

POTENCIAL DE ISOLADOS DE *Trichoderma* spp. NO CONTROLE DE FITOPATÓGENOS E NA PROMOÇÃO DO CRESCIMENTO DE PLANTAS DE SOJA (*Glycine max*) E MILHO (*Zea mays*) EM CONDIÇÕES DE CERRADO

POTENTIAL OF NATIVE *Trichoderma* spp. ISOLATES IN THE CONTROL OF PHYTOPATHOGENS AND IN PROMOTING GROWTH IN SOYBEAN (*Glycine max*) AND CORN (*Zea mays*) PLANTS UNDER CERRADO CONDITIONS

POTENCIAL DE AISLAMIENTOS NATIVOS DE *Trichoderma* spp. EN EL CONTROL DE FITOPATÓGENOS Y EN LA PROMOCIÓN DEL CRECIMIENTO EN PLANTAS DE SOJA (*Glycine max*) Y MAÍZ (*Zea mays*) EN CONDICIONES DE CERRADO

Jéssica Barros Cabral Valente¹, Márcio Fernandes Peixoto², Alaerson Maia Geraldine³, Bruna Barros Cabral Valente⁴, Thais Gonçalves Veloso Gouveia⁵

DOI: 10.54899/dcs.v23i91.5866

Recibido: 19/05/2026 | Aceptado: 08/06/2026 | Publicación en línea: 15/06/2026.

RESUMO

Objetou-se avaliar isolados nativos de *Trichoderma* spp. quanto ao controle biológico de fitopatógenos e promoção do crescimento de soja e milho. Treze isolados (P1–P13) de solos de Goiás foram testados *in vitro* para controle de *Macrophomina phaseolina*, *Macrophomina* sp., *Fusarium* sp. e *Rhizoctonia solani*, avaliando antagonismo, esporulação, expansão micelial e parasitismo. O inóculo, produzido em arroz parboilizado e convertido em suspensão conidial, manteve viabilidade superior a 70% por até 21 dias em refrigeração, mas apresentou redução significativa em congelamento. Em ensaios de campo na safra 2023/2024, os isolados P3, P6 e P10 destacaram-se, promovendo aumentos significativos em altura, massa seca e produtividade, superando o controle e igualando ou superando um produto comercial. Os resultados indicam que esses isolados nativos têm elevado potencial como agentes de biocontrole e bioestimulantes, sendo promissores para manejo integrado de doenças e agricultura sustentável no Cerrado.

Palavras-chave: Bioprospecção. Antagonismo. Controle Biológico. Supressão de Crescimento.

¹ Mestre em Bioenergia e Grãos, Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, Rio Verde, Goiás, Brasil.
E-mail: jessica.gwn_@hotmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4497-5881>

² Doutor em Agronomia Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
E-mail: marciofpeixoto@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-7534-6085>

³ Doutor em Fitopatologia, Universidade Federal de Goiás - Campus Samambaia, Goiânia, Goiás, Brasil.
E-mail: alaerson.geraldine@ifgoiano.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6794-9665>

⁴ Graduada em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás - Campus Anápolis, Anápolis, Goiás, Brasil.
E-mail: engenhariabruna11@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0000-3819-1250>

⁵ Mestre em Zootecnia, Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, Rio Verde, Goiás, Brasil.
E-mail: thaisgoncalves_rv@hotmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6731-2434>

ABSTRACT

The objective was to evaluate native isolates of *Trichoderma* spp. for biological control of phytopathogens and growth promotion in soybeans and corn. Thirteen isolates (P1–P13) from soils in Goiás were tested in vitro for the control of *Macrophomina phaseolina*, *Macrophomina* sp., *Fusarium* sp., and *Rhizoctonia solani*, evaluating antagonism, sporulation, mycelial expansion, and parasitism. The inoculum, produced in parboiled rice and converted into a conidial suspension, maintained viability greater than 70% for up to 21 days under refrigeration, but showed a significant reduction upon freezing. In field trials during the 2023/24 growing season, isolates P3, P6, and P10 stood out, promoting significant increases in height, dry mass, and productivity, surpassing the control and equaling or exceeding a commercial product. The results indicate that these native isolates have high potential as biocontrol and biostimulant agents, showing promise for integrated disease management and sustainable agriculture in the Cerrado.

Keywords: Bioprospecting. Antagonism. biological Control. Growth Suppression.

RESUMEN

El objetivo fue evaluar aislamientos nativos de *Trichoderma* spp. para el control biológico de fitopatógenos y la promoción del crecimiento en soja y maíz. Trece aislamientos (P1–P13) de suelos en Goiás fueron probados in vitro para el control de *Macrophomina phaseolina*, *Macrophomina* sp., *Fusarium* sp. y *Rhizoctonia solani*, evaluando antagonismo, esporulación, expansión micelial y parasitismo. El inóculo, producido en arroz precocido y convertido en una suspensión de conidios, mantuvo una viabilidad mayor del 70% hasta por 21 días bajo refrigeración, pero mostró una reducción significativa al congelarse. En ensayos de campo durante la temporada de cultivo 2023/2024, los aislamientos P3, P6 y P10 se destacaron, promoviendo aumentos significativos en altura, masa seca y productividad, superando al control e igualando o superando a un producto comercial. Los resultados indican que estos aislados nativos tienen un alto potencial como agentes de biocontrol y bioestimulantes, lo que los hace prometedores para el manejo integrado de enfermedades y la agricultura sostenible en el Cerrado.

Palabras clave: Bioprospección. Antagonismo. Control Biológico. Supresión del Crecimiento.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUÇÃO

Doenças de plantas constituem importantes fatores limitantes da produção agrícola, sendo responsáveis por perdas superiores a 10% do abastecimento alimentar global (Savary *et al.*, 2019). Além disso, a degradação de ecossistemas e a crescente incidência de patógenos do solo representam desafios significativos à sustentabilidade dos sistemas produtivos (Panth *et al.*, 2020).

O controle biológico surge como alternativa ambientalmente viável aos métodos convencionais, promovendo manejo de doenças e conservação de recursos, com fungos antagonistas, como *Trichoderma* spp., evidenciando múltiplos mecanismos de ação, incluindo micoparasitismo, competição, antibiose e indução de resistência vegetal (Boro *et al.*, 2022; Parra-Arroyo *et al.*, 2022).

O uso de bioinsumos cresce no país, porém seu desempenho é condicionado por fatores ambientais e de manejo, gerando variabilidade regional e sazonal (Bardin *et al.*, 2015; Embrapa, 2019, Santoyo *et al.*, 2024; Chaudhary *et al.*, 2024). O Cerrado, segundo maior bioma brasileiro e hotspot de biodiversidade, apresenta grande potencial para bioprospecção de microrganismos aplicáveis à agricultura (Ribeiro & Walter, 2008; MMA, 2022; IBGE, 2023; CEPF, 2017). Nesse contexto, objetivou-se bioprospectar isolados nativos de *Trichoderma* spp., avaliando seu potencial no controle dos fitopatógenos *Macrophomina phaseolina*, *Macrophomina* spp., *Fusarium* spp. e *Rhizoctonia solani* e na promoção do crescimento de soja e milho.

REFERENCIAL TEÓRICO

O controle biológico tem sido amplamente estudado como componente estratégico no manejo de doenças de plantas, sobretudo frente às limitações inerentes ao uso insumos químicos (Singh *et al.*, 2024; Yao *et al.*, 2023). A aplicação contínua desses insumos químicos está associada a efeitos residuais adversos sobre o ambiente, organismos não alvo, biodiversidade e segurança alimentar, além de favorecer a seleção de populações de fitopatógenos resistentes (Singh *et al.*, 2024; Guzmán-Guzmán *et al.*, 2023). Nesse contexto, a utilização de microrganismos antagonistas tem se consolidado como uma alternativa sustentável e eficaz, contribuindo tanto para a supressão de patógenos quanto para a redução da dependência de insumos químicos no manejo fitossanitário (Singh *et al.*, 2024; Yao *et al.*, 2023).

Dentre esses microrganismos, os fungos do gênero *Trichoderma* destacam-se por sua ampla distribuição ecológica, sendo reconhecidos como organismos de vida livre presentes em praticamente todos os ecossistemas terrestres e reconhecidos por sua elevada capacidade de esporulação, geralmente com coloração amarela a esverdeada. Além disso, são frequentemente encontrados no solo, na rizosfera e na endosfera vegetal, evidenciando a capacidade de adaptação a diferentes nichos ambientais (Contreras-Cornejo *et al.*, 2024; Guzmán-Guzmán *et al.*, 2023).

Esses microrganismos exercem controle sobre fitopatógenos de parte aérea, sementes e

sistema radicular por meio de múltiplos mecanismos de ação, incluindo a produção de enzimas capazes de degradar componentes da parede celular de fungos (Morandi *et al.*, 2009), bem como a síntese de metabólitos secundários com atividade antifúngica frente a diversos gêneros fúngicos (Hermosa *et al.*, 2014). Adicionalmente, espécies de *Trichoderma* são amplamente utilizadas como agentes promotores de crescimento vegetal pois diversas cepas produzem fitohormônios como auxinas, contribuindo para o desenvolvimento e desempenho fisiológico das plantas (Medeiros *et al.*, 2018).

Diversos estudos têm demonstrado a eficácia de espécies do gênero *Trichoderma* no controle de importantes fitopatógenos de solo, como *Macrophomina phaseolina*, *Fusarium* spp. e *Rhizoctonia solani*. Ensaio *in vitro* evidenciaram significativa inibição do crescimento micelial desses patógenos, frequentemente superior a 60%, com variações dependentes do isolado e das condições experimentais (Matloob & Jasim, 2025). Em condições de casa de vegetação, a aplicação de *Trichoderma* via tratamento de sementes ou incorporação ao solo resultou na redução expressiva da incidência de doenças, especialmente *damping-off*, além de promover incrementos no vigor e no desenvolvimento inicial das plantas (Abada, 2025). Adicionalmente, verificou-se que a associação de *Trichoderma* com fungicidas pode potencializar o controle fitossanitário sem comprometer a atividade biológica do agente, indicando compatibilidade e efeito complementar no manejo integrado (Almeida *et al.*, 2024). Esses resultados reforçam que o desempenho antagonista de *Trichoderma* está diretamente relacionado à sua capacidade de colonização do ambiente rizosférico e à produção de compostos bioativos, consolidando seu papel como ferramenta eficiente e sustentável no manejo de doenças causadas por patógenos de solo.

METODOLOGIA

Os experimentos laboratoriais foram realizados nas instalações do laboratório da empresa Biotech Terra Forte Brasil S/A. Os experimentos em campo, por sua vez, foram realizados no Instituto de Pesquisa Agrícola do Cerrado (IPAC), ambos localizados no município de Rio Verde, Goiás, rodovia BR 060, km 416, Dir + 2 km. As coordenadas do local onde os experimentos foram conduzidos são latitude Sul: 17°44'21,99" e longitude Oeste: 50°51'18,11" e a altitude de 740 m. O município encontra-se no bioma Cerrado e apresenta altitudes médias de 748 m. O clima da região de acordo com a classificação de Koppen é do tipo Aw (Sobrinho *et al.*, 2020).

Obtenção de *Trichoderma* spp. e isolados de patógenos

Foram selecionados 13 isolados de *Trichoderma* spp. provenientes da coleção da empresa Biotech Terra Forte Brasil S/A e os fitopatógenos *Macrophomina phaseolina*, *Macrophomina* spp., *Fusarium* spp. e *Rhizoctonia solani* foram fornecidos por laboratório parceiro. Os isolados foram obtidos de amostras de solo coletadas em áreas de floresta nativa no estado de Goiás, entre 5 e 20 cm de profundidade, conforme metodologias adaptadas de Sinclair & Dhingra (1995) e Hungria & Araújo (1994). O isolamento foi realizado em meio ágar Dicloran Rosa Bengala Cloranfenicol (DRBC), seletivo para fungos filamentosos (Barnett & Hunter, 1998). Colônias com características típicas de *Trichoderma* foram purificadas, resultando nos 13 isolados (P1–P13) utilizados no estudo.

Os isolados fúngicos foram cultivados em meio ágar batata-dextrose (PDA), que favorece o crescimento e a esporulação (Pontecorvo *et al.*, 1953). Discos miceliais foram transferidos para novas placas e incubados em câmara de demanda bioquímica de oxigênio (BOD) a 24 ± 2 °C, com fotoperíodo de 12 horas de luz/12 horas de escuro. As culturas foram monitoradas quanto ao crescimento micelial, às características morfológicas e ausência de contaminação. Com base nesses critérios, os isolados de melhor desempenho foram selecionados para testes de confronto direto, crescimento vegetativo, esporulação e viabilidade e, posteriormente, destinados à avaliação em condições de campo.

Testes de Pareamento de Culturas

O experimento foi conduzido em placas de Petri contendo ágar batata-dextrose (PDA), nas quais discos miceliais de *Trichoderma* spp. e fitopatógenos foram dispostos em dois sistemas: (i) em extremidades opostas e (ii) com *Trichoderma* central e patógenos distribuídos nos quadrantes. No sistema (i), o antagonismo foi avaliado pela escala de Bell *et al.* (1982), baseada na colonização da placa e na interação entre os microrganismos. As placas foram incubadas a 24 ± 2 °C, com fotoperíodo de 12 h, e, após 10 dias, mensurou-se o crescimento micelial e classificou-se o antagonismo conforme Bell *et al.* (1982).

Preparação do Inóculo

A produção de *Trichoderma* sp. em fermentação em estado sólido foi realizada conforme protocolos descritos por Morandi (2009) e adaptações de estudos recentes (Mulatu *et al.*, 2019; Naeimi *et al.*, 2020). Frascos contendo arroz parboilizado e água destilada estéril foram autoclavados, inoculados com discos miceliais de culturas em PDA e incubados a 25 °C por 7 dias. Após completa colonização, confirmada pela esporulação, a suspensão de esporos foi obtida por adição de água estéril, seguida de agitação e filtração.

Teste de Viabilidade

As suspensões foram armazenadas sob condições de congelamento (-80 ± 2 °C) e refrigeração (4 ± 1 °C), sendo a viabilidade dos esporos avaliada aos 0, 7, 14, 21, 28 e 35 dias, conforme metodologia adaptada de Embrapa (2013). Alíquotas foram submetidas a diluições seriadas em solução salina estéril (NaCl 0,85%) e quantificadas em câmara de Neubauer. A viabilidade foi determinada de acordo com Woo *et al.* (2014), com modificações, por meio do teste de germinação em meio PDA após incubação a 25 ± 2 °C por 17 h, conforme descrito por Benítez *et al.* (2004). Esporos que apresentaram emissão de tubo germinativo, evidenciada após coloração com azul de lactofenol, foram considerados viáveis, sendo as contagens realizadas em microscopia óptica (40×) com base na média de dois campos de observação.

Experimento em Campo

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados com dez tratamentos, incluindo isolados selecionados de *Trichoderma* spp., combinações entre eles e um produto biológico comercial à base de *Trichoderma* com 4 repetições (Tabela 1).

Tabela 1

Tratamentos com isolados de Trichoderma spp., incluindo as épocas e as doses de aplicação.

Tratamentos	Isolados	Época de aplicação	Dose (L ha ⁻¹)
T1	Testemunha	-	-
T2	P6	Sulco de plantio	0,5
T3	P3	Sulco de plantio	0,5
T4	P10	Sulco de plantio	0,5
T5	P3, P6 e P10	Sulco de plantio	0,166 + 0,166 + 0,166
T6	P3 e P6	Sulco de plantio	0,25 + 0,25
T7	P3 e P6	Sulco de plantio	0,05 + 0,45
T8	P6 e P3	Sulco e barra	0,5
T9	P6	Sulco de plantio	0,25
T10	Trichodermil®	Sulco de plantio	0,2

As doses dos isolados de *Trichoderma* spp. foram definidas com base em recomendações técnicas e literatura, utilizando-se 0,5 L ha⁻¹ para aplicações individuais. Nas combinações, as doses foram fracionadas para manter o volume total, incluindo proporções diferenciadas, visando avaliar possíveis interações e dominância entre estirpes. O produto Trichodermil® foi incluído como referência, na dose de 0,2 L ha⁻¹. A aplicação em barra foi adotada para simular condições práticas de campo e comparar a eficiência dos métodos de aplicação.

Avaliações na Cultura da Soja (*Glycine max*)

O plantio da soja foi realizado no dia 06 de novembro de 2024. A soja foi semeada de maneira mecanizada, com distribuição de 12 sementes por metro, com espaçamento entrelinhas de 0,5 m, utilizando a cultivar HO Guapó I2X. As parcelas experimentais foram constituídas por seis linhas de plantio, com dimensão de 3 metros de largura por 5 m de comprimento, totalizando uma área de parcela de 15 m².

As variáveis avaliadas foram: alturas de plantas (AP) (cm), massa seca de raízes (MSR) (g), produtividade (PROD) (kg ha⁻¹) e peso médio de mil grãos (PMG) (g).

Para avaliar a AP, aos 35 dias após a emergência (DAE), quando a cultura estava no estágio fenológico R1, cinco plantas foram aleatoriamente selecionadas nas fileiras centrais de cada parcela experimental, com auxílio de uma fita métrica, sendo medida da superfície do solo até o último trifólio completamente desenvolvido.

Para avaliação de MSR, cinco plantas por parcela foram coletadas com auxílio de uma pá reta até 50 cm de profundidade. As raízes foram cuidadosamente lavadas, medidas em comprimento com régua milimetrada e, juntamente com a parte aérea (até o primeiro nó),

acondicionadas em sacos de papel kraft. Posteriormente, o material foi seco em estufa a 65 °C por 72 horas.

No dia 12 de abril de 2025 foi realizada a colheita da soja para a estimativa da PROD a partir da colheita da área útil da parcela, com a umidade corrigida para 13%, utilizando o PMG, determinado pela pesagem de 100 grãos representativos, e multiplicando por dez, seguindo as Regras para Teste de Sementes (EMBRAPA, 2013).

Avaliações na Cultura Do Milho (*Zea mays*)

O plantio do milho foi realizado após a colheita da soja no dia 13 de abril de 2025. O milho foi semeado de maneira mecanizada, com distribuição de três sementes por metro, com espaçamento entrelinhas de 0,50 m, utilizando o híbrido P3898. As parcelas experimentais foram constituídas por seis linhas de plantio, com dimensão de 3 metros de largura por 6 m de comprimento, totalizando uma área de parcela de 18 m².

As variáveis avaliadas foram: AP (cm), diâmetro do caule (DC) (mm), altura de inserção de primeira espiga (cm), produtividade (PROD) (kg ha⁻¹) e PMG (g).

A AP foi medida do nível do solo até a extremidade da folha bandeira em cinco plantas aleatoriamente selecionadas por parcela, utilizando régua graduada. O DC foi medido com um paquímetro digital a 5 cm acima da superfície do solo.

A altura de inserção da primeira espiga foi medida desde a superfície do solo até ao ponto de inserção da primeira espiga totalmente desenvolvida.

No dia 16 de agosto de 2025 foi realizada a colheita do milho para a estimativa da PROD a partir da colheita da área útil da parcela, com a umidade corrigida para 13%, utilizando o peso de mil grãos (PMG), determinado pela pesagem de 100 grãos representativos e multiplicando por dez, seguindo as Regras para Teste de Sementes (BRASIL, 2009).

Para análise estatística, utilizou-se o teste de Tukey a 5% de significância. A fim de assegurar a adequação dos dados às premissas do modelo, procedeu-se a verificação da homocedasticidade das variáveis. Quando necessário, aplicou-se transformação de dados segundo a metodologia de Box & Cox (1964). Todas as análises foram realizadas no software SASAGRO.

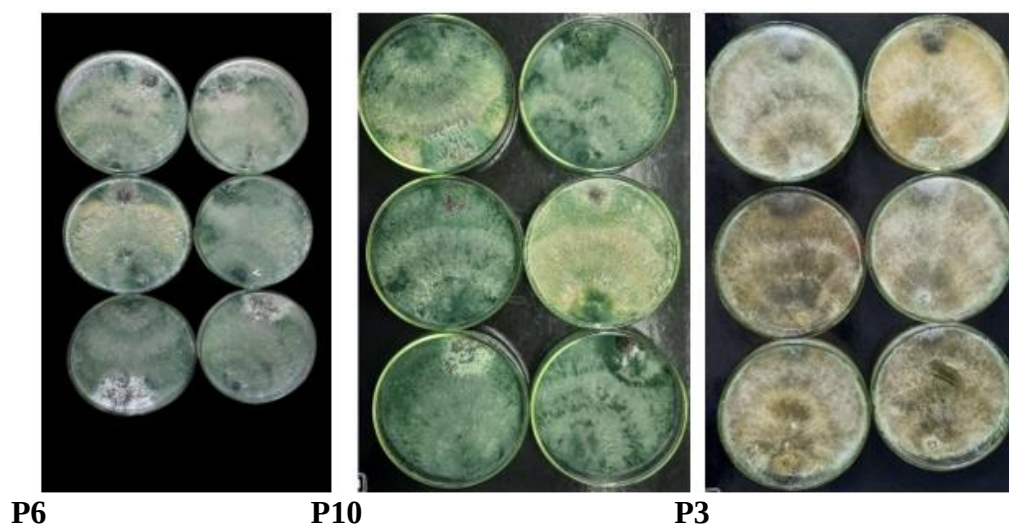
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Testes de Pareamento de Culturas

Nos ensaios de emparelhamento em PDA, isolados de *Trichoderma* spp. demonstraram elevada capacidade antagônica contra *Macrophomina phaseolina*, com destaque para P3, P6 e P10. Esses isolados apresentaram crescimento micelial vigoroso, rápida esporulação e colonização quase total da placa, resultando na completa supressão do patógeno. O desempenho observado enquadra-se na classe máxima de antagonismo (nota 1) segundo Bell *et al.* (1982), evidenciando o elevado potencial dessas estirpes como agentes de controle biológico.

Figura 1

P6) Antagonismo do isolado P6 de *Trichoderma* spp. contra *Macrophomina phaseolina*, mostrando colonização completa da placa e crescimento excessivo do patógeno. P10) Antagonismo do isolado P10 de *Trichoderma* spp. contra *Macrophomina phaseolina*, caracterizado por rápido crescimento micelial e esporulação intensa. P3) Antagonismo do isolado P3 de *Trichoderma* spp. contra *Macrophomina phaseolina*, com ocupação total da placa e inibição total do patógeno.



Os isolados de *Trichoderma* spp. foram avaliados quanto ao antagonismo frente a *Macrophomina phaseolina*, *Macrophomina* spp., *Fusarium* sp. e *Rhizoctonia solani*, em sistema com o antagonista central e patógenos dispostos nos quadrantes. Os isolados P3 e P6 destacaram-se, apresentando maiores índices de expansão micelial e esporulação (Tabela 2), evidenciando

elevado vigor vegetativo e alta capacidade competitiva na colonização do substrato. Esses resultados corroboram com Benítez *et al.* (2004), onde observaram que cepas com rápido crescimento e intensa esporulação são mais eficientes no antagonismo a fitopatógenos.

Tabela 2

Caracterização dos isolados de Trichoderma spp. em relação à capacidade de esporulação, expansão micelial e ação parasitária em fitopatógenos.

Isolado	Nota de esporulação ¹	Expansão micelial ²	Parasitismo observado ³
P1	5	5	<i>Macrophomina</i> sp, <i>Rhizoctonia</i>
P2	1	9	<i>Macrophomina</i> <i>phaseolina</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Rhizoctonia</i>
P3	1	9	<i>Macrophomina</i> <i>phaseolina</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Rhizoctonia</i>
P4	5	5	<i>Macrophomina</i> <i>phaseolina</i> , <i>Rhizoctonia</i>
P5	5	5	<i>Macrophomina</i> sp.
P6	9	9	<i>Macrophomina</i> <i>phaseolina</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Rhizoctonia</i>
P7	5	9	<i>Macrophomina</i> <i>phaseolina</i> , <i>Rhizoctonia</i>
P8	5	1	<i>Macrophomina</i> <i>phaseolina</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Rhizoctonia</i>
P9	1	5	<i>Macrophomina phaseolina</i>
P10	9	5	<i>Macrophomina</i> <i>phaseolina</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Rhizoctonia</i>
P11	1	9	<i>Macrophomina phaseolina</i>
P12	5	5	<i>Macrophomina phaseolina</i>
P13	1	2	<i>Macrophomina phaseolina</i>

¹ Escala de 1 a 9, sendo 1 = baixa esporulação e 9 = alta esporulação;

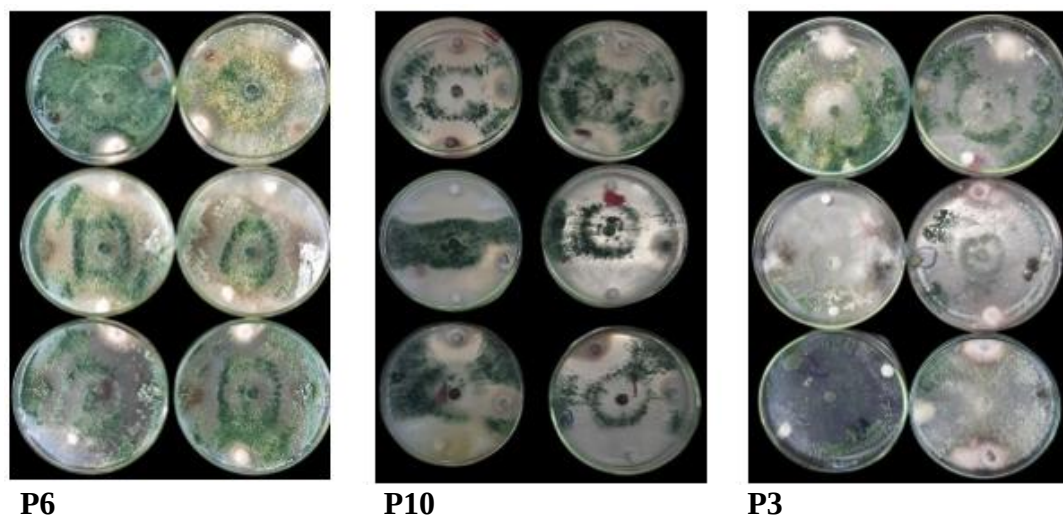
² Escala de 1 a 9, com 1 = crescimento lento e 9 = crescimento vigoroso;

³ patógenos nos quais foi observada atividade parasitária em testes de emparelhamento *in vitro*.

A avaliação *in vitro* no sistema com *Trichoderma* spp. central evidenciou diferenças significativas entre os isolados (Figura 2), corroborando a literatura quanto à maior eficácia de estirpes com rápido crescimento e elevada esporulação (Benítez *et al.*, 2004). O isolado P10, apesar de apresentar crescimento intermediário, destacou-se pela alta esporulação e capacidade de parasitar simultaneamente *Macrophomina phaseolina*, *Macrophomina* spp., *Fusarium* spp. e *Rhizoctonia solani*, indicando atuação por múltiplos mecanismos de controle biológico. Sendo assim, os resultados indicam que os isolados P6, P3 e P10 possuem o potencial para o controle de fitopatógenos, sendo considerado promissores para testes futuros em condição de campo e formulação de produtos biológicos.

Figura 2

Avaliação *in vitro* de *Trichoderma* spp. no controle de fitopatógenos, com o fungo posicionado no centro da placa de Petri e os patógenos distribuídos nas extremidades.



Formulação do Produto

Teste de Viabilidade

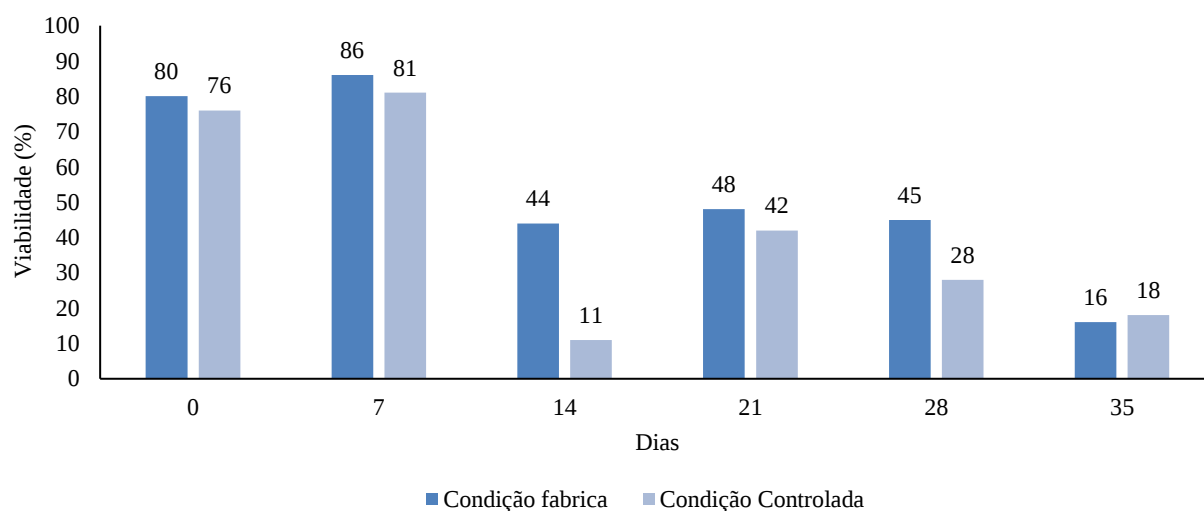
Os resultados indicam que a formulação com agentes poliméricos foi eficaz na manutenção da estabilidade e viabilidade de *Trichoderma* sp. ao longo do armazenamento, reduzindo a germinação prematura e promovendo liberação controlada dos esporos. A viabilidade foi melhor preservada sob refrigeração em comparação ao congelamento, corroborando estudos que destacam o papel dos polímeros na conservação do potencial biológico de bioinsumos (Gowamio *et al.*, 2020; Singh *et al.*, 2021). Além disso, agentes formuladores contribuem para a estabilização das suspensões, maior adesão e persistência dos esporos, influenciando diretamente a eficiência dos microrganismos tanto *in vitro* quanto em condições de campo (Leggett *et al.*, 2011; Deng *et al.*, 2018; Pacheco *et al.*, 2020).

A estabilidade e viabilidade de esporos de *Trichoderma* spp. são determinantes para a eficácia de bioinsumos, sendo o armazenamento um fator crítico (Harman, 2006). Neste estudo, tanto a refrigeração ($4 \pm 1^\circ\text{C}$) quanto o congelamento ($-80 \pm 2^\circ\text{C}$) promoveram redução gradual da viabilidade ao longo de 35 dias, com maior declínio sob congelamento. Inicialmente, ambas as condições apresentaram alta viabilidade (88% e 80%, respectivamente), em concordância com Contreras-Cornejo *et al.* (2014).

Em contraste, o congelamento resultou em queda acentuada a partir do 14º dia, atingindo 16% aos 35 dias (Figura 3), possivelmente devido a danos estruturais causados pela formação de cristais de gelo (Fernández-Sandoval *et al.*, 2012).

Figura 3

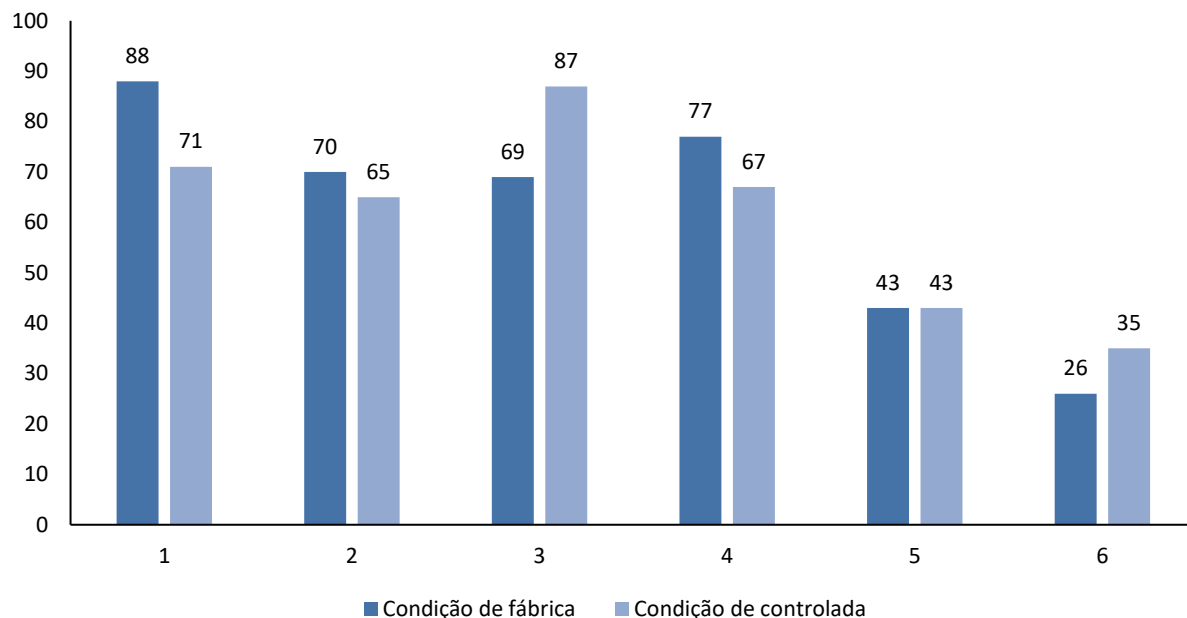
Viabilidade (%) dos esporos de Trichoderma sp., isolado P6, armazenadas em condições de armazenamento congelado ($-80\pm 2^{\circ}\text{C}$) ao longo de 35 dias.



Sob refrigeração, a viabilidade manteve-se relativamente estável até 28 dias, com 43% de esporos viáveis, chegando aos 35 dias com 26% (Figura 4), indicando perda progressiva de funcionalidade que, ao final do período experimental, representou uma inviabilidade acumulada próxima de 98%. Esses resultados podem ser explicados pela dormência fisiológica, em que o metabolismo é reduzido em baixas temperaturas, sem ocorrência de desidratação extrema, permitindo a manutenção parcial da viabilidade. Assim, de acordo com os resultados observados, para fins de formulação e aplicação à campo, suspensões de esporos sejam utilizadas até sete dias após a produção, sendo a refrigeração a condição mais indicada para o armazenamento de curto a médio prazo.

Figura 4

Viabilidade dos esporos de *Trichoderma sp.*, isolado P6, em armazenadas em condições de armazenamento refrigerado ($4 \pm 1^\circ\text{C}$) durante 35 dias.

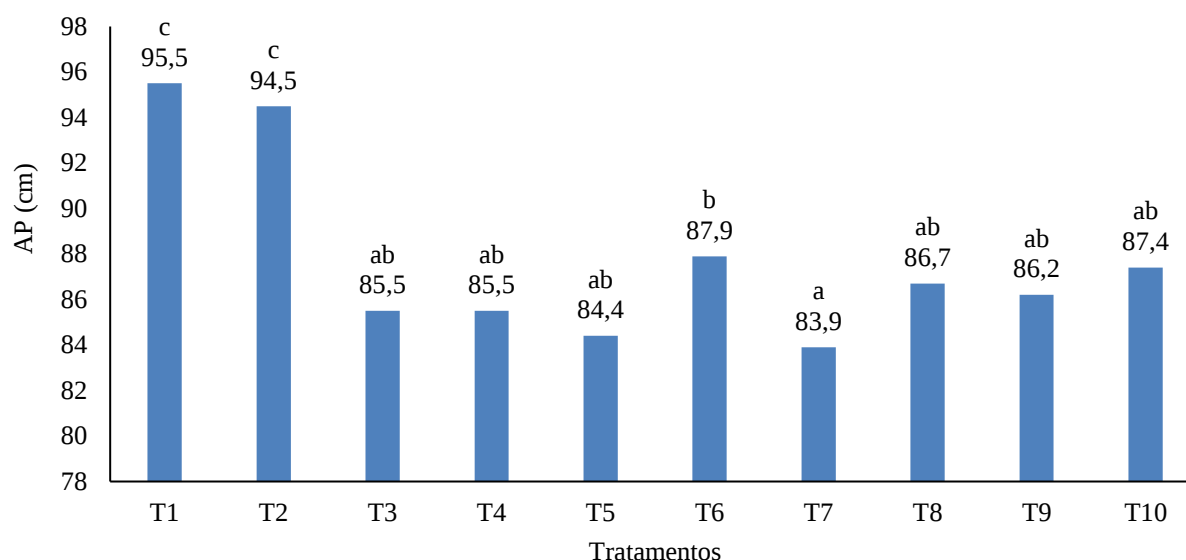


Experimento em Campo com a Cultura da Soja (*Glycine max*)

A AP foi significativamente influenciada pelos tratamentos ($p < 0,05$) (Figura 5). Os tratamentos T1 e T2 diferiram estatisticamente dos demais tratamentos, apresentando maiores médias. As combinações de isolados resultaram, em alguns casos, em menor AP, possivelmente devido a interações competitivas que reduzem o efeito individual das estirpes, conforme descrito por Brotman *et al.* (2013) e Chagas *et al.* (2017).

Figura 5

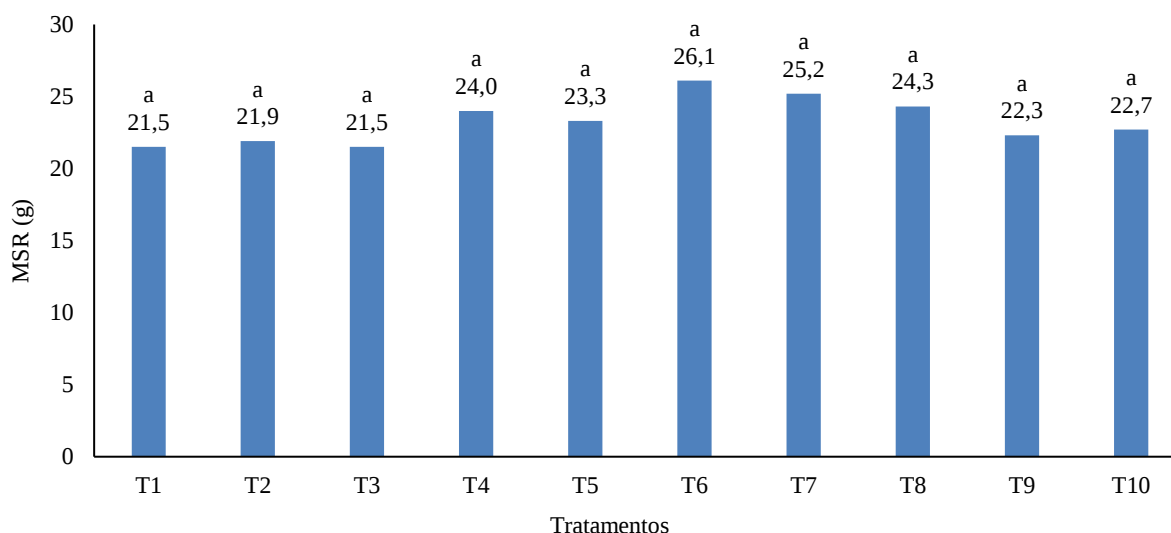
Altura de plantas (AP) (cm) da cultura da soja (*Glycine max*) em razão do tratamento com *Trichoderma* spp. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. T1 (Testemunha), T2 (P6 – *Trichoderma* spp., 0,5 L ha⁻¹ via sulco de plantio), T3 (P3 – *Trichoderma*., 0,5 L ha⁻¹ via sulco de plantio), T4 (P10 – *Trichoderma*, 0,5 L ha⁻¹ via sulco de plantio), T5 (P3, P6 e P10 – *Trichoderma*, 0,166 L ha⁻¹ de cada via sulco de plantio), T6 (P3 e P6 – *Trichoderma*, 0,25 L ha⁻¹ de cada via sulco de plantio), T7 (P3 e P6 – *Trichoderma*, 0,05 L ha⁻¹ de P3 e 0,45 L ha⁻¹ de P6 via sulco de plantio), T8 (P6 e P3 – *Trichoderma*, 0,5 L ha⁻¹ via sulco de plantio e barra), T9 (P6 – *Trichoderma*, 0,25 L ha⁻¹, Sulco), e T10 (*Trichodermil*®- *Trichoderma harzianum* Rifai, cepa ESALQ-1306, 0,2 L ha⁻¹ via sulco de plantio) (CV= 1,72%)



A variável MSR não foi influenciada pelos tratamentos ($p > 0,05$) (Figura 6). Embora a literatura relate que incrementos de biomassa radicular estejam associados à melhoria do sistema radicular, à produção de fitohormônios e à maior disponibilidade de nutrientes, favorecendo a absorção hídrica e nutricional, tais efeitos não foram evidenciados nas condições deste estudo (Carrillo *et al.*, 2020; Jacques *et al.*, 2021). De forma semelhante, possíveis reduções associadas a interações antagônicas entre estirpes, conforme descrito por Brotman *et al.* (2013) não foram confirmadas estatisticamente, indicando ausência de resposta da variável aos tratamentos avaliados.

Figura 6

Massa seca de raiz (MSR) (g) da cultura da soja (*Glycine max*) em razão do tratamento com *Trichoderma* spp. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. T1 (Testemunha), T2 (P6 – *Trichoderma* spp., 0,5 L ha⁻¹ via sulco de plantio), T3 (P3 – *Trichoderma*., 0,5 L ha⁻¹ via sulco de plantio), T4 (P10 – *Trichoderma*, 0,5 L ha⁻¹ via sulco de plantio), T5 (P3, P6 e P10 – *Trichoderma*, 0,166 L ha⁻¹ de cada via sulco de plantio), T6 (P3 e P6 – *Trichoderma*, 0,25 L ha⁻¹ de cada via sulco de plantio), T7 (P3 e P6 – *Trichoderma*, 0,05 L ha⁻¹ de P3 e 0,45 L ha⁻¹ de P6 via sulco de plantio), T8 (P6 e P3 – *Trichoderma*, 0,5 L ha⁻¹ via sulco de plantio e barra), T9 (P6 – *Trichoderma*, 0,25 L ha⁻¹, Sulco), e T10 (*Trichodermil*®- *Trichoderma harzianum* Rifai, cepa ESALQ-1306, 0,2 L ha⁻¹ via sulco de plantio) (CV= 26,51%).



A aplicação de isolados de *Trichoderma* spp. não influenciou significativamente o PMG ($p < 0,05$). Entretanto, a PROD foi significativamente influenciada pelos tratamentos, onde o tratamento T6 destacou-se com os maiores valores, diferindo estatisticamente dos tratamentos T1, T3 e T7, os quais foram observados menores valores em produtividade (Tabela 3). A superioridade observada para o tratamento T6 pode estar associada à atuação de *Trichoderma* spp. na promoção do crescimento vegetal e na melhoria da eficiência nutricional das plantas. Estudos demonstram que isolados desse gênero podem atuar como bioestimulante, promovendo a produção de fitohormônios, como auxinas, e aumentando a tolerância das plantas a estresses bióticos e abióticos, o que se reflete em melhor desempenho produtivo (Marra *et al.*, 2019).

Tabela 3

Produtividade (PROD) e peso de mil grãos (PMG) da cultura da soja (Glycine max) em razão da aplicação de isolados de Trichoderma spp. no sulco de plantio.

Tratamentos	PMS (g)	PROD (kg ha ⁻¹)	PROD (sacas ha ⁻¹)
T1	15,98 ^a	3868,80 ^a	64,48 ^a
T2	20,80 ^a	4147,80 ^{ab}	69,13 ^{ab}
T3	14,51 ^a	3961,20 ^a	66,02 ^a
T4	15,40 ^a	4142,40 ^{ab}	69,04 ^{ab}
T5	15,70 ^a	4138,20 ^{ab}	68,97 ^{ab}
T6	20,75 ^a	4403,40 ^b	73,39 ^b
T7	15,03 ^a	3856,80 ^a	64,28 ^a
T8	16,00 ^a	4051,20 ^{ab}	67,52 ^{ab}
T9	21,30 ^a	4081,80 ^{ab}	68,03 ^{ab}
T10	20,85 ^a	4014,60 ^{ab}	66,91 ^{ab}
CV (%)	7,04	4,40	4,40

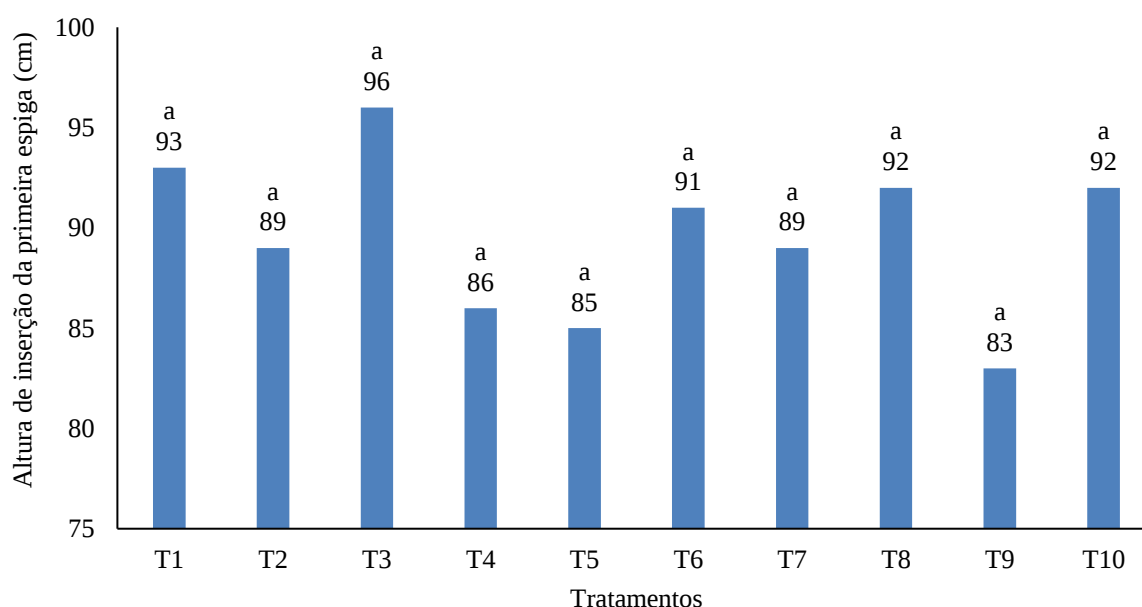
Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. T1 (Testemunha), T2 (P6 – *Trichoderma* spp., 0,5 L ha⁻¹ via sulco de plantio), T3 (P3 – *Trichoderma*., 0,5 L ha⁻¹ via sulco de plantio), T4 (P10 – *Trichoderma*, 0,5 L ha⁻¹ via sulco de plantio), T5 (P3, P6 e P10 – *Trichoderma*, 0,166 L ha⁻¹ de cada via sulco de plantio), T6 (P3 e P6 – *Trichoderma*, 0,25 L ha⁻¹ de cada via sulco de plantio), T7 (P3 e P6 – *Trichoderma*, 0,05 L ha⁻¹ de P3 e 0,45 L ha⁻¹ de P6 via sulco de plantio), T8 (P6 e P3 – *Trichoderma*, 0,5 L ha⁻¹ via sulco de plantio e barra), T9 (P6 – *Trichoderma*, 0,25 L ha⁻¹, Sulco), e T10 (Trichodermil®- *Trichoderma harzianum* Rifai, cepa ESALQ-1306, 0,2 L ha⁻¹ via sulco de plantio).

Experimento em Campo com a Cultura do Milho (*Zea mays*)

Apesar de a análise de variância indicar efeito significativo dos tratamentos ($p < 0,05$), o teste de Tukey não evidenciou diferenças entre as médias, indicando comportamento semelhante entre os tratamentos para altura de inserção de espiga da primeira (Figura 7). É uma variável associada à arquitetura da planta e resistência ao acamamento, pode ser influenciada por *Trichoderma* spp., devido à produção de fitohormônios que estimulam o alongamento dos entrenós (Cruz, 2010; Carrillo *et al.*, 2020; Jacques *et al.*, 2021). Reduções observadas em alguns tratamentos podem estar relacionadas a interações competitivas entre isolados coinoculados, que nem sempre resultam em sinergismo (Brotman *et al.*, 2013).

Figura 7

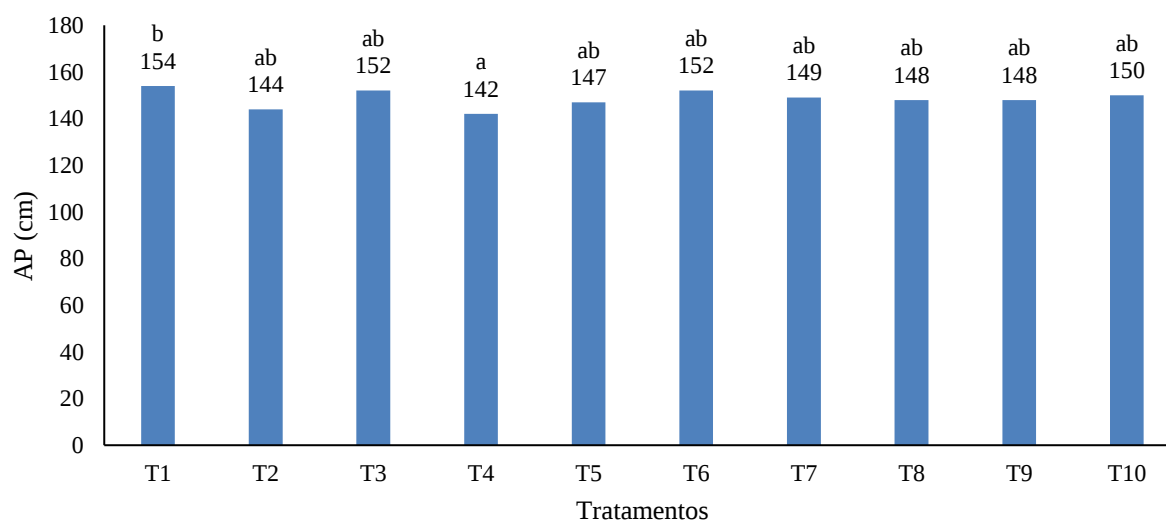
Altura de inserção da primeira espiga (cm) em razão do tratamento com *Trichoderma* spp. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. T1 (Testemunha), T2 (P6 – *Trichoderma* spp. , 0,5 L ha⁻¹ via sulco de plantio), T3 (P3 – *Trichoderma*., 0,5 L ha⁻¹ via sulco de plantio), T4 (P10 – *Trichoderma*, 0,5 L ha⁻¹ via sulco de plantio), T5 (P3, P6 e P10 – *Trichoderma*, 0,166 L ha⁻¹ de cada via sulco de plantio), T6 (P3 e P6 – *Trichoderma*, 0,25 L ha⁻¹ de cada via sulco de plantio), T7 (P3 e P6 – *Trichoderma*, 0,05 L ha⁻¹ de P3 e 0,45 L ha⁻¹ de P6 via sulco de plantio), T8 (P6 e P3 – *Trichoderma*, 0,5 L ha⁻¹ via sulco de plantio e barra), T9 (P6 – *Trichoderma*, 0,25 L ha⁻¹, Sulco), e T10 (*Trichodermil*®- *Trichoderma harzianum* Rifai, cepa ESALQ-1306, 0,2 L ha⁻¹ via sulco de plantio) (CV= 5,09%).



A variável AP de milho apresentou variação significativa entre os tratamentos ($p < 0,05$) (Figura 8). O tratamento 1 apresentou maior AP e diferiu estatisticamente de T4. As reduções observadas em alguns tratamentos podem estar relacionadas a interações antagônicas entre estirpes, corroborando Brotman *et al.* (2013), que relataram que a coinoculação nem sempre resulta em efeitos sinérgicos.

Figura 8

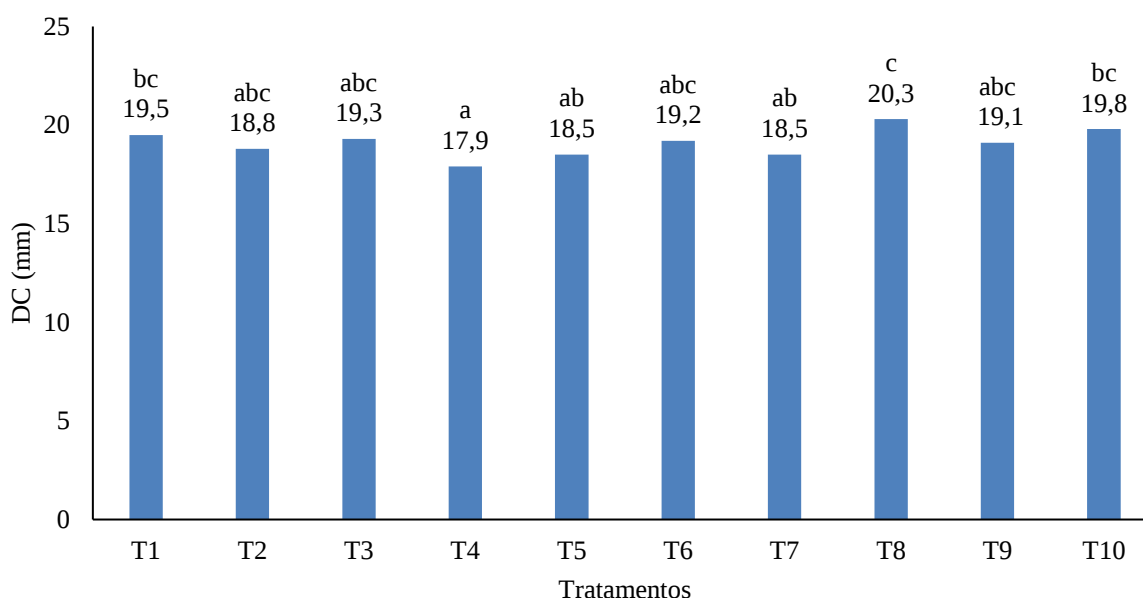
Altura de plantas (AP) (cm) em razão do tratamento com *Trichoderma* spp. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. T1 (Testemunha), T2 (P6 – *Trichoderma* spp. , 0,5 L ha⁻¹ via sulco de plantio), T3 (P3 – *Trichoderma*., 0,5 L ha⁻¹ via sulco de plantio), T4 (P10 – *Trichoderma*, 0,5 L ha⁻¹ via sulco de plantio), T5 (P3, P6 e P10 – *Trichoderma*, 0,166 L ha⁻¹ de cada via sulco de plantio), T6 (P3 e P6 – *Trichoderma*, 0,25 L ha⁻¹ de cada via sulco de plantio), T7 (P3 e P6 – *Trichoderma*, 0,05 L ha⁻¹ de P3 e 0,45 L ha⁻¹ de P6 via sulco de plantio), T8 (P6 e P3 – *Trichoderma*, 0,5 L ha⁻¹ via sulco de plantio e barra), T9 (P6 – *Trichoderma*, 0,25 L ha⁻¹, Sulco), e T10 (*Trichodermil*[®] - *Trichoderma harzianum* Rifai, cepa ESALQ-1306, 0,2 L ha⁻¹ via sulco de plantio) (CV= 2,50%)



O DC foi significativamente influenciado pelos tratamentos ($p < 0,05$) (Figura 9). O T8 apresentou maior DC e diferiu estatisticamente do T4, T5 e T7, enquanto os demais tratamentos não diferiram entre si. O incremento observado com *Trichoderma* spp. está associado à produção de fitohormônios, maior absorção de nutrientes e acúmulo de biomassa, favorecendo caules mais espessos e maior resistência ao acamamento (Fancelli & Dourado Neto, 2000; Carrillo *et al.*, 2020). Reduções no DC em tratamentos combinados indicam possíveis interações antagônicas entre isolados, conforme relatado por Brotman *et al.* (2013), que destacam a ausência de sinergismo em determinadas coinoculações.

Figura 9

Diâmetro de colmo (DC) (mm) da cultura do milho (*Zea mays*) em razão do tratamento com *Trichoderma* spp. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. T1 (Testemunha), T2 (P6 – *Trichoderma* spp., 0,5 L ha⁻¹ via sulco de plantio), T3 (P3 – *Trichoderma*., 0,5 L ha⁻¹ via sulco de plantio), T4 (P10 – *Trichoderma*, 0,5 L ha⁻¹ via sulco de plantio), T5 (P3, P6 e P10 – *Trichoderma*, 0,166 L ha⁻¹ de cada via sulco de plantio), T6 (P3 e P6 – *Trichoderma*, 0,25 L ha⁻¹ de cada via sulco de plantio), T7 (P3 e P6 – *Trichoderma*, 0,05 L ha⁻¹ de P3 e 0,45 L ha⁻¹ de P6 via sulco de plantio), T8 (P6 e P3 – *Trichoderma*, 0,5 L ha⁻¹ via sulco de plantio e barra), T9 (P6 – *Trichoderma*, 0,25 L ha⁻¹, Sulco), e T10 (*Trichodermil*®- *Trichoderma harzianum* Rifai, cepa ESALQ-1306, 0,2 L ha⁻¹ via sulco de plantio) (CV= 3,14%).



Os tratamentos não influenciaram significativamente o PMG ($p < 0,05$). Entretanto, a PROD foi significativamente influenciada pelos tratamentos ($p < 0,05$). O T6 apresentou os maiores valores em PROD, diferindo estatisticamente dos tratamentos T1, T3, T4 e T9. O efeito positivo sobre a PROD reforça o potencial dos isolados nativos como promotores de crescimento e mitigadores de estresses bióticos e abióticos, em concordância com Chagas *et al.* (2017) e Jacques *et al.* (2021).

Tabela 5

Produtividade (PROD) e peso de mil grãos (PMG) da cultura do milho (Zea mays) em razão da aplicação de isolados de Trichoderma spp.

Tratamentos	PMG	PROD (kg ha ⁻¹)	PROD (sacas ha ⁻¹)
T1	19,37 ^a	1998,82 ^a	33,30 ^a
T2	20,80 ^a	2377,40 ^{ab}	39,62 ^{ab}
T3	18,02 ^a	2078,475 ^a	34,65 ^a
T4	18,87 ^a	2058,22 ^a	34,32 ^a
T5	18,95 ^a	2280,95 ^{ab}	38,02 ^{ab}
T6	20,75 ^a	2674,32 ^b	44,57 ^b
T7	18,87 ^a	2362,60 ^{ab}	39,37 ^{ab}
T8	19,12 ^a	2304,87 ^{ab}	38,40 ^{ab}
T9	21,30 ^a	1993,50 ^a	33,25 ^a
T10	20,85 ^a	2211,52 ^{ab}	36,85 ^{ab}
CV (%)	11,51	10,44	10,44

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. T1 (Testemunha), T2 (P6 – *Trichoderma* spp. , 0,5 L ha⁻¹ via sulco de plantio), T3 (P3 – *Trichoderma*., 0,5 L ha⁻¹ via sulco de plantio), T4 (P10 – *Trichoderma*, 0,5 L ha⁻¹ via sulco de plantio), T5 (P3, P6 e P10 – *Trichoderma*, 0,166 L ha⁻¹ de cada via sulco de plantio), T6 (P3 e P6 – *Trichoderma*, 0,25 L ha⁻¹ de cada via sulco de plantio), T7 (P3 e P6 – *Trichoderma*, 0,05 L ha⁻¹ de P3 e 0,45 L ha⁻¹ de P6 via sulco de plantio), T8 (P6 e P3 – *Trichoderma*, 0,5 L ha⁻¹ via sulco de plantio e barra), T9 (P6 – *Trichoderma*, 0,25 L ha⁻¹, Sulco), e T10 (*Trichoderma*®- *Trichoderma harzianum* Rifai, cepa ESALQ-1306, 0,2 L ha⁻¹ via sulco de plantio).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os isolados de *Trichoderma* spp. avaliados apresentaram elevado potencial de antagonismo *in vitro* frente a importantes fitopatógenos de solo, com destaque para os isolados P3, P6 e P10, que demonstraram rápida colonização, alta esporulação e capacidade de supressão de *Macrophomina* sp, *Macrophomina phaseolina*, *Fusarium* spp. e *Rhizoctonia solani*. No que se refere à formulação, a viabilidade dos esporos foi influenciada pelas condições de armazenamento, sendo a refrigeração mais eficiente que o congelamento na manutenção do potencial biológico ao longo do tempo, indicando a necessidade de utilização das suspensões em curto período após a produção. Em condições de campo, a aplicação dos isolados promoveu respostas variáveis nas culturas de soja e milho, com incrementos significativos na produtividade da soja, especialmente na combinação dos isolados P3 e P6, evidenciando efeito positivo na eficiência agrônômica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Biotech Terra Forte Brasil S/A , ao Instituto de Pesquisa Agrícola do Cerrado (IPAC) e IF goiano-Campus Rio Verde, pelo suporte institucional e pela disponibilização

de infraestrutura e instalações para a condução dos experimentos.

REFERÊNCIAS

- Abada, K. A., El-Nady, A. M. A., El-Nahas, S. E. M., & Zayton, M. A. (2025). *Trichoderma* as a biocontrol agent for damping-off and its impact on cucumber biochemical alterations. *Italian Journal of Mycology*, 54, 77–97.
- Almeida, B. de H., Negreiros, A. M. P., Melo, N. J. de A., Ambrósio, M. M. de Q., Armengol, J., Silva, W. da, & Sales Júnior, R. (2024). Evaluation of fungicides and *Trichoderma* spp. for controlling soil-borne fungal pathogens in melon crops. *Revista Caatinga*, 37(1).
- Bardin, M., Arouz, S., Comby, M., Lopez-Ferber, M., Graillot, B., Siegwart, M., & Nicot, P. C. (2015). Is the efficacy of biological control against plant diseases likely to be more durable than that of chemical pesticides? *Frontiers in Plant Science*, 6, 566.
- Barnett, H. L., & Hunter, B. B. (1998). *Illustrated genera of imperfect fungi* (4th ed.). APS Press.
- Bell, D. K., Wells, H. D., & Markham, C. R. (1982). In vitro antagonism of *Trichoderma* species against six fungal plant pathogens. *Phytopathology*, 72(4), 379–382.
- Benítez, T., Rincón, A. M., Limón, M. C., & Codón, A. C. (2004). Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. *International Microbiology*, 7(4), 249–260.
- Boro, M., Sannyasi, S., & Chettri, D. (2022). Microorganisms in biological control strategies for the management of plant microbial pathogens: A review. *Archives of Microbiology*, 204, 666.
- Box, G. E. P., & Cox, D. R. (1964). An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 26(2), 211–252.
- Brotman, Y. (2013). *Trichoderma*–plant root colonization: Escaping early plant defense responses and activation of the antioxidant machinery for saline stress tolerance. *PLoS Pathogens*, 9(4), e1003221.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. (2009). *Regras para análise de sementes*. MAPA/ACS.
- Bell, D. K., Wells, H. D., & Markham, C. R. (1982). In vitro antagonism of *Trichoderma* species against six fungal plant pathogens. *Phytopathology*, 72(4), 379–382.
- Contreras-Cornejo, H. A., Macías-Rodríguez, L., del-Val, E., & Larsen, J. (2024). Mechanisms for plant growth promotion activated by *Trichoderma* in natural and managed terrestrial ecosystems. *Microbiological Research*, 281, 127621.
- Chagas, L. F. B., Chagas Júnior, A. F., Carvalho Filho, M. R., Miller, L. O., & Silva, G. S. (2017). *Trichoderma asperellum* como promotor de crescimento e no biocontrole de doenças em plantas de interesse econômico. *Revista de Ciências Agrárias*, 40(2), 273–285.

- Chaudhary, R., Nawaz, A., Khattak, Z., Butt, M. A., Fouillud, M., Dufossé, L., Munir, M., Haq, I., & Mukhtar, H. (2024). Microbial biocontrol agents: Sources, mode of action and formulation. *Current Research in Biotechnology*, 18, 101421.
- Contreras-Cornejo, H. A., Macías-Rodríguez, L., Cortés-Penagos, C., & López-Bucio, J. (2009). *Trichoderma virens*, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxin-dependent mechanism in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 149(3), 1579–1592.
- Critical Ecosystem Partnership Fund. (2017). *Ecosystem profile: Cerrado biodiversity hotspot*. <https://www.cepf.net>
- Carillo, P., Wojciechowski, T., El-Naggar, A., Formisano, L., Vitale, L., Vinale, F., Lorito, M., Colla, G., & Roupael, Y. (2020). Application of *Trichoderma harzianum*, 6-pentyl- α -pyrone and plant biopolymer formulations modulate plant metabolism and fruit quality of plum tomatoes. *Plants*, 9(2), 212.
- Cruz, C. D. (2010). *Programa Genes: Biometria*. UFV.
- Deng, C., Zhang, X., Shen, Y., Zhang, Q., Wang, X., Liu, Y., Li, R., & Shen, Q. (2018). Biotechnological development of *Trichoderma*-based formulations: From vermiculite to alginate beads, enhancing spore viability, UV protection, and adhesiveness. *Scientific Reports*, 8, 19399.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). (2013). *Manejo integrado de pragas e doenças em culturas agrícolas*.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). (2019). *Trichoderma: Uso na agricultura*.
- Fernández-Sandoval, L. M. T., Ortiz-García, E., Galindo, L., Serrano-Carreón, L. (2012). Cellular damage during drying and storage of *Trichoderma harzianum* spores. *Process Biochemistry*, 47(2), 186–194.
- Fancelli, A. L.; Dourado Neto, D. *Produção de milho*. Guaíba: Agropecuária, 2000.
- Guzmán-Guzmán, P., Porras-Troncoso, M. D., Olmedo-Monfil, V., & Herrera-Estrella, A. (2023). *Trichoderma* species: Our best fungal allies in the biocontrol of plant diseases—A review. *Plants*, 12(3), 432.
- Goswami, S., Kumar, S., Sharma, N., Singh, R., & Singh, V. P. (2020). Effect of different formulation strategies on the stability and activity of *Trichoderma* spp. *Biological Control*, 146, 104281.
- Hermosa, R., Cardoza, R. E., Rubio, M. B., Gutiérrez, S., & Monte, E. (2014). Secondary metabolism and antimicrobial metabolites of *Trichoderma*. In V. K. Gupta, M. Schmoll, A. Herrera-Estrella, R. S. Upadhyay, I. Druzhinina, & M. Tuohy (Eds.), *Biotechnology and biology of Trichoderma* (pp. 125–137). Elsevier.
- Harman, G. E. (2006). *Trichoderma* spp. as biocontrol agents. In S. Goswami (Ed.), *Biological*

control of plant diseases (pp. 301–320). Springer.

Hungria, M., & Araújo, R. S. (1994). *Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola*. Embrapa-SPI.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2023). *Cerrado (dados de biodiversidade)*. <https://educa.ibge.gov.br>

Jacques, R. J. S., Silva, F. N., Martins, A. F., Soares, M. A., & Souza, R. S. (2021). *Trichoderma* as a biostimulant for growth promotion and abiotic stress tolerance in crops. In R. Pandey (Ed.), *Microbiological and molecular tools for biological control of plant diseases*. Springer Nature.

Leggett, M., Lockett, P., Seddon, B., & Humphris, S. (2011). Formulation of microbial biocontrol agents. In *Biological control of plant pathogens* (pp. 253–274). Cambridge University Press.

Marra, R., Lombardi, N., d'Errico, G., Troisi, J., Scala, G., Vinale, F., Woo, S. L., Bonanomi, G., Lorito, M. (2019). Application of *Trichoderma* strains and metabolites enhances soybean productivity and nutrient content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(7), 1814–1822.

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. (2022). *Cerrado*. <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biomas/cerrado>

Matloob, A. A., & Jasim, W. A. (2025). Evaluation of *Trichoderma* spp. as biocontrol agents against *Fusarium solani*, *Rhizoctonia solani*, and *Macrophomina phaseolina*. *Journal of Plant Protection Research*, 65(1), 1–10.

Medeiros, F. H. V., Silva, J. C. P., & Pascholati, S. F. (2018). Controle biológico de doenças de plantas. In L. Amorim, J. A. M. Rezende, & A. Bergamin Filho (Eds.), *Manual de fitopatologia* (7th ed., pp. 573). Agronômica Ceres.

Morandi, M. A. B., Júnior, T. J. P., Bettiol, W., & Teixeira, H. (2009). Controle biológico de fungos fitopatogênicos. In M. Venzon, T. J. P. Júnior, W. Bettiol, & H. Teixeira (Eds.), *Controle biológico de pragas, doenças e plantas invasoras* (pp. 124). EPAMIG.

Mulatu, A., Alemu, T., Megersa, N., & Vetukuri, R. R. (2021). Optimization of culture conditions and production of bio-fungicides from *Trichoderma* species under solid-state fermentation using mathematical modeling. *Microorganisms*, 9(8), 1675.

Naeimi, S., Khosravi, V., Varga, A., Vágvölgyi, C., & Kredics, L. (2020). Screening of organic substrates for solid-state fermentation, viability and bioefficacy of *Trichoderma harzianum* AS12-2, a biocontrol strain against rice sheath blight disease. *Agronomy*, 10(9), 1258.

Panth, M., Hassler, S. C., & Baysal-Gurel, F. (2020). Methods for management of soilborne diseases in crop production. *Agriculture*, 10(1), 16.

Parra-Arroyo, L., Berenice-González, R., Carlos-Castillo, Z., Martínez, E. M. M., Sosa-Hernández, J. E., Bilal, M., Iqbal, H. M. N., Barceló, D., & Parra-Saldívar, R. (2022). Highly hazardous pesticides and related pollutants: Toxicological, regulatory, and analytical aspects.

Science of the Total Environment, 807, 151879.

- Pacheco, I., Vicente, C. S. L., Cabral, A., Correia, M. J., Viegas, W., & Lopes, I. (2020). Formulation of *Trichoderma* spp. for biological control: A review. *Applied Sciences*, 10(19), 6886.
- Ribeiro, J. F., & Walter, B. M. T. (2008). As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In S. M. Sano, S. P. Almeida, & J. F. Ribeiro (Eds.), *Cerrado: Ecologia e flora* (pp. 151–212). Embrapa Cerrados.
- Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S. J., Esker, P., McRoberts, N., & Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology & Evolution*, 3(3), 430–439.
- Santoyo, G., Orozco-Mosqueda, M. C., Afridi, M. S., Mitra, D., Valencia-Cantero, E., & Macías-Rodríguez, L. (2024). *Trichoderma* and *Bacillus*: Multifunctional allies for plant growth and health in saline soils. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1423980.
- Sinclair, J. B., & Dhingra, O. D. (1995). *Basic plant pathology methods* (2nd ed.). CRC Press.
- Singh, A., Rai, N., & Sharma, P. (2021). Influence of storage conditions on the efficacy of *Trichoderma* formulations for biocontrol of plant pathogens. *Pest Management Science*, 77, 295–307.
- Singh, S., Singh, U. B., Malviya, D., Sahu, P. K., Singh, H. V., Kumar, S., & Saxena, A. K. (2024). Harnessing *Trichoderma* mycoparasitism as a tool in the management of soil-dwelling plant pathogens. *Microbial Ecology*, 87(1).
- Sobrinho, O. P. L., Santos, L. N., Santos, G. O., Cunha, F. N., & Soares, F. A. L. (2020). Balanço hídrico climatológico mensal e classificação Köppen e Thornthwaite para o município de Rio Verde, Goiás. *Revista Brasileira de Climatologia*, 27, 19–33.
- Woo, S. L., Ruocco, M., Vinale, F., & Lorito, M. (2014). *Trichoderma*: A multi-purpose tool for integrated pest management. *The Open Mycology Journal*, 8, 71–98.
- Yao, X., Chen, X., Zhang, J., Shen, Q., & Zhang, R. (2023). *Trichoderma* and its role in biological control of plant fungal and nematode disease. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1160551.