma

testemunha sem aplicação, com quatro repetições de 50 sementes, totalizando 200 sementes por tratamento. As sementes foram semeadas em bandejas contendo substrato para plantas tabaco, classe F da Turfa Fértil a 3 cm de profundidade (Figura 8).

Figura 8 - Etapas do teste de germinação da soja: a) Tratamento das sementes com isolados de *Trichoderma* spp.; b) Distribuição das sementes no substrato para semeadura; c) Bandejas contendo os tratamentos durante a condução do experimento



Fonte: Arquivo pessoal (2026)

A avaliação da germinação foi realizada no sétimo dia após a semeadura, classificando-se as sementes em plântulas normais, plântulas anormais e sementes não germinadas. Posteriormente, determinou-se a porcentagem de germinação (%G), conforme metodologia adaptada de Nakagawa (1999) e das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), utilizando-se a seguinte fórmula:

$$\%G = \frac{PN}{N} \times 100 =$$

Onde:

%G = porcentagem de germinação;

Pn = plântulas normais;

N = número total de sementes colocadas para germinar.

A velocidade de emergência foi avaliada juntamente com o teste de germinação. Após a emergência das primeiras plântulas normais, realizou-se a contagem diária das plântulas emergidas até o término do teste de germinação (Figura

9). O índice de velocidade de emergência (IVE) foi determinado conforme metodologia descrita por Nakagawa (1999), utilizando-se a seguinte fórmula:

$$IVE = \frac{G1}{N1} + \frac{(G2 - G1)}{N2} = \frac{(G3 - G2)}{N3} + \dots + \frac{(GF - GN)}{NF}$$

Onde:

IVE = índice de velocidade de emergência;

G1, G, G3, Gn e Gf = número de plântulas normais contadas no primeiro, no segundo, no terceiro, demais dias e na última contagem, respectivamente;

N1, N2, N3, Nn e Nf = número de dias da semeadura à primeira, à segunda, à terceira, às demais e à última contagem.

Figura 9 – Avaliações de emergência e germinação de soja: a) Contagem de plântulas emergidas aos cinco dias após a semeadura; b) Contagem final para determinação do índice de velocidade de emergência e da germinação aos sete dias após a semeadura



Fonte: Arquivo pessoal (2026)

4.2.4 Comprimento da parte aérea e da raiz

A altura da parte aérea e o comprimento radicular foram determinados aos 14 dias após a semeadura, por meio da avaliação de 10 plantas de cada tratamento, no estágio fenológico V1, caracterizado pelas folhas unifoliadas completamente expandidas (Figura 10). As medições foram realizadas com auxílio de régua graduada. Os resultados foram expressos em centímetros por planta, tanto para o comprimento da parte aérea (COMP-PA) quanto para o comprimento radicular (COMP-RZ).

Figura 10 – Plantas de soja em estágio fenológico V1 utilizadas para avaliação

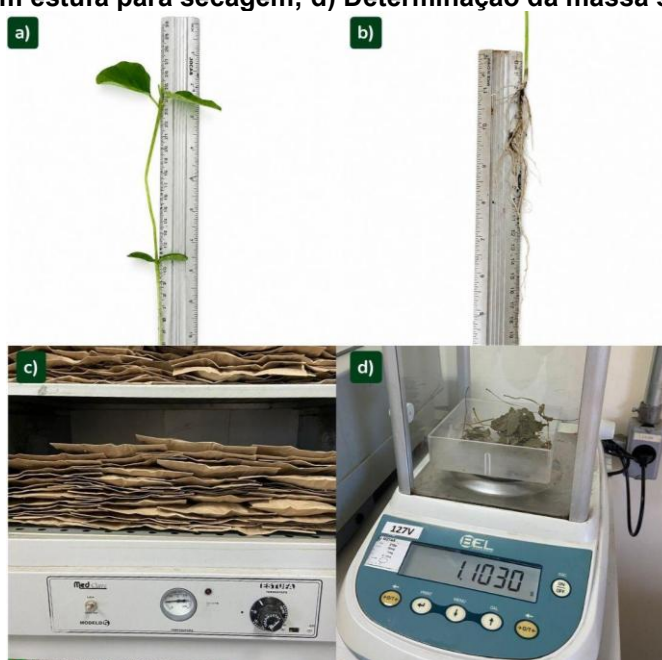


Fonte: Arquivo pessoal (2026)

4.2.5 Acúmulo de massa seca

Após as medições, as plantas foram separadas em parte aérea e sistema radicular. Sendo acondicionadas em sacos de papel e submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar, regulada a 65 °C, por sete dias. Após esse período, realizou-se a pesagem das amostras com auxílio de balança eletrônica analítica digital, obtendo-se a massa de matéria seca. Os resultados foram expressos em gramas.

Figura 11 – Avaliação do desenvolvimento inicial de plantas de soja: a) Determinação do comprimento da parte aérea; b) Determinação do comprimento da raiz; c) Amostras acondicionadas em estufa para secagem; d) Determinação da massa seca da parte aérea



Fonte: Arquivo pessoal (2026)

4.3 Resposta da defesa de plantas de soja inoculadas com isolados de *Trichoderma*

Para a avaliação da resposta de defesa, foram selecionadas 10 plantas de soja em estágio fenológico V1 de cada tratamento.

4.3.1 Preparo do extrato enzimático

O preparo do extrato enzimático foi realizado conforme metodologia proposta por Moerschbacher (1988), descrita por Guzzo e Martins (1996). Aproximadamente 0,3 g de tecido vegetal foram macerados em um almofariz contendo 0,2g de micropérolas de vidro, 0,1 g de resina Dowex e 0,2 g de polivinilpolipirrolidona (PVPP). O material obtido foi transferido para tubos de microcentrífuga (Eppendorf®), aos quais foram adicionados 0,5 mL de tampão borato de sódio. A mistura permaneceu em repouso por 5 minutos para extração das proteínas e enzimas solúveis.

Posteriormente, as amostras foram centrifugadas a 20.000×g, a 4 °C, por 20 minutos. O sobrenadante foi cuidadosamente coletado e transferido para novos tubos devidamente identificados, sendo utilizado nas determinações bioquímicas subsequentes.

4.3.2 Determinação das proteínas totais

A quantificação de proteínas totais foi realizada segundo a metodologia de Bradford (1976). Em tubos de ensaio, foram adicionados 40 µL do extrato vegetal obtido conforme descrito no item 4.3.1, 460 µL de água destilada e 1mL do reagente de Bradford (Bio-Rad®). As amostras foram homogeneizadas em agitador do tipo vórtex e, posteriormente, submetidas à leitura em espectrofotômetro a 595 nm. A concentração de proteínas totais foi determinada a partir dos valores de absorbância, sendo expressa em mg g⁻¹ de tecido vegetal.

4.3.3 Determinação da atividade de quitinase

A atividade de quitinase foi determinada utilizando-se 100 mg do substrato específico para quitinase, aos quais foram adicionados 400 μL de tampão fosfato de sódio 0,2 M e 500 μL do extrato vegetal. A mistura foi incubada em banho-maria a 50 °C por 40 minutos.

Após a incubação, as amostras foram centrifugadas a 7.000 rpm por 10 minutos. O sobrenadante foi transferido para novos tubos e a atividade enzimática foi determinada por espectrofotometria, mediante leitura da absorbância a 595 nm, sendo os resultados expressos em U.E. mg^{-1} de proteína.

4.3.4 Determinação da atividade de β -1,3-glucanase

A atividade de β -1,3-glucanase foi determinada conforme metodologia proposta por Wirth e Wolf (1990), descrita por Guzzo e Martins (1996). Em tubos de microcentrífuga foram adicionados 200 μL do extrato vegetal, 400 μL de tampão acetato de sódio 50 mM (pH 5,0) e 200 μL do substrato Curdlan (Sigma®).

As amostras foram incubadas em banho-maria a 40 °C por 50 minutos. Em seguida, a reação foi interrompida pela adição de 200 μL de HCl 2 N, seguida de resfriamento em gelo por 10 minutos. Posteriormente, as amostras foram centrifugadas a 10.000 $\times g$ por 5 minutos para remoção do substrato insolúvel não hidrolisado.

A absorbância do sobrenadante foi determinada em espectrofotômetro a 600 nm, sendo os resultados utilizados para estimar a atividade da enzima β -1,3-glucanase, expressa em U.E. mg^{-1} de tecido vegetal.

4.3.5 Análises Estatísticas

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com três repetições por tratamento no confronto direto e quatro repetições nas demais análises. Após a coleta dos dados, estes foram organizados em planilha eletrônica, submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk, por se tratar de um experimento qualitativo x quantitativo, em seguida à análise de variância (ANOVA), adotando-se nível de significância de 5% ($p < 0,05$). Quando constatado efeito significativo, as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott, seguido de análise de regressão no software Rbio (Bhering, 2017).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Antagonismo por confronto direto

Os isolados de *Trichoderma* spp. apresentaram efeito antagonista sobre os fitopatógenos avaliados, resultando em diferentes percentuais de inibição do crescimento micelial (PIC%), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Inibição do Crescimento Micelial (PIC%) de *F. tucumaniae*, *S. sclerotiorum*, *M. phaseolina* e *R. solani* em teste de pareamento de culturas com diferentes isolados de *Trichoderma*

Tratamentos	<i>F. tucumaniae</i>	<i>S. sclerotiorum</i>	<i>M. phaseolina</i>	<i>R. solani</i>
TB01	40,83 b*	29,81 n.s.	14,42 n.s.	54,95 b
TS02	52,36 a	57,80	23,76	65,05 a
TA01	24,99 c	33,78	10,34	31,99 c
TZ01	51,83 a	40,13	25,10	50,04 b
TK06	53,59 a	48,12	20,87	57,41 b
TK05	57,06 a	42,41	30,30	63,52 a
CV (%)	12,75	32,94	35,7	8,7

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, foram agrupadas em mesmo grupo pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade. n.s. = não significativo pelo teste F. CV – Coeficiente de variação.

Fonte: Arquivo pessoal (2026)

Como o PIC% é calculado em relação ao crescimento da testemunha, valores positivos indicam redução do crescimento micelial do patógeno na presença do antagonista. Dessa forma, todos os isolados de *Trichoderma* spp. apresentaram efeito inibitório sobre os fitopatógenos avaliados, diferindo apenas quanto à intensidade desse antagonismo.

Para *F. tucumaniae*, todos os isolados de *Trichoderma* spp. apresentaram atividade antagonista, evidenciada pelos valores positivos de inibição do crescimento micelial em relação à testemunha. Houve diferença significativa entre os isolados avaliados, sendo os maiores percentuais de inibição observados no grupo formado por TK05 (*T. koningiopsis*), TK06 (*T. koningiopsis*), TS02 (*T. scalesiae*) e TZ01 (*T. zeloharzianum*), promovendo redução superior a 50% no crescimento do patógeno. Esse grupo formado por estes isolados diferiram estatisticamente dos demais grupos, indicando maior eficiência no controle de *F. tucumaniae*.

Para *S. sclerotiorum* e *M. phaseolina*, não foram observadas diferenças significativas entre os isolados de *Trichoderma* spp., formando único agrupamento, o

que indica desempenho semelhante entre os tratamentos. Contudo, todos os isolados promoveram redução do crescimento micelial em comparação à testemunha. Para *S. sclerotiorum*, os maiores percentuais de inibição foram registrados para TS02 (57,80%) e TK06 (48,12%). Já para *M. phaseolina*, destacaram-se os isolados TK05 (30,30%) e TZ01 (25,10%), embora sem diferença estatística em relação aos demais tratamentos.

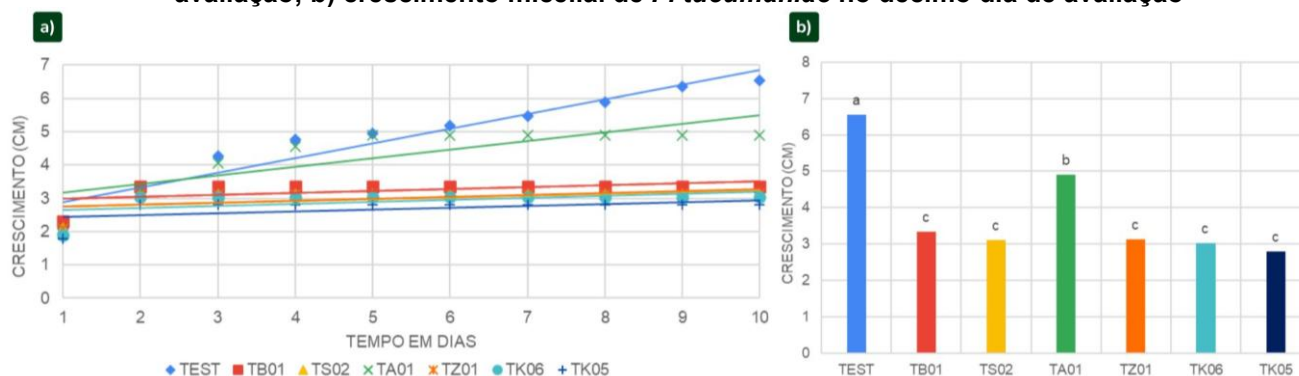
Em relação a *R. solani*, todos os isolados apresentaram efeito antagonista, reduzindo o crescimento micelial do patógeno quando comparados à testemunha. Formaram-se três grupos distintos, com destaque para aquele formado por, TS02 (*T. scalesiae*) e TK05 (*T. koningiopsis*), que apresentaram os maiores percentuais de inibição, de 65,05% e 63,52%, respectivamente, demonstrando maior potencial de controle sobre esse fitopatógeno.

Os diferentes isolados de *Trichoderma* spp. promoveram redução no crescimento micelial de *F. tucumaniae* quando comparados à testemunha (Figura 12). Observa-se que, ao longo dos 10 dias de avaliação (Figura 12a), a testemunha apresentou crescimento contínuo, atingindo aproximadamente 6,6 cm de diâmetro no décimo dia. Enquanto, todos os tratamentos contendo *Trichoderma* spp. restringiram significativamente o desenvolvimento do fitopatógeno.

Na Figura 12b é apresentado o crescimento micelial de *F. tucumaniae* no décimo dia de avaliação, momento em que a testemunha atingiu o fechamento completo da placa de Petri. Observa-se que todos os tratamentos com isolados de *Trichoderma* spp. diferiram estatisticamente da testemunha, evidenciando o efeito antagonista sobre o crescimento micelial do fitopatógeno. Entre os isolados avaliados, TB01, TS02, TZ01, TK05 e TK06 apresentaram os menores valores de crescimento micelial, não diferindo entre si, demonstrando maior eficiência na restrição do desenvolvimento de *F. tucumaniae*.

A análise das equações de regressão reforça esses resultados (Tabela 2). A testemunha apresentou a maior taxa de crescimento micelial, representada pelo coeficiente angular de $0,4395 \text{ cm dia}^{-1}$, indicando rápido desenvolvimento da colônia na ausência do antagonista. Já os isolados TB01, TS02, TZ01, TK06 e TK05 apresentaram coeficientes angulares inferiores, variando entre $0,0545$ e $0,0616 \text{ cm dia}^{-1}$, indicando crescimento micelial significativamente mais lento e maior efeito inibitório sobre *F. tucumaniae*.

Figura 12 - Efeito antagonista de isolados de *Trichoderma* spp. sobre o crescimento micelial de *F. tucumaniae*. a) Crescimento micelial do patógeno (cm) em pareamento de culturas com os isolados TB01, TS02, TA01, TZ01, TK06 e TK05 ao longo de 10 dias de avaliação; b) crescimento micelial de *F. tucumaniae* no décimo dia de avaliação



*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, formaram mesmo grupo pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Arquivo pessoal (2026)

Tabela 2 - Equação da reta e R² ajustado referentes ao crescimento micelial de *F. tucumaniae*

<i>F. tucumaniae</i>	Equação	R ² ajustado
TEST	$y = 0.4395x + 2.4587$	$R^2 = 0.919$
TB01	$y = 0.0573x + 2.93$	$R^2 = 0.2727$
TS02	$y = 0.0545x + 2.71$	$R^2 = 0.2727$
TA01	$y = 0.2564x + 2.9207$	$R^2 = 0.655$
TZ01	$y = 0.0573x + 2.71$	$R^2 = 0.2727$
TK06	$y = 0.0616x + 2.578$	$R^2 = 0.2727$
TK05	$y = 0.0545x + 2.4$	$R^2 = 0.2727$

Fonte: Arquivo pessoal (2026)

Os resultados obtidos corroboram os de Carvalho *et al.* (2011), que avaliaram quatro isolados de *T. harzianum* no controle in vitro e verificaram redução de 35% a 51% na incidência de *F. oxysporum* em relação à testemunha. Resultados semelhantes foram encontrados por Medeiros *et al.* (2020), que verificaram que *T. viride* foi o agente antagonista mais eficiente na supressão do crescimento do *F. moniliforme*, apresentando média de 89% de inibição.

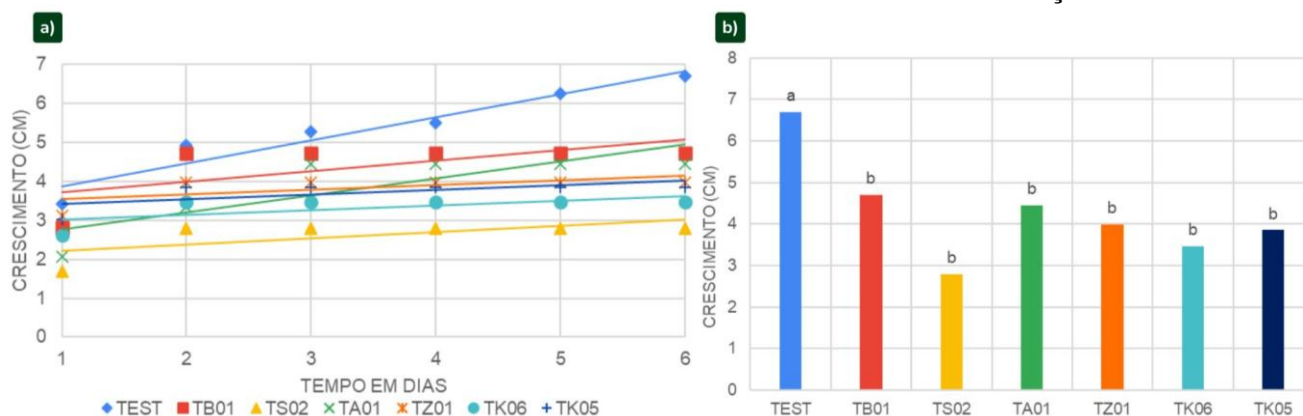
Da mesma maneira, Azevedo *et al.* (2020), observaram que isolados de *Trichoderma* spp. foram eficientes no antagonismo a *F. solani* e *F. oxysporum*, atribuindo esse efeito à competição por espaço e nutrientes e à produção de metabólitos capazes de inibir o crescimento micelial dos patógenos.

Na figura 13a observa-se o crescimento micelial de *S. sclerotiorum* ao longo dos seis dias de avaliação. A testemunha apresentou crescimento contínuo, enquanto os tratamentos contendo os isolados de *Trichoderma* spp., inibiram o crescimento do patógeno. Na Figura 13b é apresentado o crescimento micelial no sexto dia de avaliação, momento em que a testemunha atingiu o fechamento completo da placa

de Petri. Observa-se que todos os tratamentos contendo os isolados de *Trichoderma* spp. diferiram estatisticamente da testemunha, evidenciando efeito antagonista sobre o crescimento micelial do fitopatógeno, porém não diferiram entre si.

As equações de regressão demonstradas na Tabela 3 corroboram os resultados observados na Figura 13. A testemunha apresentou a maior taxa de crescimento micelial, com coeficiente angular de $0,5889 \text{ cm dia}^{-1}$, indicando rápido desenvolvimento da colônia na ausência do antagonista. Em contrapartida, todos os isolados apresentaram menores coeficientes, confirmando o efeito antagonista sobre o crescimento de *S. sclerotiorum*.

Figura 13 - Efeito antagonista de isolados de *Trichoderma* spp. sobre o crescimento micelial de *S. sclerotiorum*. a) Crescimento micelial do patógeno (cm) em pareamento de culturas com os isolados TB01, TS02, TA01, TZ01, TK06 e TK05 ao longo de 6 dias de avaliação; b) crescimento micelial de *S. sclerotiorum* no sexto dia de avaliação



*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, formaram mesmo grupo pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Arquivo pessoal (2026)

Tabela 3 - Equação da reta e R² ajustado referentes ao crescimento micelial de *S. sclerotiorum*

<i>S. sclerotiorum</i>	Equação	R ² ajustado
TEST	$y = 0.5889x + 3.2807$	0.9275
TB01	$y = 0.2714x + 3.4433$	0.4286
TS02	$y = 0.16x + 2.0533$	0.4286
TA01	$y = 0.4357x + 2.3433$	0.6791
TZ01	$y = 0.1214x + 3.4133$	0.4286
TK06	$y = 0.1214x + 2.8933$	0.4286
TK05	$y = 0.12x + 3.29$	0.4286

Fonte: Arquivo pessoal (2026)

Marchetti (2021) também verificou a redução do crescimento micelial de *S. sclerotiorum* ao avaliar 57 cepas de *Trichoderma* spp. em ensaios de antagonismo direto, obtendo média geral de inibição de 78,6%. De forma semelhante, Silva *et al.* (2022) verificaram que os isolados *T. lentiforme* CMAA 1585 e *T. asperelloides* CMAA

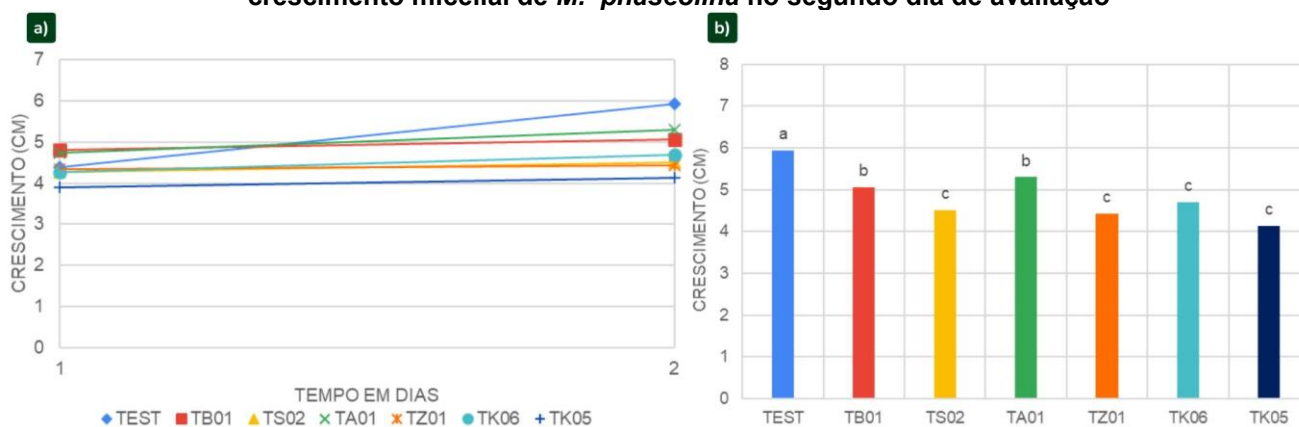
1584 reduziram significativamente a taxa de crescimento do patógeno em 55% e 53%, respectivamente. Além da atividade antagonista, os autores observaram que esses isolados foram capazes de solubilizar fósforo mineral, produzir compostos orgânicos voláteis que inibiram o crescimento micelial de *S. sclerotiorum* e promover crescimento de plantas de algodão em condições de casa de vegetação

Resultados semelhantes também foram relatados por Zhang *et al.* (2016), que observaram, em cultura pareada, que as hifas de *Trichoderma* se entrelaçaram com as hifas de *S. sclerotiorum*, formando estruturas características de micoparasitismo. Esse mecanismo proporcionou redução de 51,2% no crescimento micelial do fitopatógeno, além de promover o desenvolvimento das plantas.

A Figura 14a apresenta o crescimento micelial de *M. phaseolina* em confronto com os isolados de *Trichoderma* durante os dois dias de avaliação. Observa-se que todos os tratamentos promoveram inibição do desenvolvimento do fitopatógeno, com destaque para os isolados TS02 (*T. scalesiae*), TZ01 (*T. zeloharzianum*), TK06 e TK05, ambos pertencentes à espécie *T. koningiopsis* e formaram mesmo grupo em eficiência (Figura 14b).

As equações de regressão demonstradas na Tabela 4 corroboram os resultados observados na Figura 14. A testemunha apresentou a maior taxa de crescimento micelial, com maior coeficiente angular quando comparados aos isolados de *Trichoderma spp.*

Figura 14 - Efeito antagonista de isolados de *Trichoderma spp.* sobre o crescimento micelial de *M. phaseolina*. a) Crescimento micelial do patógeno (cm) em pareamento de culturas com os isolados TB01, TS02, TA01, TZ01, TK06 e TK05 ao longo de 2 dias de avaliação; b) crescimento micelial de *M. phaseolina* no segundo dia de avaliação



*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, formaram mesmo grupo pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Arquivo pessoal (2026)

Tabela 4 - Equação da reta e R² ajustado referentes ao crescimento micelial de *M. phaseolina*

<i>M. phaseolina</i>	Equação	R ² ajustado
TEST	$y = 1.55x + 2.83$	1
TB01	$y = 0.25x + 4.56$	1
TS02	$y = 0.25x + 4.01$	1
TA01	$y = 0.57x + 4.16$	1
TZ01	$y = 0.1x + 4.23$	1
TK06	$y = 0.42x + 3.86$	1
TK05	$y = 0.23x + 3.67$	1

Fonte: Arquivo pessoal (2026)

Sarzia *et al.* (2024) observou o mesmo efeito em ensaios de confronto direto, onde o isolado ECO (*T. harzianum*) apresentou maior percentual de inibição do crescimento micelial de *M. phaseolina*, alcançando 43,19%. De forma semelhante, Parmar e Patel (2020) verificaram que cinco isolados de *Trichoderma sp.* exerceram efeito antagonista sobre o crescimento micelial de *M. phaseolina* em soja.

Resultados semelhantes foram descritos por Sridharan *et al.* (2021), que observaram que *T. longibrachiatum* reduziu em 58% o crescimento de *M. phaseolina*, além de apresentar efeito de antibiose.

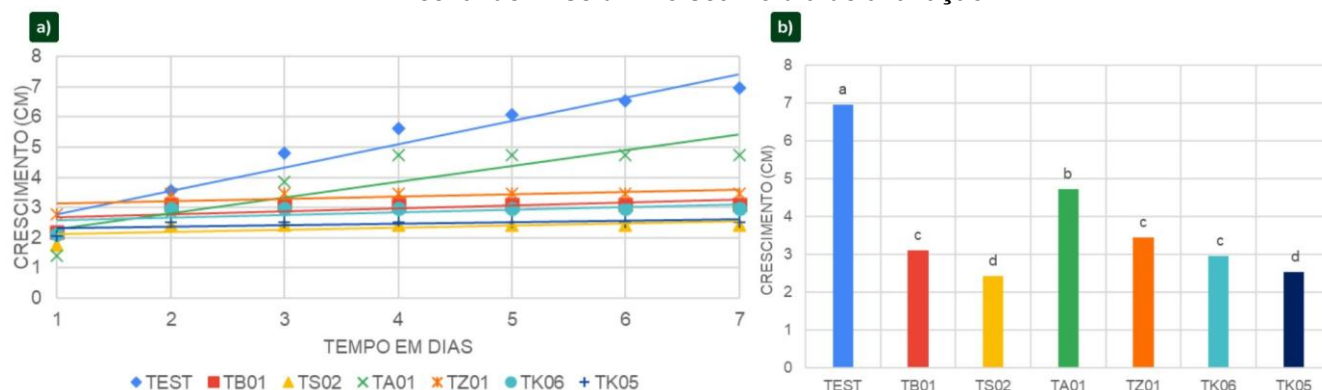
Da mesma maneira, Mendoza *et al.* (2015) verificaram a inibição do crescimento micelial do patógeno, observando que onze isolados de *Trichoderma spp.* parasitaram as hifas de *M. phaseolina*, enquanto quatro isolados formaram halos de inibição em meio de cultura, característico de atividade antibiótica.

Na figura 15a observa-se o crescimento micelial de *R. solani* ao longo dos sete dias de avaliação. A testemunha apresentou crescimento contínuo, atingindo aproximadamente 6,7 cm de diâmetro no sétimo dia, enquanto os tratamentos contendo os isolados de *Trichoderma spp.*, inibiram o crescimento do patógeno.

Na Figura 15b é apresentado o crescimento micelial no sétimo dia de avaliação, momento em que a testemunha atingiu o fechamento completo da placa de Petri. Entre os isolados avaliados, TS02 (*T. scalesiae*) e TK05 (*T. koningiopsis*) apresentaram maior potencial antagonista, promovendo as maiores inibições do desenvolvimento do fitopatógeno.

Sendo comprovados também, pelas equações de regressão demonstradas na Tabela 5. A testemunha apresentou a maior taxa de crescimento micelial, com maior coeficiente angular quando comparados aos isolados de *Trichoderma spp.*

Figura 15 - Efeito antagonista de isolados de *Trichoderma* spp. sobre o crescimento micelial de *R. solani*. a) Crescimento micelial do patógeno (cm) em pareamento de culturas com os isolados TB01, TS02, TA01, TZ01, TK06 e TK05 ao longo de 7 dias de avaliação; b) crescimento micelial de *R. solani* no sétimo dia de avaliação



*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, formaram mesmo grupo pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Arquivo pessoal (2026)

Tabela 5 - Equação da reta e R² ajustado referentes ao crescimento micelial de *R. solani*

<i>R. solani</i>	Equação	R ² ajustado
TEST	$y = 0.7771x + 1.9886$	0.9321
TB01	$y = 0.0975x + 2.59$	0.375
TS02	$y = 0.0718x + 2.0471$	0.375
TA01	$y = 0.5225x + 1.77$	0.7575
TZ01	$y = 0.0729x + 3.0714$	0.375
TK06	$y = 0.0911x + 2.4743$	0.375
TK05	$y = 0.0504x + 2.2614$	0.375

Fonte: Arquivo pessoal (2026)

Resultados semelhantes foram relatados por Gabardo et al. (2020), que observaram redução significativa do crescimento de *R. solani* em confronto direto com *Trichoderma asperellum*, atingindo 78,81% de inibição em relação à testemunha. Os autores também verificaram a formação de halos de inibição em meio de cultura, evidenciando a ocorrência do mecanismo de antibiose.

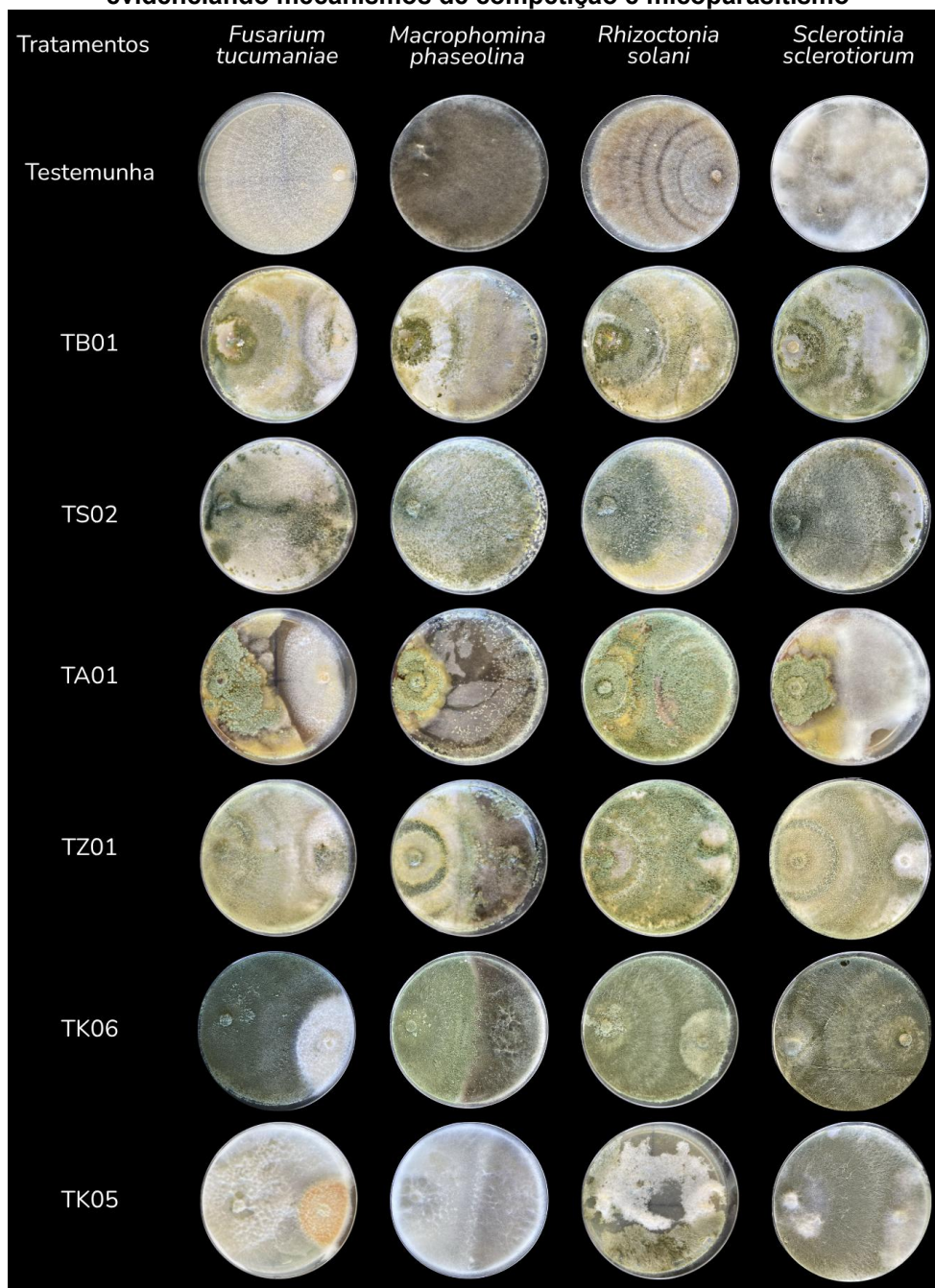
Da mesma forma, Mayo et al. (2015) verificaram que isolados de *Trichoderma* inibiram o desenvolvimento de *R. solani* em ensaios in vitro, alcançando até 72,77% de inibição do crescimento micelial em testes de confrontação direta.

O teste de cultura pareada é amplamente utilizado na seleção de agentes de controle biológico, pois permite avaliar a capacidade dos antagonistas em restringir o crescimento de fitopatógenos por meio de diferentes mecanismos de ação. Elevados níveis de inibição observados neste ensaio indicam maior potencial dos isolados para colonizar o substrato e interagir diretamente com o patógeno, favorecendo processos como micoparasitismo, competição por espaço e nutrientes, além da possível

produção de metabólitos antifúngicos (Bosah *et al.*, 2010).

Esses mecanismos podem ser observados nas Figuras 16 e 17, nas quais os isolados de *Trichoderma* colonizaram e restringiram o crescimento de *F. tucumaniae*, *S. sclerotiorum*, *M. phaseolina* e *R. solani*.

Figura 16 - Interação antagônica entre isolados de *Trichoderma* e os fitopatógenos *F. tucumaniae*, *M. phaseolina*, *R. solani* e *S. sclerotiorum* em ensaio de pareamento de culturas, evidenciando mecanismos de competição e micoparasitismo



Fonte: Arquivo pessoal (2026)

Figura 17 - Mecanismos de ação de *Trichoderma* spp. no controle de fitopatógenos: a) Micoparasitismo; b) competição por espaço e nutrientes



Fonte: Arquivo pessoal (2026)

5.2 Efeito na germinação e índice de velocidade de emergência de soja

Os tratamentos com diferentes isolados de *Trichoderma* não influenciaram significativamente na porcentagem de germinação das sementes de soja, cujas médias variaram entre 95,5% e 99,5% (Tabela 6). Entretanto, observou-se diferença estatística para o índice de velocidade de emergência (IVE), onde todos os tratamentos inoculados com os fungos apresentaram valores superiores em comparação com a testemunha, formando um único grupo.

Tabela 6 - Porcentagem de germinação (%) e índice de velocidade de emergência (IVE) de sementes de soja submetidas a tratamentos com diferentes isolados de *Trichoderma*

Tratamentos	Porcentagem de germinação (%)	IVE
TESTEMUNHA	99,5 n.s.	8,70 b*
TB01	95,5	9,23 a
TS02	97,5	9,60 a
TA01	99,0	9,46 a
TZ01	98,5	9,27 a
TK06	96,0	9,49 a
TK05	98,5	9,58 a
CV (%)	2,22	3,65

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, foram agrupadas em mesmo grupo pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade. n.s. = não significativo pelo teste F. CV – Coeficiente de variação.

Fonte: Arquivo pessoal (2026)

A ausência de diferença significativa para a porcentagem de germinação pode estar relacionada à elevada qualidade fisiológica do lote de sementes utilizado, visto que todas as médias permaneceram superiores a 95%. Resultados semelhantes

foram observados por Sá (2020), que avaliou cinco espécies de *Trichoderma* em diferentes doses no tratamento de sementes de soja em quatro localidades (Ponta Grossa/PR, Céu Azul/PR, Dourados/MS e Primavera do Leste/MT) na safra 2018/2019, não verificando diferenças na emergência das plântulas. Da mesma forma, Barbieri (2023), avaliando sementes de soja tratadas com o produto comercial Pardella®, composto por *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma asperellum* e *Bacillus amyloliquefaciens*, também não verificou acréscimo na germinação da cultura.

Por outro lado, os resultados demonstraram que a inoculação com *Trichoderma* favoreceu a velocidade de emergência das plântulas. Os valores de IVE variaram de 9,23 a 9,60 nos tratamentos inoculados, enquanto a testemunha apresentou média de 8,70. Esses resultados evidenciam que os isolados contribuíram para uma emergência mais rápida e uniforme das plântulas de soja, reforçando o potencial bioestimulante do fungo.

O IVE está relacionado ao vigor das sementes e ao estabelecimento inicial da cultura. Segundo Marcos Filho *et al.* (2009), a emergência rápida e uniforme são características fundamentais para a formação adequada do estande de plantas, favorecendo o potencial produtivo da lavoura. Além disso, Wendt *et al.* (2017) destacam que o IVE é um indicador do desempenho inicial das plântulas em condições de campo.

Tsahouridou e Thanassouloupoulos (2002) verificaram que isolados de *Trichoderma koningii* proporcionaram maior emergência de sementes de tomate (*Solanum lycopersicum*), além de promoverem aumentos na massa fresca e seca das plantas. De forma semelhante, Baseggio *et al.* (2017) relataram que o tratamento de sementes de aveia-preta e cevada com *Trichoderma* spp. favoreceu a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas.

Esse aumento observado na velocidade de emergência pode estar atribuído à capacidade de espécies de *Trichoderma* estimular o crescimento vegetal. Silva *et al.* (2019), relatam que esses fungos são capazes de induzir a produção de fitormônios, como auxinas e etileno, além de favorecer a disponibilidade de nutrientes, por meio da solubilização de fosfato e liberação de metabólitos secundários e sideróforos. Como consequência, há uma aceleração no processo de emergência da semente, permitindo que a plântula de soja emergja de forma mais rápida e vigorosa.

5.3 Efeito de isolados de *Trichoderma* no desenvolvimento inicial de plantas de soja

A Tabela 7 apresentou o efeito do tratamento de sementes com seis isolados de *Trichoderma* sobre o desenvolvimento inicial de plantas de soja no estágio fenológico V1.

Tabela 7 - Efeito do tratamento de sementes com isolados de *Trichoderma* sobre o comprimento da parte aérea (COMP-PA), comprimento radicular (COMP-RZ), massa seca da parte aérea (MS-PA) e massa seca das raízes (MS-RZ) de plantas de soja no estágio fenológico V1.

Tratamentos	COMP-PA (cm)	COMP-RZ (cm)	MS-PA (g)	MS-RZ (g)
TESTEMUNHA	23,25 b*	15,59 n.s.	1,18 c	0,22 n.s.
TB01	24,65 a	15,74 n.s.	1,21 c	0,21
TS02	24,80 a	17,05 n.s.	1,33 b	0,25
TA01	25,95 a	18,35 n.s.	1,47 a	0,23
TZ01	24,98 a	19,86 n.s.	1,58 a	0,23
TK06	24,64 a	19,67 n.s.	1,46 a	0,28
TK05	25,21 a	19,44 n.s.	1,46 a	0,23
CV (%)	2,72	15,59	6,08	18,43

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, foram agrupadas em mesmo grupo pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade. n.s. = não significativo pelo teste F. CV – Coeficiente de variação.

Fonte: Arquivo pessoal (2026)

Verificou-se diferença significativa dos tratamentos para o comprimento da parte aérea (COMP-PA) e massa seca da parte aérea (MS-PA). Em contrapartida, não houve diferença estatística para o comprimento radicular (COMP-RZ) e massa seca das raízes (MS-RZ).

Todos os isolados de *Trichoderma* promoveram incremento no comprimento da parte aérea em relação à testemunha, uma vez que formaram um único grupo. As médias variaram entre 24,64 e 25,95 cm nos tratamentos inoculados, enquanto a testemunha apresentou comprimento médio de 23,25 cm.

O aumento do COMP-PA pode estar relacionado ao mecanismo de promoção de crescimento mediado por espécies de *Trichoderma*. Esses fungos favorecem a disponibilização e absorção de nutrientes, estimulam a germinação e o crescimento vegetal, além de aumentar a tolerância das plantas a estresses bióticos e abióticos (Contreras-Cornejo *et al.*, 2009). Adicionalmente, são responsáveis por modificações no conteúdo de fitormônios, como auxinas (Hermosa *et al.*, 2013), que são

substâncias que estimulam a elongação celular nos vegetais, contribuindo para o maior crescimento da parte aérea (Taiz e Zeiger, 2006).

Lima *et al.* (2012), observaram aumento na altura de plantas e massa seca da parte aérea e raiz de abacaxizeiro (*Ananas comosus*), ao utilizarem produtos comerciais à base de *Trichoderma* spp. Da mesma maneira, Scatambulo (2017) verificou que o tratamento em sementes de trigo com o fungo *T. asperellum* promoveu crescimento vegetativo e incremento na biomassa da parte aérea da planta.

Para a massa seca da parte aérea, os isolados TA01 (*T. anaharzianum*), TZ01 (*T. zeloharzianum*), TK06 (*T. koningiopsis*) e TK05 (*T. koningiopsis*) formaram grupo com maiores valores, variando entre 1,46 e 1,58 g, enquanto a testemunha apresentou média de 1,18 g.

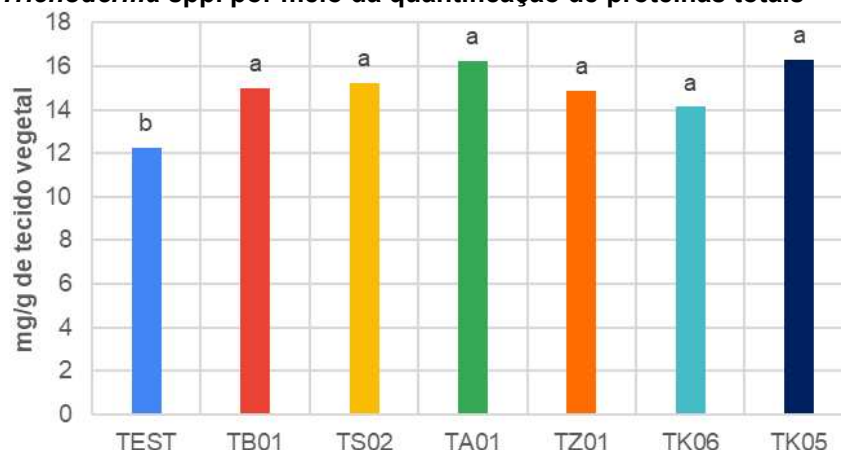
Chagas et al. (2017) evidenciaram o potencial de *Trichoderma asperellum* UFT 201 na promoção do crescimento de milho, arroz, soja e feijão, verificando incrementos superiores a 60% em relação à testemunha para as variáveis de matéria seca da parte aérea, massa seca da raiz e massa seca total.

Santos et al. (2010) concluíram que o uso de *Trichoderma* spp. proporcionou resultados positivos no incremento de massa fresca e seca de plantas de maracujá oriundas de estacas.

5.4 Resposta da defesa de plantas de soja inoculadas com isolados de *Trichoderma*

Em relação às proteínas totais, todos os tratamentos contendo *Trichoderma* foram agrupados em único grupo, cujos foram significativamente superiores à testemunha. Enquanto a testemunha apresentou teor médio de 12,27 mg g⁻¹ de tecido vegetal, os tratamentos inoculados variaram entre 14,13 e 16,29 mg g⁻¹, correspondendo a incrementos de aproximadamente 15 a 33% (Figura 18).

Figura 18 - Resposta de defesa de plantas de soja inoculadas com isolados de *Trichoderma* spp. por meio da quantificação de proteínas totais



***Médias seguidas pela mesma letra na coluna, formaram mesmo grupo pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.
Fonte: Arquivo pessoal (2026)**

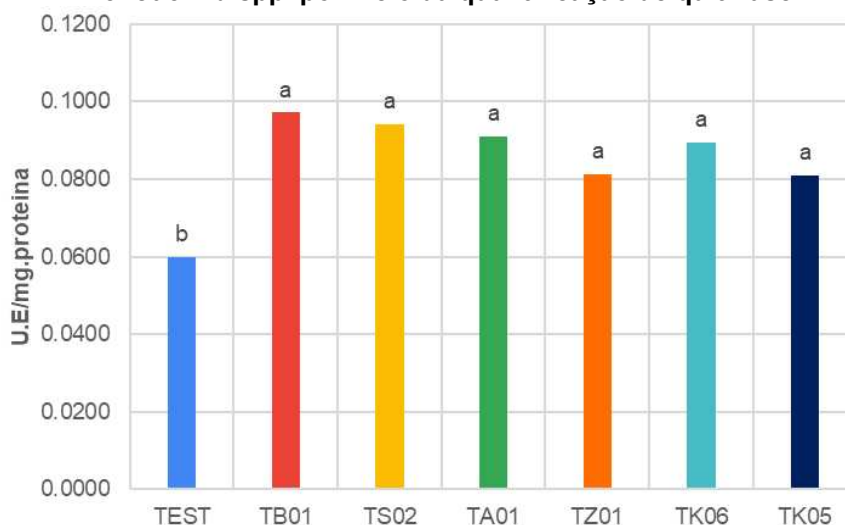
O aumento do conteúdo proteico pode indicar maior atividade metabólica das plantas tratadas, refletindo a síntese de proteínas estruturais, enzimáticas e proteínas relacionadas à defesa.

Segundo Harman *et al.* (2004), a colonização radicular por espécies de *Trichoderma* promove alterações na expressão gênica vegetal, resultando no aumento da síntese de proteínas envolvidas tanto no crescimento quanto nos mecanismos de proteção contra estresses bióticos e abióticos.

Além disso, a interação planta-*Trichoderma* desencadeia uma série de modificações fisiológicas e metabólicas que podem favorecer o estabelecimento de um estado de maior prontidão defensiva nas plantas (Lorito *et al.*, 2010).

A Figura 19 demonstrou que a atividade de quitinase apresentou comportamento semelhante ao observado para proteínas totais. Todos os tratamentos inoculados formaram um único grupo diferente da testemunha, demonstrando que a presença de *Trichoderma* foi capaz de estimular a produção dessa enzima.

Figura 19 - Resposta de defesa de plantas de soja inoculadas com isolados de *Trichoderma* spp. por meio da quantificação de quitinase



***Médias seguidas pela mesma letra na coluna, formaram mesmo grupo pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.**

Fonte: Arquivo pessoal (2026)

As quitinases pertencem ao grupo das proteínas relacionadas à patogênese (PR-proteínas) e atuam na hidrólise da quitina, principal componente estrutural da parede celular de diversos fungos fitopatogênicos (Pusztahelyi, 2018). Dessa forma, o aumento da atividade quitinolítica sugere ativação dos mecanismos de defesa vegetal mesmo na ausência de infecção, caracterizando um processo de resistência sistêmica induzida.

Segundo Benítez et al. (2004), espécies de *Trichoderma* são capazes de estimular a produção de enzimas hidrolíticas relacionadas à defesa vegetal, incluindo quitinases e glucanases, contribuindo para a proteção das plantas contra patógenos.

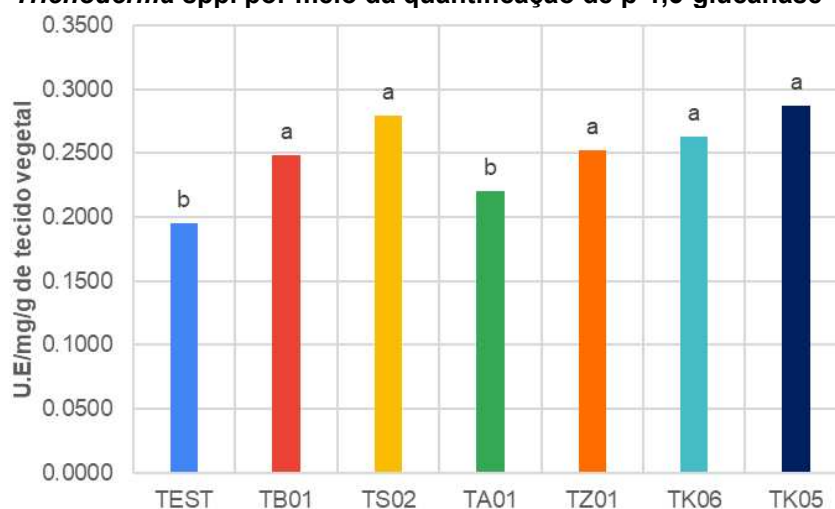
Diversos estudos relatam que espécies de *Trichoderma* são capazes de ativar rotas de sinalização dependentes de ácido jasmônico e etileno, promovendo o acúmulo de proteínas PR e preparando a planta para responder de forma mais rápida e eficiente a futuros ataques de patógenos (Harman et al., 2004; Shores, Harman; Mastouri, 2010). Esse processo está associado ao fenômeno denominado "priming", caracterizado pelo pré-condicionamento fisiológico da planta, permitindo uma ativação mais rápida e intensa dos mecanismos de defesa quando ocorre a percepção de um agente estressor (Pascholati; Dalio, 2018).

Estudos demonstram que espécies de *Trichoderma* atuam diretamente na indução desse estado de alerta metabólico, favorecendo o acúmulo de proteínas e moléculas sinalizadoras em formas inativas ou basais, que podem ser rapidamente

mobilizadas diante de um ataque patogênico. Como consequência, as plantas apresentam respostas imunes mais eficientes e maior capacidade de restringir a colonização por fitopatógenos (Morán-Díez et al., 2021).

Para a atividade de β -1,3-glucanase, formaram-se dois grupos, sendo o de maior média formado por TS02, TK05, TK06, TB01 e TZ01, e o de menor média pela testemunha e TA01 (Figura 20).

Figura 20 - Resposta de defesa de plantas de soja inoculadas com isolados de *Trichoderma* spp. por meio da quantificação de β -1,3-glucanase



*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, formaram mesmo grupo pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Arquivo pessoal (2026)

A β -1,3-glucanase é outra importante proteína PR envolvida na degradação de glucanas presentes na parede celular de fungos. Sua atuação conjunta com as quitinases potencializa a desestruturação da parede fúngica, dificultando a colonização dos tecidos vegetais por agentes patogênicos. Além disso, os oligossacarídeos liberados durante a degradação da parede celular podem atuar como elicitores, amplificando as respostas de defesa da planta (Benítez et al., 2004).

Os resultados obtidos corroboram diversos estudos que demonstram a capacidade de espécies de *Trichoderma* em induzir mecanismos bioquímicos de defesa em diferentes culturas. Guzmán-Valle et al. (2013), avaliando variedades de cebola inoculadas com *Sclerotium rolfsii*, verificaram que a aplicação de *Trichoderma asperellum* promoveu aumento significativo da atividade de glucanase, quitinase e peroxidase em raízes, bulbos e folhas, evidenciando a ativação dos mecanismos de resistência da planta.

De forma semelhante, Muthukumar e Venkatesh (2014) observaram incremento na atividade de enzimas relacionadas à defesa em plantas tratadas com *Trichoderma harzianum*, isoladamente ou em associação com *Pseudomonas fluorescens*, durante a interação com *S. rolfii*. Resultados semelhantes também foram relatados por Singh et al. (2014), que constataram aumento das atividades de fenilalanina amônia-liase, polifenoloxidase, peroxidase e cinamil álcool desidrogenase em girassol após tratamento de sementes com *T. harzianum*. Os autores também observaram elevação nos teores de compostos fenólicos, maior deposição de lignina e aumento do acúmulo de proteínas relacionadas à patogênese, demonstrando o amplo potencial de *Trichoderma* na ativação de mecanismos de resistência vegetal.

A elevação conjunta da atividade de quitinase e β -1,3-glucanase observada neste estudo constitui evidência de que os isolados avaliados promoveram a ativação de mecanismos bioquímicos associados à resistência induzida.

Segundo Shores, Harman e Mastouri (2010), a indução dessas enzimas representa um dos principais indicadores bioquímicos da resistência sistêmica induzida mediada por espécies de *Trichoderma*. Dessa forma, os resultados sugerem que as plantas tratadas se encontravam em um estado fisiológico de maior prontidão defensiva, condição que pode resultar em maior tolerância ao ataque de fitopatógenos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstrou que os isolados de *Trichoderma* spp. apresentaram potencial para aplicação no manejo biológico de fitopatógenos da soja, associando atividade antagonista, estabelecimento inicial e indução de respostas bioquímicas relacionadas à defesa da planta.

No ensaio de confronto direto, todos os isolados foram capazes de reduzir o crescimento micelial dos fitopatógenos avaliados, evidenciando a eficiência desses antagonistas por meio de mecanismos como competição por espaço e nutrientes e micoparasitismo. Entretanto, observou-se comportamento distinto entre os isolados, com diferentes níveis de inibição para cada patógeno. Os isolados TS02 e TK05 apresentaram maior potencial de inibição para *R. solani*, enquanto TK05, TK06, TS02 e TZ01 se destacaram no controle de *F. tucumaniae*. Para *S. sclerotiorum* e *M. phaseolina*, não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos, porém todos os isolados promoveram redução do crescimento em relação à testemunha.

Quanto ao estabelecimento inicial, o tratamento de sementes com os isolados de *Trichoderma* não influenciou sobre o poder germinativo, mantendo índices superiores a 95%. No entanto, todos os tratamentos proporcionaram incremento no índice de velocidade de emergência, favorecendo o estabelecimento inicial das plântulas. Além disso, os isolados promoveram aumento no comprimento da parte aérea e no acúmulo de massa seca, com destaque para TS02, TZ01, TA01, TK05 e TK06.

Na avaliação das respostas bioquímicas de defesa das plantas de soja, todos os tratamentos promoveram aumento nas variáveis analisadas em comparação à testemunha. Com destaque para o TK05 que apresentou os maiores valores para proteínas totais e β -1,3-glucanase, enquanto o TB01, promoveu a maior atividade de quitinase.

De maneira geral, observou-se que nenhum isolado apresentou desempenho superior em todas as variáveis analisadas, demonstrando que a seleção dos agentes para o controle biológico deve-se considerar o objetivo da utilização. Os resultados obtidos corroboram estudos da literatura que atribuem às espécies de *Trichoderma* múltiplos mecanismos de ação, reforçando seu potencial como ferramenta para o manejo sustentável de doenças na cultura da soja e alternativa para a redução da dependência de métodos químicos.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, A. et al. *Trichoderma* spp. genes involved in the biocontrol activity against *Rhizoctonia solani*. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 13, art. 884469, 2022. DOI: 10.3389/fmicb.2022.884469.
- ABREU, L. M.; PFENNING, L. H. O gênero *Trichoderma*. In: MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. (org.). **Trichoderma: uso na agricultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 163-179.
- ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G. Produção, determinação e calibração da concentração de inóculo em suspensão. In: ALFENAS, A. C.; MAFIA, R. G. (ed.). Métodos em fitopatologia. Viçosa, MG: UFV, 2007. p. 103-116.
- ALMEIDA, A. M. R. et al. Doença da soja (*Glycine max* L.). IN: KIMATI, H. et al. **Manual de fitopatologia – Doenças das plantas cultivadas**. São Paulo: Agronômica Ceres, v.2, p. 642-648, 1997.
- ALMEIDA, A. M. R.; et al. **Macrophomina phaseolina em soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2014. 55 p. (Embrapa Soja. Documentos, 346).
- AOKI, T.; O'DONNELL, K.; HOMMA, Y.; LATTANZI, A.R. Sudden death syndrome of soybean in South America is caused by four species of *Fusarium*: *Fusarium brasiliense* sp. nov., *F. cuneirostrum* sp. nov., *F. tucumaniae*, and *F. virguliforme*. **Mycoscience**, v. 46, p. 162183, 2005.
- AZEVEDO, D. M. Q. et al. Efeito antagonista de isolados de *Trichoderma* e seus metabólitos contra *Fusarium solani* e *F. oxysporum* em grão-de-bico. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 6, p. 36344-36361, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n6-309.
- BARBIERI, C. R. **Biológicos no controle de doenças, indução de resistência e promoção de crescimento na cultura da soja**. 2023. Tese (Doutorado em Agronomia – Área de Concentração: Produção Vegetal) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2023.
- BARROS, F. C.; SAGATA, E.; FERREIRA, L. C. C.; JULIATTI, F. C. Indução de resistência em plantas contra fitopatógenos. **Bioscience Journal**, v. 26, p. 231-239, 2010.
- BASEGGIO, E. R.; BERTELA, M.; PAULA, S.; MILANESI, P. M. Microbiolização com *Trichoderma* spp., combinada ou não com polímero, sobre a sanidade, germinação e vigor de sementes de aveia preta e cevada. **Scientific Electronic Archives**, v. 10, n. 6, p. 39-44, 2017.
- BELLÉ, R. B.; FONTANA, D. C. **Patógenos de solo**: principais doenças vasculares e radiculares e formas de controle. Enciclopédia Biosfera, Goiânia: Centro Científico Conhecer, v. 15, n. 28, p. 779–803, 2018. Disponível em: <https://conhecer.org.br/enciclop/2018B/AGRAR/patogenos.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2026.

graos/boletim-da-safra-de-graos/5o-levantamento-safra-2025-26/e-book_boletim-de-safras-5o-levantamento_2026.pdf. Acesso em: 14 abr. 2026.

CONTRERAS-CORNEJO, H. A.; MACÍAS-RODRÍGUEZ, L.; CORTÉS-PENAGOS, C.; LÓPEZ-BUCIO, J. *Trichoderma virens*, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxin-dependent mechanism in Arabidopsis. **Plant Physiology**, Rockville, v. 149, n. 3, p. 1579-1592, 2009. DOI: 10.1104/pp.108.130369.

COOK, R. J.; BAKER, K. F. The nature and practice of biological control of plant pathogens. St. Paul: **The American Phytopathological Society**, p.539, 1983

CORREIA, K. C.; MICHEREFF, S. J. Fundamentos e desafios do manejo de doenças radiculares causadas por fungos. In: LOPES, U. P.; MICHEREFF, S. J. (org.). **Desafios do manejo de doenças radiculares causadas por fungos**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2018. p. 13-28.

CROPDATA. **Plataforma de dados da CropLife Brasil**. CropLife Brasil, 2026. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/cropdata/>. Acesso em: 18 maio 2026.

DE MEYER, G.; BIGIRIMANA, J.; ELAD, Y.; HÖFTE, M. Induced systemic resistance in *Trichoderma harzianum* T39 biocontrol of Botrytis cinerea. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 104, p. 279-286, 1998.

DEKETELAERE, S.; TYVAERT, L.; FRANÇA, S. C.; HÖFTE, M. Desirable traits of a good biocontrol agent against *Verticillium* wilt. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, p. 1186, 2017. DOI: 10.3389/fmicb.2017.01186.

DENNIS, C., WEBSTER, J. Antagonistic properties of species groups of *Trichoderma* III. Hyphal interactions. **Transactions of the British Mycological Society**, Cambridge, v. 57, n. 1, p. 59-363, 1971.

EL ENSHASY, H. A. et al. *Trichoderma*: biocontrol agents for promoting plant growth and soil health. In: [s.l.] **Agriculturally Important Fungi for Sustainable Agriculture**. p. 239–259, 2020.

FAO. **FAOSTAT**: database. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 14 abr. 2026.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 8 p. Embrapa Soja. Circular Técnica, 48. Disponível em: file:///C:/Users/augus/Downloads/circotec48.pdf. Acesso em: 18 abr. 2026.

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11p.

GABARDO, G.; DALLA PRIA, M.; PRESTES, A. M. C.; SILVA, H. L. *Trichoderma asperellum* e *Bacillus subtilis* como antagonistas no crescimento de fungos fitopatogênicos in vitro. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 8, p. 55870-55885, 2020. DOI:10.34117/bjdv6n8-123.

GAZZONI, D. L.; DALL'AGNOL, A. **A saga da soja**: de 1050 a.C. a 2050 d.C. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

GUPTA, G.K.; SHARMA, S.K.; RAMTEKE, R. Biology, epidemiology and management of the pathogenic fungus *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid with special reference to Charcoal rot of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. **Journal of Phytopathology**, v. 160, p. 167–180, 2012.

GUZMÁN-GUZMÁN, P. *et al.* *Trichoderma* species: our best fungal allies in the biocontrol of plant diseases – a review. **Plants**, Basel, v. 12, n. 3, art. 432, 2023. DOI: 10.3390/plants12030432.

GUZMÁN-VALLE, P. *et al.* Induction of resistance to *Sclerotium rolfsii* in different varieties of onion by inoculation with *Trichoderma asperellum*. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 137, n. 1, p. 115–123, 2013.

GUZZO, S. D.; MARTINS, E. M. F. Local and systemic induction of β -1,3-glucanase and chitinase in coffee leaves protected against *Hemileia vastatrix* by *Bacillus thuringiensis*. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 144, n. 9–10, p. 449–454, 1996.

HARMAN, G. E.; HOWELL, C. R.; VITERBO, A.; CHET, I.; LORITO, M. *Trichoderma* species: opportunistic, avirulent plant symbionts. **Nature Reviews Microbiology**, Londres, v. 2, n. 1, p. 43–56, 2004. DOI: 10.1038/nrmicro797.

HENNING, A. A. *et al.* **Manual de identificação de doenças de soja**. 5. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2014. 76 p. (Documentos, 256).

HENNING, A. A. **Patologia e tratamento de sementes: noções gerais**. 2. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2005. 52 p. (Embrapa Soja. Documentos, 264).

HERMOSA, R.; RUBIO, M. B.; CARDOZA, R. E.; NICOLÁS, C.; MONTE, E.; GUTIÉRREZ, S. The contribution of *Trichoderma* to balancing the costs of plant growth and defense. **International Microbiology**, v. 16, n. 2, p. 69–80, 2013. DOI: 10.2436/20.1501.01.181.

HERMOSA, R.; VITERBO, A.; CHET, I.; MONTE, E. Plant-beneficial effects of *Trichoderma* and of its genes. **Microbiology**, v. 158, n. 1, p. 17–25, 2012.

ISLAM, M. S.; HAQUE, M. S.; ISLAM, M. M.; EMDAD, E. M.; HALIM, A. *et al.* Ferramentas para matar: genoma de um dos fungos patogênicos mais destrutivos de plantas *Macrophomina phaseolina*. **Bmc Genomics**, v. 13, n. 1, p. 493, 2012. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-13-493>

ITO, M. F. Principais doenças da cultura da soja e manejo integrado. **Revista Nucleus**, v. 10, n. 3, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.3738/nucleus.v0i0.908>. Acesso em: 18 abr. 2026.

KAUR, S. *et al.* Emerging phytopathogen *Macrophomina phaseolina*: biology, economic importance and current diagnostic trends. **Critical Reviews in Microbiology**, v. 38, n. 2, p. 136–151, 2012.

KHAN, R. A. A. *et al.* Bioactive secondary metabolites from *Trichoderma* spp. against phytopathogenic fungi. **Microorganisms**, Basel, v. 8, n. 6, art. 817, 2020. DOI: 10.3390/microorganisms8060817.

KUBICEK, C. P.; HARMAN, G. E. ***Trichoderma and Gliocladium: basic biology, taxonomy and genetics***. London: Taylor and Francis, v. 1, 1998.

LAPERA, C. A. I.; LIMA, M. W. de P.; VILARINHO, M. S. Ecofisiologia da soja. In: DIAS, J. P. T. (org.). **Ecofisiologia de culturas agrícolas**. Belo Horizonte: EdUEMG, 2018. cap. 8.

LI, R. X. et al. Solubilisation of phosphate and micronutrients by *Trichoderma harzianum* and its relationship with the promotion of tomato plant growth. **PLoS One**, San Francisco, v. 10, n. 6, e0130081, 2015.

LIMA, F. S. O. et al. Promoção de crescimento e desenvolvimento inicial de mudas de abacaxi por *Trichoderma* spp. **Revista Integralização Universitária**, Palmas, v. 5, n. 7, p. 57-63, 2012.

LOBO JUNIOR, M. **Mofo-branco: aspectos epidemiológicos e estratégias de manejo**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2011. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/916097/1/palestra6.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2026.

LORITO, M.; WOO, S. L.; HARMAN, G. E.; MONTE, E. Translational research on *Trichoderma*: from omics to the field. **Annual Review of Phytopathology**, v. 48, p. 395–417, 2010.

MACHADO, T. A. *et al.* Produção de ácido indol-acético por isolados de *Trichoderma* spp. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA. 49., 2016, Maceió. **Resumos**. Maceió: SBF, 2016.

MACÍAS-RODRÍGUEZ, L. et al. The interactions of *Trichoderma* at multiple trophic levels: inter-kingdom communication. **Microbiological Research**, Amsterdam, v. 240, 2020. DOI: 10.1016/j.micres.2020.126552.

MARCHETTI, C. R. **Controle biológico de *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary e promoção de crescimento de plantas de feijão por cepas de *Trichoderma* spp. isoladas em Mato Grosso do Sul**. 2021. Tese (Doutorado em Ecologia e Conservação) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Instituto de Biociências, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2021.

MARCOS FILHO, J.; KIKUTI, A. L. P.; LIMA, L. B. de. Métodos para avaliação do vigor de sementes de soja, incluindo a análise computadorizada de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 1, p. 102-112, 2009.

MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T.; WUTKE, E. B.; KIKUTI, H. Nitrogênio: a soja aduba a lavoura da cana. **O Agrônomo**. Campinas, v. 1, n. 57, 2005.

MASTOURI, F.; BJÖRKMAN, T.; HARMAN, G. E. *Trichoderma harzianum* enhances antioxidant defense of tomato seedlings and resistance to water deficit. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, Saint Paul, v. 25, n. 9, p. 1264-1271, 2012.

MAYO, S. et al. Influence of *Rhizoctonia solani* and *Trichoderma* spp. in growth of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and in the induction of plant defense-related genes. **Frontiers in plant science**, v. 6, p. 685, 2015.

MCGOVERN, R. J. Management of tomato diseases caused by *Fusarium oxysporum*. **Crop Protection**, v. 73, p. 78–92, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.02.021>.

MEDEIROS, J. C. D.; MARTINS, W. S.; MIRANDA, F. F. R. de. Antagonismo de *Trichoderma* spp. no biocontrole de *Fusarium moniliforme* na cultura do milho. **Revista Sítio Novo**, Palmas, v. 4, n. 4, p. 169-178, out./dez. 2020.

MENDOZA, J.L., PÉREZ, M.I., PRIETO, J.M., VELÁSQUEZ, J.D., OLIVARES, J.G., LANGARICA, H.R. Antibiose de cepas de *Trichoderma* spp nativas do nordeste do México contra o fungo patogênico *Macrophomina phaseolina*. Braz. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, 2015.

MENDOZA-MENDOZA, A. et al. Uncovering the multifaceted properties of 6-pentyl-alpha-pyrone for control of plant pathogens. *Frontiers in Plant Science*, Lausanne, v. 15, art. 1420068, 2024. DOI: 10.3389/fpls.2024.1420068.

MENTEN, J. O. M. et al. Efeito de alguns fungicidas no crescimento micelial de *Macrophomina phaseolina* (Tass.) Goid. “in vitro”. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 1, n. 2, p. 57–66, 1976.

MEYER, M. C.; et al. **Eficiência de fungicidas para controle de mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) em soja, na safra 2021/2022**: resultados sumarizados dos experimentos cooperativos. Londrina: Embrapa Soja, 2022. 14 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 189).

MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M. (Org.). **Ensaio cooperativos de controle químico de mofo branco na cultura da soja: safras 2009 a 2012**. Londrina: Embrapa Soja, 2014. 100 p. (Embrapa Soja. Documentos, 345).

MEYER, M. C.; et al. **Eficiência de fungicidas para controle de mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) em soja, na safra 2024/2025**: resultados sumarizados dos experimentos cooperativos. Londrina: Embrapa Soja, 2025. 7 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 218). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1177007>. Acesso em: 18 abr. 2026.

MICHEREFF, S. J.; MARIANO, R. L. R. **Controle biológico de doenças de plantas**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1993. p. 1–6.

MILANESI, P. M.; et al. Detecção de *Fusarium* spp. e *Trichoderma* spp. e antagonismo de *Trichoderma* sp. em soja sob plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 3219-3233, 2013

MONTE, E. Understanding *Trichoderma*: between biotechnology and microbial ecology. **International Microbiology**, Barcelona, v. 4, n. 1, p. 1-4, 2001.

MONTE, E.; BETTIOL, W.; HERMOSA, R. *Trichoderma* e seus mecanismos de ação para o controle de doenças de plantas. In: MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. (org.). **Trichoderma: uso na agricultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 181-199.

- MORÁN-DIEZ, E. et al. TvDim1 of *Trichoderma virens* is involved in redox-processes and confers resistance to oxidative stresses. **Current Genetics**, Berlin, v. 56, n. 1, p. 63-73, 2010.
- MORÁN-DIEZ, M. E.; MARTÍNEZ DE ALBA, Á. E.; RUBIO, M. B.; HERMOSA, R.; MONTE, E. Trichoderma and the plant heritable priming responses. **Journal of Fungi**, Basel, v. 7, n. 4, p. 318, 2021. DOI: 10.3390/jof7040318.
- MORANDI, M. A. B.; BETTIOL, W. Controle biológico de doenças de plantas no Brasil. In: BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. (Org.). **Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009. p. 7–1.
- MUKHERJEE, P. K.; HORWITZ, B. A.; KENERLEY, C. M. Secondary metabolism in *Trichoderma*: a genomic perspective. **Microbiology**, Reading, v. 158, n. 1, p. 35-45, 2012.
- MÜLLER, L. Taxonomia e morfologia. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. **A soja no Brasil**. 1 ed. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, p. 65-104, 1981.
- MUNIZ, P. H. P. C. et al. Produção de conídios em substrato sólido e colonização superficial por *Trichoderma harzianum*. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 5, n. 4, p. 40–44, 2018.
- MUTHUKUMAR, A.; VENKATESH, A. Biological induction of systemic resistance to collar rot of peppermint caused by *Sclerotium rolfsii*. **Acta Physiologiae Plantarum**, Heidelberg, v. 36, n. 6, p. 1421–1431, 2014. DOI: 10.1007/s11738-014-1520-1.
- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho de plântulas. In: KRYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, cap. 2, p. 2.1-2.24, 1999.
- NAKAJIMA, T.; MITSUEDA, T.; CHARCHAR, M. J. D. First occurrence of sudden death syndrome of soybean in Brazil. **Japanese Agricultural Research Quarterly**, v. 30, n. 1, p. 31-34, 1996.
- NEUMAIER, N.; NEPONUCENO, A.L.; FARIAS, J.R.B.; OYA, T. Estádios de desenvolvimento da cultura da soja. In: BONATO, E. **Estresses em soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000.
- NIETO-JACOBO, M. F. et al. Environmental growth conditions of *Trichoderma* spp. affect indole acetic acid derivatives, volatile organic compounds, and plant growth promotion. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1-18, 2017. DOI: 10.3389/fpls.2017.00102.
- NUNES, I. M. **A evolução da produção de soja e sua espacialização no Brasil: o sucesso do Mato Grosso**. 2024. 86 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território) – Faculdade de Letras da Universidade do Porto, Porto, 2024. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/163626/2/698745.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2026.

NUNES, J. F. **Estudo da interação entre *Trichoderma harzianum* e *Phaseolus vulgaris* utilizando a técnica de transformação aleatória por *Agrobacterium tumefaciens* (AMT)**. 2018. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

PARMAR, R. G.; PATEL, P. S. *Efficacy of bioagents against Macrophomina phaseolina causing root rot of soybean in vitro*. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, New Delhi, v. 9, n. SP6, p. 196-198, 2020.

PASCHOLATI, S. F.; DALIO, R. J. D. Fisiologia do parasitismo: como as plantas se defendem dos patógenos. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. (ed.). **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. 5. ed. Ouro Fino: Ceres, 2018. p. 424–450.

PASCHOLATI, S. F.; SOUZA, V. H. M.; CARDOSO FILHO, J. A. Indução de resistência por *Trichoderma*. In: BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. (Org.). **Trichoderma: uso na agricultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. cap. 7, p. 235-264.

PUSZTAHELYI, Tünde. Chitin and chitin-related compounds in plant–fungal interactions. **Mycology**, v. 9, n. 3, p. 189–201, 2018. DOI: 10.1080/21501203.2018.1473299.

REIS, E. M.; SEGALIN, M.; MORAES, N. L.; GHISSI, V. C. Efeito do sistema de rotação sobre a podridão radicular e o rendimento da soja. **Summa Phytopathologica**, v. 40, n. 1, p. 9–15, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-54052014000100001>. Acesso em: 18 abr. 2026.

REIS, E. M.; ZANATTA, M.; REIS, A. C. **Mofo-branco da soja**. Passo Fundo: Berthier, p-96, 2019.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; LHAMBY, J. C. B.; BERTAGNOLLI, P. F.; LUZ, J. S. **Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 36, n. 3, p. 431-437, 2001.

ROESSING, A. C.; SANCHES, A. C.; MICHELLON, E. As perspectivas de expansão da soja. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 43., 2005, Ribeirão Preto. **Anais [...]** Ribeirão Preto: SOBER, 2005.

ROMEIRO, R. S. **Controle biológico de doenças de plantas: procedimentos**. Viçosa: UFV, p.172, 2007.

ROY, K.W. *Fusarium solani* on soybean roots: nomenclature of the causal agent of sudden death syndrome and identity and relevance of *F. solani* form B. **Plant Disease**, v. 81, p. 259266, 1997.

SÁ, R. A. **Trichoderma na promoção de crescimento da cultura da soja (*Glycine max* L.) em diferentes condições edafoclimáticas**. 2020. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2020.

SALES, L. S. et al. Diversidade taxonômica e identificação de *Trichoderma*. In: SOARES, A. C. F.; EVANGELISTA-BARRETO, N. S.; MARBACH, P. A. S. (org.).

Tópicos em microbiologia agrícola. Cruz das Almas: Editora UFRB, 2020. p. 187-217.

SALUSTIANO, M. E.; POZZA, E. A.; FILHO, A. C. F.; BOTELHO, A. O. Variabilidade em dez populações de *Hemileia vastatrix* em relação à germinação e ao comprimento do tubo germinativo em quatro temperaturas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 1651–1656, 2008.

SANCHES, A. C.; MICHELLON, E.; ROESSING, A. C. Os limites de expansão da soja. **Informe GEPEC**, Toledo, v. 9, n. 1, 2007. DOI: 10.48075/igepec.v9i1.201. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/gepec/article/view/201>. Acesso em: 14 abr. 2026.

SANTOS, H. A.; MELLO, S. C. M.; PEIXOTO, J. R. Associação de isolados de *Trichoderma* spp. e ácido indol-3-butírico (AIB) na promoção de enraizamento de estacas e crescimento de maracujazeiro. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 966-972, 2010.

SARZIA, J. S. et al. Biocontrole de *Macrophomina phaseolina* e indução de resistência em feijoeiro com uso de *Trichoderma* spp. **Ensaios e Ciência**, v. 28, n. 3, p. 304-310, 2024. DOI: 10.17921/1415-6938.2024v28n3p304-310.

SCATAMBULO, L. V. **Ensaio com inóculos de *Trichoderma asperellum* e lodo ativado em *Triticum* spp.** 2017. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2017.

SCHUSTER, A.; SCHMOLL, M. Biology and biotechnology of *Trichoderma*. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v. 87, n. 3, p. 787-799, 2010. DOI: 10.1007/s00253-010-2632-1.

SEDIYAMA, T. **Tecnologias de produção e usos da soja.** Londrina, PR: Mecenas, 2009. 314 p. ISBN 9788589687089.

SEIXAS, C. D. S.; et al. Manejo de doenças. In: SEIXAS, C. D. S.; et al (Org.). **Tecnologias de produção de soja.** Londrina: Embrapa Soja, 2020. p. 227-264.

SHORESH, M.; HARMAN, G. E.; MASTOURI, F. Induced Systemic Resistance and Plant Responses to Fungal Biocontrol Agents. **Annual Review of Phytopathology**, v. 48, p. 21–43, 2010. DOI: 10.1146/annurev-phyto-073009-114450

SILVA, G. B. da. et al. Uso do *Trichoderma* na cultura do arroz. In: MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. (org.). ***Trichoderma*: uso na agricultura.** Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 349 - 360.

SILVA, L. G. et al. Dual functionality of *Trichoderma*: biocontrol of *Sclerotinia sclerotiorum* and biostimulant of cotton plants. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 13, art. 983127, 2022. DOI: 10.3389/fpls.2022.983127.

SINGH, B. N.; SINGH, A.; SINGH, B. R.; SINGH, H. B. *Trichoderma harzianum* elicits induced resistance in sunflower challenged by *Rhizoctonia solani*. **Journal of Applied Microbiology**, Oxford, v. 116, n. 3, p. 654–666, 2014. DOI: 10.1111/jam.12387.

SINGH, S. *et al.* Harnessing *Trichoderma* mycoparasitism as a tool in the management of soil dwelling plant pathogens. **Microbial Ecology**, New York, v. 87, n. 1, art. 158, 2024. DOI: 10.1007/s00248-024-02472-2.

SINGH, V. K.; NARESH, P.; BISWAS, S. K.; SINGH, G. P. Efficacy of fungicides for the management of wilted lentil disease caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lentis*. **Annals of Plant Protection Sciences**, v. 18, n. 2, p. 411-414, 2010.

SIQUERI, F. V.; YORINORI, J. T.; YUYAMA, M. M. Doenças da soja. In: FUNDAÇÃO MT (Ed.). **Boletim de Pesquisa de Soja 2011**. Cuiabá: Fundação MT, 2011. p. 301-389.

SOARES, R. M.; *et al.* **Manual de identificação de doenças de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2023. 79 p. (Embrapa Soja. Documentos, 256).

SOFO, A.; NUZZACI, M.; VITTI, A.; TATARANNI, G.; SCOPA, A. Control of biotic and abiotic stresses in cultivated plants by the use of biostimulant microorganisms. In: AHMAD, P.; WANI, M.; AZOOZ, M.; TRAN, L. S. (eds.). **Improvement of crops in the era of climatic changes**. New York: Springer, 2014. p. 107-117. DOI: 10.1007/978-1-4614-8830-9_5.

SOOD, M. *et al.* *Trichoderma*: The “secrets” of a multitasking biocontrol agent. **Plants**, Basel, v. 9, n. 6, p. 762, 2020.

SRIDHARAN, A. P.; SUGITHA, T.; KARTHIKEYAN, G.; NAKKEERAN, S.; SIVAKUMAR, U. *Metabolites of Trichoderma longibrachiatum* EF5 inhibits soil borne pathogen, *Macrophomina phaseolina* by triggering amino sugar metabolism. **Microbial Pathogenesis**, London, v. 150, art. 104714, 2021.

SUASSUNA, N. D.; SILVA, J. C.; BETTIOL, W. Uso do *Trichoderma* na cultura do algodão. In: BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. (org.). **Trichoderma: uso na agricultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. cap. 15, p. 361-380.

SRIDHARAN, A. P. *et al.* Metabolites of *Trichoderma longibrachiatum* EF5 inhibits soil borne pathogen, *Macrophomina phaseolina*, by triggering amino sugar metabolism. **Microbial Pathogenesis**, v. 150, p. 104714, 2021

SZYMANEK, J.; ISTAKE, M. A soja no Paraná. In: SEMANA DO ECONOMISTA, 33., 2018, Maringá. Políticas públicas no Brasil: cenários e perspectivas. **Anais[...]** Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 4. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2006. 819 p.

TEJO, D. P.; FERNANDES, C. H. dos S.; BURATTO, J. S. Soja: fenologia, morfologia e fatores que interferem na produtividade. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia da FAEF**, v. 35, n. 1, 2019. Disponível em: http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/hw9EU5Lusw7rZZH_2019-6-19-14-11-1.pdf. Acesso em: 18 abr. 2026.

TSAHOURIDOU, P. C.; THANASSOULOPOULOS, C. C. Proliferation of *Trichoderma koningii* in the tomato rhizosphere and the suppression of damping-off

by *Sclerotium rolfsii*. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 34, n. 6, p. 767-776, 2002. DOI: 10.1016/S0038-0717(02)00006-8.

TYŚKIEWICZ, R. *et al.* *Trichoderma*: the current status of its application in agriculture for the biocontrol of fungal phytopathogens and stimulation of plant growth.

International Journal of Molecular Sciences, Basel, v. 23, n. 4, art. 2329, 2022.

DOI: 10.3390/ijms23042329.

VISCONTI, Alexandre; *et al.* Métodos alternativos para o controle de fitopatógenos habitantes do solo: parte II – controle biológico. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 30, n. 3, p. 33–36, set./dez. 2017.

WENDT, L. *et al.* Relação entre testes de vigor com a emergência a campo em sementes de soja. **Agrária: Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 12, n. 2, p. 166-171, 2017. DOI: 10.5039/agraria.v12i2a5435.

WESTPHAL, A.; ABNEY, T.S.; XING, L.J.; SHANER, G.E. Sudden death syndrome of soybean. **The plant health instructor**. St. Paul: Purdue University, 2008.

Disponível em: <http://www.apsnet.org/education/>. Acesso em: 20 abr. 2026.

WOO, S. L. *et al.* *Trichoderma*-based products and their widespread use in agriculture. **The Open Mycology Journal**, v. 8, p. 71-126, 2014.

XING, L.J.; WESTPHAL, A. Interaction of *Fusarium solani* f. sp. *glycines* and *Heterodera glycines* in sudden death syndrome of soybean. **Phytopathology**, v. 96, p. 763770, 2006.

YAO, X. *et al.* *Trichoderma* and its role in biological control of plant fungal and nematode disease. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 14, art. 1160551, 2023. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1160551.

YEDIDIA, I.; SRIVASTVA, A. K.; KAPULNIK, Y.; CHET, I. Effect of *Trichoderma harzianum* on microelement concentrations and increased growth of cucumber plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 235, n. 2, p. 235-242, 2001.

ZHANG, F. *et al.* Biocontrol potential of *Trichoderma harzianum* isolate *T-aloe* against *Sclerotinia sclerotiorum* in soybean. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 100, p. 64-74, 2016.

DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Foi utilizada a ferramenta de inteligência artificial ChatGPT/OpenAI como suporte à revisão textual e à organização estrutural do manuscrito, com o objetivo de aprimorar a clareza, a coesão e a qualidade da redação, sob supervisão e responsabilidade do autor.