

**POTENCIAL DE DIFERENTES ISOLADOS DE *Trichoderma* SPP. NO CONTROLE
DE FITOPATÓGENOS E PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO EM PLANTAS**

Por

JÉSSICA BARROS CABRAL VALENTE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre do Programa em Bioenergia e Grãos.

Rio Verde - Go

Julho - 2025

**POTENCIAL DE DIFERENTES ISOLADOS DE *Trichoderma* SPP. NO
CONTROLE DE FITOPATÓGENOS E PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO EM
PLANTAS**

por

JÉSSICA BARROS CABRAL VALENTE

Comitê de Orientação:

Prof. Dr. Alaerson Maia Geraldine – IF Goiano – Rio Verde

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

V154p Barros Cabral Valente, Jéssica
 POTENCIAL DE DIFERENTES ISOLADOS DE
Trichoderma SPP. NO CONTROLE DE FITOPATÓGENOS
E PROMOÇÃO
DE CRESCIMENTO EM PLANTAS / Jéssica Barros Cabral
Valente. Rio Verde 2025.

56f. il.

Orientador: Prof. Dr. Alaerson Maia Geraldine.
Dissertação (Mestre) - Instituto Federal Goiano, curso
de
0233154 - Mestrado Profissional em Bioenergia e Grãos -
Integral (Campus Rio Verde).

I. Título.

**POTENCIAL DE DIFERENTES ISOLADOS DE *Trichoderma* SPP. NO
CONTROLE DE FITOPATÓGENOS E PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO EM
PLANTAS**

por

JÉSSICA BARROS CABRAL VALENTE

Orientador: _____
Prof. Dr. Alaerson Maia Geraldine – IF Goiano – Rio Verde

Examinadores: _____
Prof. Dr. José Milton Alves – IF Goiano – Rio Verde

Prof.^a Dra. Geisiane Alves Rocha – IF Goiano – Cristalina

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano) pelo suporte acadêmico e científico ao longo desta jornada, bem como pela estrutura oferecida para o desenvolvimento deste estudo.

À Empresa Biotech Terra Forte Brasil S.A., ao Instituto de Pesquisa Agrícola do Cerrado (IPAC) e ao Laboratório Agrobiotech, pelo suporte financeiro e incentivo à pesquisa, permitindo que este trabalho se tornasse realidade.

Ao meu orientador, Alaerson Maia Geraldine, por sua paciência, dedicação e ensinamentos que foram essenciais em cada etapa desta caminhada.

Um agradecimento especial ao Professor Dr. Márcio Peixoto, por sua lealdade, amizade e por sempre acreditar no meu potencial. Seu apoio incondicional, palavras de incentivo e sábios conselhos tornaram essa jornada muito mais leve e possível.

À minha família, meus pais, Gustavo Valente Magalhães e Shyntia I. Barros Cabral, e minha irmã, Bruna Barros Cabral Valente, por entenderem minhas ausências e, ainda assim, nunca deixarem de me apoiar. Seu amor e incentivo foram minha força para seguir em frente.

Aos amigos que estiveram ao meu lado nos desafios e conquistas, trazendo apoio, leveza e alegria a essa trajetória.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, minha Eterna gratidão!

SUMÁRIO

RESUMO	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUÇÃO	3
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
1.1 <i>Trichoderma</i> spp.....	4
1.2 O Papel de <i>Trichoderma</i> spp. no Controle Biológico de Doenças de Plantas	6
1.3 Métodos de Bioprospecção e Seleção de Isolados com Potencial Agrícola.....	8
1.4 Aplicação de <i>Trichoderma</i> em Soja e Milho: impactos na produtividade e na resistência a fitopatógenos	11
1.5 Mecanismos de Ação de <i>Trichoderma</i> na Proteção Contra Fitopatógenos	13
1.6 Produção em Larga Escala e Formulações Comerciais	14
2. MATERIAL E MÉTODOS	15
2.1 Obtenção dos Isolados de <i>Trichoderma</i> sp . e Patógenos.....	16
2.2 Testes de Pareamento de Culturas	17
2.3 Preparo do Inóculo.....	19
2.4 Teste de Viabilidade	20
2.5 Ensaio em Campo	21
2.6 Avaliações Agronômicas Soja	22
2.7 Avaliações Agronômicas Milho P3898	24
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
3.1 Testes de Pareamento de Culturas e Análise de Dados do Pareamento.....	27
3.2 Formulação do Produto.....	30
3.3 Teste de Viabilidade	31
3.4 Ensaio em Campo	35

3.5 Altura das Plantas	35
3.6 Peso Raiz e Parte Aérea	36
3.7 Avaliação PMS	38
3.8 Inserção da Espiga	39
4. CONCLUSÃO	45
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

POTENCIAL DE DIFERENTES ISOLADOS DE *Trichoderma* SPP. NO CONTROLE DE FITOPATÓGENOS E PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO EM PLANTAS

Por

JÉSSICA BARROS CABRAL VALENTE

Sob orientação do Prof. Dr. Alaerson Maia Geraldine – IF Goiano – Rio Verde

RESUMO

Este estudo avaliou o potencial de isolados nativos de *Trichoderma spp.* no controle biológico de fitopatógenos e na promoção do crescimento de soja e milho. Foram utilizados 13 isolados obtidos de solos do estado de Goiás, testados contra *Macrophomina phaseolina*, *Macrophomina sp.*, *Fusarium sp.* e *Rhizoctonia solani*. Em laboratório, os isolados foram analisados por meio de pareamento de culturas, escalas de antagonismo, capacidade de esporulação, expansão micelial e parasitismo. O inóculo foi preparado em fermentação em estado sólido em arroz parboilizado e transformado em suspensões de conídios. A viabilidade foi monitorada em condições refrigeradas (4°C) e congeladas (-80°C) por até 35 dias. Ensaios de campo, em blocos ao acaso, foram conduzidos na safra 2023/24, com tratamentos individuais e consorciados de isolados, comparados a um produto comercial e à testemunha. Avaliaram-se altura de plantas, massa seca de raízes e parte aérea, peso de mil sementes e produtividade. Os isolados P3, P6 e P10 destacaram-se pelo crescimento vigoroso, elevada esporulação e parasitismo contra múltiplos patógenos. A viabilidade dos esporos manteve-se superior a 70% até 21 dias sob refrigeração, enquanto o congelamento reduziu drasticamente a sobrevivência após 14 dias. Em campo, os isolados P3 e P6, aplicados individualmente ou em combinação, promoveram aumentos significativos em altura, massa seca e produtividade de soja e milho, superando a testemunha e equiparando-se ou superando o produto comercial. Conclui-se que isolados nativos de *Trichoderma spp.*, especialmente P3, P6 e P10, apresentam elevado potencial como agentes de biocontrole e bioestimulantes, configurando-se como candidatos promissores para formulações biológicas aplicadas ao manejo integrado de doenças e ao fortalecimento da agricultura sustentável no Cerrado.

Palavras-chave: *Trichoderma spp.*, bioprospecção, antagonismo, bioinsumos, controle biológico.

POTENTIAL OF DIFFERENT *TRICHODERMA* SPP. ISOLATES FOR PATHOGEN CONTROL AND PLANT GROWTH PROMOTION

Por

JÉSSICA BARROS CABRAL VALENTE

Sob orientação do Prof. Dr. Alaerson Maia Geraldine – IF Goiano – Rio Verde

ABSTRACT

This study evaluated the potential of native *Trichoderma spp.* isolates for the biological control of phytopathogens and promotion of growth in soybean and maize. Thirteen isolates obtained from soils in Goiás state were tested against *Macrophomina phaseolina*, *Macrophomina sp.*, *Fusarium sp.*, and *Rhizoctonia solani*. Laboratory assays included dual culture tests, antagonism scales, sporulation capacity, mycelial growth, and parasitism. Inoculum was produced by solid-state fermentation on parboiled rice and converted into conidial suspensions. Spore viability was monitored for up to 35 days under refrigerated (4°C) and frozen (–80°C) storage. Field experiments in randomized blocks were carried out during the 2023/24 season, with individual and combined isolate treatments compared with a commercial product and a control. Plant height, root and shoot dry mass, thousand-seed weight, and productivity were evaluated. Isolates P3, P6, and P10 showed vigorous growth, high sporulation, and parasitism against multiple pathogens. Spore viability remained above 70% under refrigeration for up to 21 days, while freezing drastically reduced survival after 14 days. In the field trial P3 and P6 application, alone or in combination, significantly increased plant height, dry biomass, and yield in soybean and maize, outperforming the control and performing similarly or better than the commercial product. These results indicate that native isolates of *Trichoderma spp.*, particularly P3, P6, and P10, have high potential as biocontrol agents and bio-stimulants. They represent promising candidates for the development of biological formulations aimed at integrated disease management and sustainable agricultural systems in the Cerrado.

Keywords: *Trichoderma spp.*, bioprospecting, antagonism, bioinputs, biological control.

INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca no cenário mundial como um dos principais exportadores de commodities agrícolas. Na safra 2023/24, a produção nacional atingiu 395,91 milhões de toneladas de grãos (Conab, 2024). Além disso, o país lidera as exportações globais de soja e está entre os maiores exportadores de milho, café, algodão e etanol, consolidando-se como um fornecedor fundamental de alimentos e fibras no mercado internacional (Datamar News, 2024).

Dentre os fatores limitantes à produção agrícola estão as doenças de plantas, responsáveis por perdas de pelo menos 10% da produção mundial de alimentos, representando uma séria ameaça à segurança alimentar da população (Savary *et al.*, 2019). Além disso, o manejo de patógenos do solo e a degradação dos ecossistemas agrícolas tornam-se desafios para a adoção de práticas sustentáveis (Panth *et al.*, 2020).

Diante dos desafios impostos pela expansão da agricultura convencional e pelas limitações dos métodos de controle tradicionais, o controle biológico destaca-se como prática sustentável essencial para garantir a produtividade e conservar recursos naturais, sendo amplamente estudado como estratégia no manejo de fitopatógenos (Boro *et al.*, 2022). É justamente nesse cenário que fungos antagonistas, como *Trichoderma* spp., têm se destacado, pela capacidade de atuar por diversos mecanismos incluindo micoparasitismo, competição, antibiose e indução de resistência nas plantas (Parra *et al.*, 2022).

O uso de bioinsumos tem avançado de forma expressiva no país, refletindo em portfólio diversificado de produtos já registrados pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). Em outubro de 2024, o MAPA reportou 662 bioinsumos de baixo impacto registrados, disponíveis no Catálogo Nacional de Bioinsumos e no aplicativo Bioinsumos (Embrapa, 2025). Apesar dos avanços, a eficácia desses produtos em campo depende de fatores ambientais e de manejo, como

clima, solo, microbioma, cultivar e forma de aplicação, explicando a variabilidade de resultados observada em diferentes regiões e safras (FAO, 2006/2010; Bardin *et al.*, 2015; Santoyo *et al.*, 2024; Chaudhary *et al.*, 2024; Embrapa, 2019).

O Cerrado brasileiro, segundo maior bioma do país e reconhecido como *hotspot* mundial de biodiversidade, abriga elevada diversidade vegetal e microbiana, favorecendo a bioprospecção de microrganismos promissores (Ribeiro; Walter, 2008; MMA, 2022; IBGE, 2023; CEPF, 2017).

Assim, diante do potencial do Cerrado como fonte de isolados nativos e da necessidade de desenvolver bioinsumos mais adaptados às condições locais, o presente estudo teve como objetivo a bioprospecção de isolados de *Trichoderma* spp. avaliando seu potencial no controle de fitopatógenos e na promoção de crescimento vegetal em soja e milho. Espera-se, com isso, contribuir para estratégias mais eficazes de manejo biológico, fortalecendo a sustentabilidade da agricultura brasileira e oferecendo alternativas aos desafios fitossanitários atuais e futuros.

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 *Trichoderma* spp.

Os fungos do gênero *Trichoderma*, pertencentes ao filo *Ascomycota*, representam a forma anamórfica (assexuada) dos fungos anteriormente classificados sob o gênero *Hypocrea*, atualmente unificados sob o nome *Trichoderma*, conforme as diretrizes taxonômicas recentes (Harman *et al.*, 2004; Druzhinina; Kubicek, 2011). Esses fungos filamentosos são comuns em solos e matéria orgânica em decomposição, caracterizando-se por crescimento rápido e capacidade de colonizar diferentes substratos (Harman *et al.*, 2004; Druzhinina; Kubicek, 2011; Liu *et al.*, 2008).

Atualmente, a cerca de 460 espécies de *Trichoderma* já foram descritas, evidenciando a

riqueza genética e potencial biotecnológico (Pozo *et al.*, 2024). Essa diversidade é continuamente ampliada por estudos de prospecção em regiões tropicais, como o Cerrado brasileiro, onde têm sido identificados isolados nativos com forte capacidade de supressão de fitopatógenos do solo, além de propriedades promotoras de crescimento vegetal, configurando-se como candidatos promissores para formulações de bioinsumos sustentáveis (*frontiers in microbiology*, 2025; Chagas júnior *et al.*, 2018).

A elevada variabilidade genética do gênero permite a seleção de cepas adaptadas a diferentes condições edafoclimáticas, fator crucial para o sucesso de *Trichoderma* como biofungicida e bioestimulante em distintos sistemas agrícolas (Druzhinina *et al.*, 2018). Essa capacidade se expressa tanto no controle de fitopatógenos como *Fusarium spp.*, *Rhizoctonia solani* e *Sclerotinia sclerotiorum*, quanto na promoção de crescimento vegetal (Harman *et al.*, 2004; Liu *et al.*, 2024).

Além do impacto agrícola, o fungo *Trichoderma* tem despertado interesse industrial pela capacidade de produzir enzimas de relevância biotecnológica, como celulases, xilanases e proteases, fundamentais na degradação de biomassa lignocelulósica, com aplicações na produção de biocombustíveis, enzimas industriais e no aproveitamento de resíduos agroindustriais (Chysirichote *et al.*, 2023; Pérez-contreras *et al.*, 2025). Essa versatilidade reforça a posição como um dos gêneros fúngicos de maior relevância tanto para a agricultura sustentável quanto para a bioeconomia.

Portanto, *Trichoderma* constitui não apenas um aliado estratégico no manejo integrado de doenças agrícolas, mas também um recurso de destaque para a inovação tecnológica e o desenvolvimento de bioinsumos adaptados às condições edafoclimáticas brasileiras.

1.2 O Papel de *Trichoderma spp.* no Controle Biológico de Doenças de Plantas

Desde a década de 1950, quando Foster *et al.* (1950) relataram a inativação do vírus do mosaico do tabaco comum por filtrados de *Trichoderma*, esse gênero fúngico vem sendo amplamente investigado como agente de biocontrole e bioestimulação. Ao longo dos anos, diferentes linhagens demonstraram potencial significativo no manejo de fitopatógenos, ressaltando a relevância da bioprospecção de isolados nativos, prática essencial para a seleção de cepas com melhor adaptação às condições edafoclimáticas locais e, portanto, mais eficientes no controle de doenças em plantas (Chagas júnior *et al.*, 2018; Rush *et al.*, 2021).

Entre os patógenos mais prejudiciais à agricultura, destaca-se *Fusarium* spp. um dos principais causadores de doenças, quando afeta culturas como milho, soja e feijão. (Agrolink, 2025). Em soja, a chamada podridão vermelha da raiz (PVR) é caracterizada por manchas avermelhadas no sistema radicular que evoluem para necrose, comprometendo a absorção de água e nutrientes (Agrolink, 2025; Crop protection network, 2019).

Relatos recentes apontam para a elevada incidência de *Fusarium solani* em áreas de várzea, com a presença de massas azuladas de esporos visíveis em raízes infectadas, demonstrando a severidade do problema (De la peña *et al.*, 2015).

Outro patógeno de importância global é *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary, agente causal da podridão branca, que compromete diversas culturas, como soja, feijão, alface e girassol. Esse fungo sobrevive no solo sob a forma de escleródios, que podem germinar carpogenicamente ou miceligenicamente, colonizando rapidamente resíduos culturais e tecidos senescentes, aumentando a dificuldade de manejo (Bolton; Thomma; Nelson, 2006).

Já *Macrophomina phaseolina*, agente causal da podridão de carvão (*charcoal rot*), afeta diversas plantas hospedeiras e pode sobreviver no solo por longos períodos, sendo capaz de infectar 500 espécies vegetais (Gupta *et al.* 2012), sendo feijão, caupi, milho, amendoim, girassol, soja, sorgo e crotalária, as espécies suscetíveis mais comuns. No tecido infectado, o fungo produz grande número de microescleródios, esta é a forma que pode sobreviver. É

também a principal fonte de infecção que este patógeno possui.

Os microescleródios são produzidos a partir de estruturas multicelulares; eles podem ser duros e de parede espessa, mas são facilmente encontrados nas raízes, abaixo da epiderme ou nas camadas corticais externas, perto da região do colo. Assim que esses tecidos começam a decompor, os microescleródios, já em estágio estéril, são liberados no solo. Quando entram em contato com a raiz ou a região do colo da planta, vão germinar e infectar efetivamente. Nem todas as células crescem ao mesmo tempo, sendo assim, um único microescleródio pode ter células brotando e infectando diferentes tipos de plantas (Almeida *et al.* 2003; Rayatpanah *et al.* 2012).

O controle biológico com *Trichoderma* tem se mostrado promissor, esse fungo atua na competição por nutrientes, degradação das paredes celulares do patógeno (Bezerra *et al.* 2022; Braúna, 2011; Brotman *et al.* 2013), induzir resistência (Pascholati, de Souza e Cardosofilho, 2019; Esparza-Reynoso, Pelagio-Flores e López-Bucio, 2020) síntese de compostos antimicrobianos (Bettiol, 2019) e promover crescimento (Carrillo *et al.*, 2020; Chagas *et al.*, 2017; Jacques *et al.*, 2021; Marra *et al.*, 2019).

De forma complementar, o controle exercido por *Trichoderma* frente a esses patógenos envolve uma série de mecanismos complementares. Dentre eles, destacam-se a competição por nutrientes e espaço, favorecida pelo rápido crescimento e pela capacidade de colonização radicular do fungo (Harman *et al.*, 2004); a produção de enzimas líticas como quitinases, β -1,3-glucanases e proteases, que degradam as paredes celulares de fitopatógenos como *Sclerotinia sclerotiorum* e *Macrophomina phaseolina* (Brotman; Gupta; Viterbo, 2013; Bezerra *et al.*, 2022); e a liberação de metabólitos antimicrobianos de diferentes naturezas químicas, incluindo peptaibóis, gliotoxina e compostos voláteis que inibem a germinação e o crescimento micelial de patógenos (Bettiol, 2019; Mukherjee *et al.*, 2012).

Além disso, espécies de *Trichoderma* também são capazes de ativar mecanismos de

resistência sistêmica induzida (ISR) em plantas, modulando rotas de sinalização hormonal associadas ao ácido jasmônico, etileno e, em menor grau, ao ácido salicílico, promovendo maior acúmulo de enzimas de defesa (quitinases, peroxidases, fenilalanina-amônia-liase) e aumenta a resistência contra ampla gama de patógenos (Cardoso filho, 2019).

Outro aspecto relevante é o papel de *Trichoderma* na promoção de crescimento vegetal (PGP – *plant growth promotion*), uma vez que várias cepas produzem fitormônios como auxinas (IAA), enzimas como ACC-desaminase, além de solubilizar nutrientes como fósforo e potássio, refletindo em maior desenvolvimento radicular e maior eficiência de absorção de nutrientes (Marra *et al.*, 2019). Assim, a atuação de *Trichoderma* vai além da supressão de doenças, abrangendo também o estímulo direto ao desenvolvimento das plantas e o aumento da resiliência a condições de estresse biótico e abiótico.

Essa combinação de antagonismo e bioestimulação consolida o gênero como um dos principais agentes de biocontrole utilizados atualmente, especialmente em culturas de importância econômica como soja, milho e feijão, sendo cada vez mais explorado em programas de manejo biológico integrado.

1.3 Métodos de Bioprospecção e Seleção de Isolados com Potencial Agrícola.

A bioprospecção de isolados de *Trichoderma* para a agricultura consiste na busca de microrganismos capazes de proteger as culturas contra doenças, estimular o crescimento e melhorar a qualidade e a produtividade das plantas, com baixo impacto ambiental.

A primeira etapa é encontrar áreas com variedade de recursos genéticos. Amostras de solo são coletadas de campos agrícolas e áreas de vegetação natural para garantir que os isolados sejam amplamente diversos geneticamente (Lucon *et al.* 2009). A coleta geralmente é realizada em profundidades entre 5 e 20 cm, abrangendo a região próxima ao sistema radicular, em que a densidade de microrganismos é mais elevada (Sinclair; Dhingra, 1995). Para resíduos

culturais, fragmentos de raízes, colmos e folhas em decomposição também podem ser coletados, visto que *Trichoderma* é um fungo sapróbio comumente associado à matéria orgânica em decomposição (Harman *et al.*, 2004; Druzhinina; Kubicek, 2011).

Após a coleta, procede-se ao isolamento e purificação dos fungos. Tradicionalmente, utiliza-se a técnica de diluições seriadas e plaqueamento em meios gerais, como o Ágar Batata Dextrose (PDA), ou meios seletivos, como o Trichoderma Selective Medium (TSM), que permitem recuperar colônias de crescimento rápido e coloração verde característica. Colônias típicas são purificadas por monosporização, assegurando culturas axênicas e livres de contaminantes (Elad *et al.*, 1981; Gil; Pizarro; Fernández, 2009).

Na etapa seguinte, realiza-se a caracterização morfológica e molecular. Embora a observação de conidióforos, fiálides e conídios seja útil para triagem inicial, a identificação em nível de espécie exige a análise de genes *barcoding multilocus*, como *tefl-α* (fator de elongação 1-α) e *rpb2* (RNA polimerase II), uma vez que o marcador ITS não possui poder de resolução suficiente para diferenciar espécies de *Trichoderma*. Ferramentas como TrichoKEY, TrichoBLAST e o sistema MIST são utilizados para garantir maior precisão na taxonomia (Cai; Druzhinina, 2021; Dou *et al.*, 2020).

Outro critério essencial é a avaliação do potencial enzimático. Ensaio em meios específicos permitem detectar a produção de quitinases, β-1,3-glucanases, proteases e celulasas, enzimas fundamentais para a degradação das paredes celulares de patógenos (Chacón-orozco *et al.*, 2019).

Além disso, os isolados são submetidos a triagens de promoção de crescimento vegetal (PGP), por meio da detecção de auxinas (ensaio de Salkowski), solubilização de fósforo em meios PVK ou NBRIP, e atividade de ACC-desaminase, relacionada à redução do estresse etileno-dependente em plantas (Glick, 2003)

Para avaliar a eficácia de biocontrole dos isolados, realizam-se testes de antagonismo *in*

vitro por meio de técnicas de confronto direto. Isolados de *Trichoderma* são confrontados com patógenos de plantas para ver se inibem o crescimento do patógeno (Silva *et al.* 2023). Outro aspecto relevante é a avaliação do potencial enzimático, indicado pela produção de celulases, quitinases e proteases, fundamentais para a degradação de paredes celulares de patógenos.

Algumas espécies de *Trichoderma* têm grande potencial para produzir enzimas, conforme demonstrado por Chacón-Orozco *et al.* 2019. Além disso, realiza testes de tolerância nos isolados selecionados para estresses abióticos, como condições de alta salinidade e secas severas. Algumas cepas de *Trichoderma*, por exemplo, continuam a promover o crescimento do milho mesmo sob estresse hídrico (Embrapa, 2021).

Os isolados que apresentam melhor desempenho em condições laboratoriais são avaliados em casa de vegetação e campo, aplicados via tratamento de sementes, irrigação no substrato ou pulverização, com e sem a presença do patógeno. Os parâmetros mais comuns incluem emergência, desenvolvimento radicular, massa seca, vigor, incidência e severidade da doença, além da produtividade final. Esses ensaios fornecem subsídios para validar a eficácia e a adaptabilidade dos isolados em cenários agrícolas reais (EPPO, 2012; OECD, 2022).

Finalmente, os isolados mais promissores avançam para etapas de pré-formulação e desenvolvimento industrial, sendo processados em diferentes veículos (pós, grânulos, suspensões), avaliando a viabilidade, a concentração mínima de propágulos, a estabilidade durante o armazenamento e a compatibilidade com insumos agrícolas. Essa etapa é fundamental para a consolidação de bioinsumos com eficiência comprovada e segurança de uso (Martínez *et al.*, 2023).

Assim, o processo de bioprospecção de *Trichoderma* integra um conjunto de etapas interdependentes da coleta ao campo que permitem a seleção de isolados não apenas eficientes no antagonismo a patógenos, mas também resilientes a condições adversas e capazes de promover crescimento vegetal. Dessa forma, assegura-se o desenvolvimento de bioinsumos

robustos e de alta aplicabilidade em diferentes sistemas de produção.

1.4 Mecanismos de Ação de *Trichoderma* na Proteção contra Fitopatógenos

Espécies do gênero *Trichoderma* destacam-se como importantes agentes de biocontrole por causa da diversidade de mecanismos envolvidos na proteção de plantas contra fitopatógenos. Esses mecanismos podem ser classificados em diretos, quando o fungo atua sobre o patógeno, e indiretos, quando estimula respostas defensivas da planta hospedeira ou promove o crescimento, aumentando a tolerância a estresses bióticos e abióticos (Harman *et al.*, 2004; Druzhinina *et al.*, 2011).

Um dos principais mecanismos diretos é a competição por espaço e nutrientes, especialmente por carbono e nitrogênio. O rápido crescimento e a capacidade de colonizar a rizosfera permitem a *Trichoderma* criar uma barreira física contra fitopatógenos como *Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani* e *Sclerotinia sclerotiorum* (Vinale *et al.*, 2008). Adicionalmente, muitas cepas produzem sideróforos, que sequestram ferro do ambiente, limitando a disponibilidade desse elemento essencial aos patógenos (Guzmán-Guzmán *et al.*, 2023).

Outro mecanismo fundamental é o micoparasitismo, no qual *Trichoderma* reconhece hifas do patógeno por sinais químicos, adere à superfície e inicia o ataque com enrolamento e penetração. Esse processo é potencializado pela produção de enzimas hidrolíticas, como quitinases, β -1,3-glucanases e proteases, capazes de degradar as paredes celulares dos fungos antagonizados (Benítez *et al.*, 2004; Brotman; Gupta; Viterbo, 2013).

A produção de metabólitos secundários é igualmente importante. Espécies de *Trichoderma* sintetizam centenas de compostos bioativos, como antibióticos, peptaibóis, gliotoxinas, viridinas e compostos orgânicos voláteis (VOCs), que inibem diretamente a germinação e o crescimento de diversos patógenos (Hermosa *et al.*, 2014; Mukherjee *et al.*, 2012). Estima-se que esse gênero produza mais de 120 estruturas moleculares distintas,

caracterizando-o como uma das maiores fontes de diversidade metabólica do Reino Fungi.

Entre os mecanismos indiretos, destaca-se a indução de resistência sistêmica (ISR), um processo no qual a colonização radicular por *Trichoderma* ativa rotas hormonais associadas ao ácido jasmônico (JA), etileno (ET) e, em alguns casos, ao ácido salicílico (SA). Essa ativação leva ao aumento da síntese de enzimas de defesa, como quitinases, peroxidases e fenilalanina amônia-liase, além do acúmulo de fitoalexinas e lignina, fortalecendo as barreiras estruturais da planta contra ampla gama de patógenos (Pieterse *et al.*, 2014; Nawrocka; Małolepsza, 2013).

Adicionalmente, *Trichoderma* contribui para a tolerância ao estresse oxidativo. Durante o ataque de fitopatógenos, as plantas produzem espécies reativas de oxigênio (ROS) como mecanismo defensivo. Enquanto muitos fungos são sensíveis a esse ambiente, *Trichoderma* desenvolveu mecanismos de resistência a ROS, permitindo persistir na rizosfera e manter a atividade antagonista mesmo em condições de estresse (Morán-Diez *et al.*, 2010).

Por fim, o gênero também atua na promoção de crescimento vegetal (PGP). Diversas cepas produzem fitormônios como auxinas (IAA), sintetizam ACC-desaminase, enzima que reduz o estresse etileno-dependente e solubilizam nutrientes como fósforo e potássio, resultando em maior desenvolvimento radicular e eficiência de absorção de nutrientes (Chagas *et al.*, 2017; Carrillo *et al.*, 2020; Jacques *et al.*, 2021; Marra *et al.*, 2019).

Assim, a combinação desses mecanismos competição, micoparasitismo, metabólitos antimicrobianos, indução de resistência sistêmica, tolerância a ROS e promoção de crescimento vegetal torna *Trichoderma* um dos agentes biológicos mais versáteis e promissores para o manejo sustentável de doenças em plantas de interesse agrícola.

1.5 Sinergia de *Trichoderma* sp. com Outros Bioinsumos

Um dos fatores mais importantes para determinar a atividade a longo prazo de

Trichoderma é a persistência no solo, estudos realizados por Frank *et al.* (2023), demonstraram que cepas introduzidas, como *T. harzianum* OMG16, podem ser reisoladas semanas após a aplicação, comprovando a capacidade desse microrganismo de manter-se ativo no ambiente agrícola. Essa persistência é influenciada por condições ambientais, como umidade, pH do solo e disponibilidade de nutrientes, que afetam a competição do fungo com outros microrganismos pelo nicho ecológico (Singh *et al.*, 2021).

Na agricultura, *Trichoderma* demonstrou efeitos sinérgicos por meio da interação com outros tipos de bioinsumos, incluindo rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (PGPRs) e microrganismos fixadores de nitrogênio (Martínez-medina *et al.*, 2017). O *Trichoderma* spp. pode sinergizar com bactérias dos gêneros *Bacillus* e *Pseudomonas* para promover a saúde das plantas e aumentar a resistência a estresses bióticos e abióticos (Mendes *et al.*, 2013).

Entretanto, nem sempre a associação entre *Trichoderma* e outros bioinsumos é benéfica, já que a coinoculação pode gerar efeitos antagônicos quando metabólitos produzidos por uma espécie inibem a outra. *Trichoderma* pode secretar peptaibóis e outros antibióticos capazes de inibir bactérias benéficas, enquanto lipopeptídeos de *Bacillus*, como iturina, fengicina e surfactina, apresentam atividade antifúngica que compromete a germinação e a esporulação do fungo.

De forma semelhante, algumas espécies de *Pseudomonas* liberam compostos antifúngicos que reduzem o crescimento de *Trichoderma*. Em experimentos de cocultivo, já foi documentado o sobrecrecimento de *Bacillus* sobre o fungo em meios ricos, diminuindo a eficácia. A intensidade desses efeitos depende de múltiplos fatores, incluindo a cepa utilizada, a sequência de inoculação, a formulação aplicada e até a fonte de nutrientes disponível. Estratégias como o uso de nitrato como única fonte de nitrogênio ou a aplicação sequencial, em vez de simultânea, mostraram reduzir antagonismos e favorecer a convivência entre microrganismos (Ajijah *et al.*,

2024). Assim, antes de misturar bioinsumos em tanque, em revestimento de sementes ou no solo, recomenda-se a realização de ensaios de compatibilidade (cultura dupla, ensaio de filtrado livre de células) e posterior validação em condições de campo.

Enquanto certos isolados de *Trichoderma* spp. podem influenciar a arquitetura das raízes, estimulando o desenvolvimento de raízes que aumentam a área de superfície para absorção de água e nutrientes, essa associação com os fungos melhora a solubilização de fosfatos e micronutrientes vitais, tornando-os mais acessíveis para as plantas. Como resultado, as plantas apresentam crescimento mais vigoroso, arquitetura radicular organizada e maior resistência a condições adversas.

Esses efeitos resultam na estimulação da biossíntese de hormônios vegetais e outros produtos do metabolismo secundário, como os sideróforos, que quelam o ferro e geralmente auxiliam o crescimento radicular e vegetal (Mendoza *et al.*, 2018). Apesar dessas limitações, a associação de *Trichoderma* com outros bioinsumos é promissora quando bem manejada. Além de ampliar os mecanismos de ação contra patógenos, pode potencializar a promoção de crescimento vegetal, estimulando a síntese de fitormônios, sideróforos e metabólitos secundários que reforçam a tolerância das plantas a estresses ambientais.

Dessa forma, *Trichoderma* não apenas atua como antagonista de fitopatógenos, consolidando-se como parceiro estratégico em consórcios microbianos, integrando a visão mais ampla de agricultura sustentável e baseada em bioinsumos.

1.6 Teste de compatibilidade e estratégias de coaplicação

A coaplicação de *Trichoderma* spp. com outros bioinsumos requer verificação prévia de compatibilidade para evitar antagonismos que comprometam a eficácia em campo. Em nível laboratorial, recomenda-se iniciar com ensaios de cultura dupla em ágar e com sobrenadante livre de células, distinguindo efeitos por contato direto e por metabólitos difusíveis/voláteis;

halos de inibição, redução de germinação/esporação ou alterações morfológicas sinalizam riscos de coinoculação (Poveda, 2022; Vígas *et al.*, 2021).

Em seguida, matrizes de concentração (checkerboard) ou microplacas com gradientes de inóculo permitem estimar faixas seguras de coaplicação e identificar combinações de dose que minimizam interferência recíproca (Fifani *et al.*, 2022). Para usos em revestimento de sementes e mistura em tanque, é essencial testar viabilidade de conídios e estabilidade do produto na presença de polímeros, micronutrientes e defensivos compatíveis, quantificando UFC ao longo do tempo (Woo; Pepe, 2018).

Estratégias operacionais, como a aplicação sequencial em vez da simultânea, o uso de nitrato como única fonte de nitrogênio no momento da coinoculação ou a separação temporal/espacial dos agentes (por exemplo, *Trichoderma* no sulco e PGPR no tratamento de sementes) têm se mostrado eficazes. Essas práticas reduzem os antagonismos em diferentes sistemas agrícolas (Ajijah *et al.*, 2024; Karuppiah *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2022). Por fim, a validação em condições locais, casa de vegetação e campo, deve confirmar ganho agrônômico (emergência, vigor, severidade/incidência, produtividade) e a recuperação dos agentes na rizosfera ao longo do ciclo, assegurando que a combinação atue de forma cooperativa e estável (EPPO, 2012; OECD, 2022).

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos em laboratório foram conduzidos nas instalações do Laboratório da empresa Biotech Terra Forte Brasil S/A. Os ensaios de campo, por sua vez, foram realizados no Instituto de Pesquisa Agrícola do Cerrado – IPAC LTDA, localizado no município de Rio Verde, estado de Goiás, às margens da Rodovia BR-060, Km 416, Esq. 2 Km. O local do experimento apresenta coordenadas geográficas de 17°44'21,99'' de latitude Sul e

50°51'18,11'' de longitude Oeste, a altitude média de 740 m. Os trabalhos foram conduzidos durante a safra de 2023/2024.

2.1 Obtenção dos Isolados de *Trichoderma* spp. e Patógenos

Foram utilizados 13 isolados de *Trichoderma* spp., provenientes da coleção de microrganismos mantida pela empresa Biotech Terra Forte Brasil S/A, e quatro fitopatógenos disponibilizados por um laboratório parceiro. A coleta de solo para obtenção dos isolados foi realizada em áreas de mata nativa no estado de Goiás, contemplando tanto a borda quanto o centro da vegetação. Amostras de aproximadamente 500 g foram retiradas com auxílio de trado estéril, em profundidades entre 5 e 20 cm, acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados e transportados ao laboratório em caixas isotérmicas, conforme metodologias adaptadas de Sinclair e Dhingra (1995) e Hungria e Araújo (1994).

O isolamento primário foi conduzido em meio Ágar Rosa Bengala suplementado com estreptomicina, seletivo para fungos filamentosos, por restringir o crescimento bacteriano e moderar a expansão micelial, favorecendo a obtenção de colônias distintas (Barnett; Hunter, 1998). Colônias com morfologia típica de *Trichoderma* (crescimento rápido, micélio inicialmente branco e posterior esporulação esverdeada) foram selecionadas e purificadas por monosporização, originando os 13 isolados utilizados neste estudo.

A **Tabela 1** apresenta os códigos de identificação dos isolados de *Trichoderma* spp., todos obtidos a partir de amostras de solo coletadas no estado de Goiás. Os isolados foram repicados em meio de cultura estéril no mesmo intervalo de tempo, com o objetivo de manter a estabilidade genética e adaptativa, além de reduzir os riscos de contaminação e senescência das culturas.

Tabela 1. Código de isolados de *Trichoderma spp.* isolados selvagens e tipo de substrato de origem e coordenadas.

Isolados	Tipo de substrato	Origem	Coordenadas
P1	Solo	Goiás	Confidencial
P2	Solo	Goiás	Confidencial
P3	Solo	Goiás	Confidencial
P4	Solo	Goiás	Confidencial
P5	Solo	Goiás	Confidencial
P6	Solo	Goiás	Confidencial
P7	Solo	Goiás	Confidencial
P8	Solo	Goiás	Confidencial
P9	Solo	Goiás	Confidencial
P10	Solo	Goiás	Confidencial
P11	Solo	Goiás	Confidencial
P12	Solo	Goiás	Confidencial
P13	Solo	Goiás	Confidencial

Descrição da Tabela 1: Todos os isolados foram coletados a partir de solo no estado de Goiás. As coordenadas não foram divulgadas por questões de confidencialidade. A tabela organiza e descreve uma série de amostras de *Trichoderma sp.*, destacando a homogeneidade em relação ao tipo de substrato (solo) e à área geográfica de coleta (Goiás), enquanto mantém em sigilo os detalhes precisos de localização para preservar a confidencialidade.

Para subcultivar as cepas fúngicas neste estudo, utilizou-se o meio de Ágar Dextrose Batata (BDA), que é amplamente empregado para tais aplicações, já que a composição permite aos fungos crescer e esporular (Pontecorvo *et al.* 1953). Para repicagem discos de micélio foram retirados das colônias e transferidos para novas placas contendo BDA. As placas foram incubadas em câmara de crescimento tipo B.O.D., a $24 \pm 2^\circ\text{C}$, com fotoperíodo de 12 h de luz e 12 h de escuro. As culturas foram avaliadas quanto ao crescimento micelial, características morfológicas e a presença de possíveis contaminações.

2.2 Testes de Pareamento de Culturas

O experimento foi conduzido em placas de Petri contendo meio de Batata-Dextrose- Ágar (BDA), nas quais foram posicionados discos de micélio dos isolados de fitopatógenos e de *Trichoderma spp.* Os discos de *Trichoderma* e dos patógenos foram dispostos em dois sistemas

distintos: (i) em extremidades opostas da placa, com distância aproximada de 1,0 cm da borda; e (ii) com o disco de *Trichoderma* posicionado no centro da placa e os quatro patógenos distribuídos nas extremidades, proposta metodológica adaptada neste estudo.

A avaliação do sistema (i) foi realizada utilizando a escala de Bell *et al.* (1982), que classifica o antagonismo de *Trichoderma* contra um único patógeno em notas de 1 a 5, de acordo com a proporção da superfície da placa ocupada por cada microrganismo e o grau de colonização observado.

Esse método apresentado na **Tabela 2**, permite avaliar a interação direta entre os microrganismos e a capacidade antagônica de *Trichoderma* sobre os fitopatógenos (Bell *et al.* 1982). Após a distribuição dos discos as placas foram mantidas a $24^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ em uma incubadora tipo B.O.D., sob fotoperíodo de 12 horas de luz e 12 horas de escuro. Após 10 dias de incubação o crescimento micelial foi mensurado. As placas do sistema (i) foram avaliadas quanto ao potencial de antagonismo pela escala de Bell *et al.* (1982), com classificação de 1 a 5.

Tabela 02 - Escala Original de Bell *et al.* (1982) (1 a 5) – Para um único patógeno.

Nota	Classificação	Descrição
1	Antagonismo máximo	<i>Trichoderma</i> cobre 100% da superfície da placa e coloniza completamente o patógeno.
2	Antagonismo elevado	<i>Trichoderma</i> ocupa pelo menos 66% da superfície da placa e coloniza parcialmente o patógeno.
3	Competição equilibrada	<i>Trichoderma</i> e o patógeno ocupam 50% da superfície da placa, sem que um iniba completamente o outro.
4	Predominância do patógeno	O patógeno cobre pelo menos 66% da superfície da placa, reduzindo o crescimento de <i>Trichoderma</i> .
5	Nenhum antagonismo	O patógeno ocupa 100% da placa, inibindo completamente o crescimento de <i>Trichoderma</i> .

Descrição da Tabela 2: Escala de Bell *et al.* (1982) para quantificação do antagonismo de *Trichoderma* sobre um patógeno específico em ensaios *in vitro*. As notas de 1 a 5 descrevem o grau de cobertura e inibição na superfície da placa, sendo fundamental para a avaliação da eficácia do agente de biocontrole.

Para o sistema (ii), a escala foi modificada para intervalo de 1 a 9, mostrando uma classificação mais precisa para os níveis de inibição do patógeno e a interação dos isolados testados. A adaptação foi realizada a fim de aumentar a precisão da análise, bem como criar a diferenciação apenas pela análise por grau de antagonismo

Tabela 03. Escala adaptada (1 a 9) para avaliação do antagonismo de *Trichoderma* contra múltiplos patógenos.

Nota	Classificação	Descrição
1	Muito baixa	Crescimento micelial praticamente ausente e esporulação quase inexistente.
3	Baixa	Micélio esparso; baixa produção de esporos; colônia com cobertura parcial da placa.
5	Moderada	Crescimento micelial e esporulação medianos; colônia razoavelmente densa cobrindo metade ou mais da placa.
7	Alta	Crescimento rápido e micélio denso; boa produção de esporos visíveis a olho nu.
9	Muito alta	Crescimento vigoroso, esporulação intensa; colônia espessa e homogênea.

Descrição da Tabela 3: Escala adaptada para classificar a capacidade de crescimento e esporulação de *Trichoderma* na presença de múltiplos patógenos. Essa ferramenta, variando de 1 a 9, permite quantificar a performance do agente de biocontrole, desde crescimento/esporulação muito baixos até desenvolvimento vigoroso e intenso.

No sistema (ii), a adaptação da escala para nove níveis mostrou-se mais adequada para discriminar os diferentes graus de inibição dos patógenos e de crescimento de *Trichoderma*. Essa modificação buscou aumentar a precisão da análise e fornecer parâmetros mais robustos de diferenciação entre os isolados testados, baseando-se exclusivamente no grau de antagonismo.

2.3 Preparo do Inóculo

A metodologia empregada na produção de *Trichoderma* sp. em fermentação em estado

sólido foi adaptada de protocolos clássicos descritos na literatura (Morandi, 2009) e de trabalhos recentes (Mulatu *et al.*, 2019; Naeimi *et al.*, 2020). As modificações envolveram a quantidade de substrato, o volume de água utilizado e o método de extração dos esporos, visando o crescimento fúngico ideal e a obtenção da suspensão de esporos.

Inicialmente, utilizou-se frascos de Erlenmeyer com capacidade de 125 mL, contendo 12 g de arroz parboilizado integral e 7 mL de água destilada estéril. Os frascos foram selados com papel alumínio e autoclavados a 121°C por 20 minutos. Após resfriamento, em cabine de fluxo laminar previamente esterilizada, os frascos foram inoculados com 15 discos de micélio retirados de culturas de *Trichoderma* em BDA, utilizando a extremidade posterior de ponteiros de 1000 µL.

Os frascos inoculados foram mantidos em B.O.D. a 25°C por 7 dias, até a completa colonização do arroz, evidenciada pela esporulação verde característica do fungo. Para obtenção da suspensão, adicionou-se água destilada estéril aos frascos colonizados, seguida de agitação e filtração.

2.4 Teste de Viabilidade

As suspensões foram submetidas a dois tratamentos de armazenamento: Refrigerada (4°C $\pm$ 1°C) e congelada (-20°C $\pm$ 2°C). A viabilidade dos esporos foi avaliada periodicamente nos dias 0, 7, 14, 21, 28 e 35, após o armazenamento. Os métodos para contagem de conídios e avaliação da viabilidade fúngica foram adaptados de Embrapa (2013), com ajustes específicos para este estudo. As diluições seriadas foram preparadas utilizando solução salina estéril (NaCl 0,85%).

As diluições seriadas foram preparadas utilizando solução salina estéril (NaCl 0,85%). Inicialmente, transferiu-se 1,0 mL da suspensão original para um tubo de ensaio contendo 9,0 mL da solução salina estéril, obtendo-se a diluição 10^{-1} . A homogeneização foi realizada em agitador de tubos, repetindo o processo de inserção e remoção do tubo três vezes até a formação

de turbilhonamento. O procedimento foi repetido sequencialmente, sempre a partir da diluição anterior, até atingir a diluição desejada para a contagem de conídios (10^{-2} , 10^{-3} e subsequentes).

Para a quantificação, alíquotas foram depositadas em câmara de Neubauer, cuidadosamente cobertas por lamínula. Antes da leitura, a câmara foi mantida em repouso por cinco minutos, permitindo a sedimentação dos conídios e reduzindo erros de contagem. A avaliação da viabilidade foi conduzida de acordo com a metodologia descrita por Woo *et al.* (2014), com modificações.

Em cada tempo de armazenamento, quatro gotas da suspensão correspondente foram distribuídas de maneira equidistante em placas de Petri contendo meio BDA, em três repetições independentes. As placas foram incubadas a $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 17 horas, período considerado suficiente para a germinação inicial dos conídios em condições ótimas (Benítez *et al.*, 2004). Após esse período, uma gota de azul de lactofenol foi adicionada em cada ponto de inoculação, fixando e corando os esporos para facilitar a visualização.

A viabilidade foi determinada em microscópio óptico com objetiva de 40x, considerando-se viáveis os conídios que apresentavam tubo germinativo ou sinais de atividade celular. A contagem foi realizada em câmara de Neubauer, a partir da média dos campos 1 e 2, seguindo metodologia padrão para quantificação de propágulos fúngicos.

2.5 Ensaio em Campo

Os experimentos em campo foram conduzidos na estação experimental do Instituto de Pesquisa Agrícola do Cerrado (IPAC), localizada na Rodovia BR 060, km 416, Esq. 2 km, zona rural do município de Rio Verde – GO. O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso, com 10 tratamentos, incluindo isolados de *Trichoderma* spp. selecionados, combinações entre eles e um produto biológico comercial à base de *Trichoderma* (Tabela 4).

Tabela 4. Relação dos tratamentos aplicados com os diferentes produtos biológicos tipo de aplicação Sulco e barra.

Nº	Produtos	Ingrediente ativo	Época	Dose recomendada L/ha
T1	Testemunha	-	-	-
T2	P6	<i>Trichoderma</i>	Sulco	0,5 L/ha
T3	P3	<i>Trichoderma</i>	Sulco	0,5 L/ha
T4	P10	<i>Trichoderma</i>	Sulco	0,5 L/ha
T5	P3, P6 e P10	<i>Trichoderma</i>	Sulco	0,166+0,166+0,166 Lha
T6	P3 e P6	<i>Trichoderma</i>	Sulco	0,25+0,25 L/ha
T7	P3 e P6	<i>Trichoderma</i>	Sulco	0,05+0,45 L/ha
T8	P6 e P3	<i>Trichoderma</i>	Sulco e Barra	0,5 L/ha
T9	P6	<i>Trichoderma</i>	Sulco	0,25 L/ha
T10	Trichodermil	<i>Trichoderma</i>	Sulco	0,2 L/ha

Descrição da Tabela 4: Descrição da Tabela 4: Detalhamento dos tratamentos aplicados, incluindo produtos biológicos à base de *Trichoderma*, os ingredientes ativos, a época de aplicação (sulco de plantio ou barra) e as doses recomendadas em litros por hectare (L ha⁻¹).

As doses utilizadas foram definidas com base em recomendações técnicas e comerciais de produtos biológicos registrados no Brasil, bem como em estudos prévios sobre aplicação de *Trichoderma spp.* Para os isolados individuais (P3, P6 e P10), adotou-se a dose de 0,5 L ha⁻¹. Nas combinações de isolados, as doses foram fracionadas de modo que o volume total se mantivesse equivalente, permitindo a avaliação do efeito sinérgico ou competitivo entre cepas. Adicionalmente, variações proporcionais (0,05 + 0,45 L ha⁻¹) foram testadas para verificar a dominância de uma cepa sobre a outra. O tratamento comercial (Trichodermil) foi incluído como referência, utilizando a dose recomendada pelo fabricante (0,2 L ha⁻¹).

Por fim, a aplicação em barra foi inserida para simular condições práticas de manejo em campo e comparar a eficácia de diferentes métodos de aplicação. Foram conduzidos dois ensaios em áreas distintas, um na cultura da soja e outro na cultura do milho. As parcelas experimentais de soja foram constituídas por seis linhas de plantio, espaçadas em 0,50 m, com dimensões de 3 m de largura por 5 m de comprimento, totalizando 15 m² por parcela.

No milho, cada parcela apresentou dimensões de 3 × 6 m, correspondendo a 18 m². As aplicações dos tratamentos foram realizadas com o auxílio de uma barra de pulverização

propulsionada a CO₂, calibrada para uma vazão de 150 L ha⁻¹. O experimento foi conduzido com o cultivar de soja Guapó e com o milho convencional PT 398, avaliando-se 10 tratamentos em delineamento experimental com quatro repetições.

De acordo com a classificação climática de Köppen, a região de Rio Verde (GO) apresenta clima do tipo Aw, caracterizado como tropical úmido, com duas estações bem definidas: uma chuvosa no verão e outra seca no inverno. A precipitação média anual varia entre 1.500 e 1.800 mm, concentrada entre os meses de outubro e abril, enquanto a temperatura média anual situa-se entre 22 e 24°C (ALVARES *et al.*, 2013).

A análise química do solo, realizada por empresa terceirizada na profundidade de 0 a 20 cm, confirmou tais características, apresentando teor de alumínio trocável de 0,047 cmol_a/dm³, com saturação por alumínio (m) de 1,41%. A capacidade de troca catiônica (CTC) foi de 9,09 cmol_a/dm³ e a saturação por bases (V%) de 44,12%. Os teores de cálcio e magnésio foram de 2,63 e 1,37 cmol_a/dm³, respectivamente, resultando em relação Ca/Mg de 2,09, enquanto o potássio apresentou valor de 0,07 cmol_a/dm³ (28,49 ppm), com relação Ca/K de 37,35. O fósforo disponível foi de 3,98 ppm.

Em relação aos micronutrientes, os teores determinados foram de 0,305 ppm para boro, 4,25 ppm para cobre, 30,06 ppm para ferro, 18,97 ppm para enxofre e 1,51 ppm para zinco. O teor de sódio foi de 1,77 cmol_a/dm³, enquanto a matéria orgânica do solo (MOS) foi estimada em 3,13%. O teor de argila apresentou valor de 56,47%, corroborando a classificação de solo de textura argilosa.

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.

2.7 Avaliações Agronômicas – Soja

Foi utilizada o cultivar HO Genética Guapó I2X, reconhecido pela boa sanidade foliar e elevado potencial produtivo, características que favorecem a estabilidade em condições de baixa fertilidade. A altura de plantas foi adotada como indicador direto de vigor vegetativo e eficiência na absorção de nutrientes, além de estar associada ao rendimento da cultura (Wójcik-Gront *et al.*, 2022).

Para avaliar a altura de planta, cinco plantas foram aleatoriamente selecionadas nas fileiras centrais de cada parcela experimental. A altura foi medida com haste graduada, do ponto de inserção basal até o último trifólio completamente desenvolvido, no estágio fenológico R1. Os dados foram analisados estatisticamente por meio de Análise de Variância (Anova) e comparação de médias pelo teste adequado ao nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

O manejo do solo tem influência direta no crescimento radicular (Venzke Filho *et al.* 2004), sendo essencial analisar o sistema radicular no contexto de práticas biológicas e agronômicas que pretendem aumentar a produtividade das culturas. Tradicionalmente, o peso da raiz é um indicador da eficiência do uso da água e dos nutrientes, bem como uma manifestação da saúde da planta.

Para isso, cinco plantas por parcela foram coletadas com auxílio de enxadão até 50 cm de profundidade, procedimento que assegura a recuperação da maior parte do sistema radicular (Venzke filho *et al.*, 2004). 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, possibilitando a determinação da massa seca total. Esse protocolo segue metodologias consagradas na literatura, que consideram a massa seca um dos parâmetros mais robustos para avaliar acúmulo de biomassa em soja, embora diferentes autores utilizem variações de tempo e temperatura de secagem (Wijewardana *et al.*, 2019; Balbinot junior *et al.*, 2015).

A produtividade de grãos foi estimada pelo peso de mil sementes (PMS), calculada a

partir da pesagem de 100 sementes representativas, multiplicando o valor obtido por dez, conforme estabelecido nas *Regras para Análise de Sementes*. Os valores foram corrigidos para o teor de umidade padrão de 13%, procedimento recomendado em ensaios de avaliação agronômica de soja para garantir comparabilidade entre tratamentos e consistência com valores médios de mercado (EMBRAPA, 2013). O rendimento final foi expresso em kg/ha e convertido para sacas/ha (sc/ha), considerando o padrão de 60 kg por saca.

Assim, as variáveis agronômicas avaliadas alturas de plantas, massa seca de raízes e parte aérea, PMS e produtividade corrigida constituem indicadores consolidados e amplamente empregados na análise de performance da soja sob diferentes práticas de manejo biológico e convencional (Venzke filho *et al.*, 2004).

2.8 Avaliações Agronômicas – Milho (P3898)

As características agronômicas do milho apresentam impacto direto sobre a emergência, o estabelecimento do estande e, posteriormente, sobre o crescimento vegetativo e reprodutivo da cultura, influenciando tanto o rendimento quanto a qualidade dos grãos (EMBRAPA, 2018). A uniformidade de emergência é um dos fatores mais críticos para a obtenção de elevados rendimentos, uma vez que plantas que emergem de forma tardia apresentam desvantagem competitiva na absorção de luz, água e nutrientes, resultando em menores produtividades (Syngenta Research; NC Soybean Extension, 2017).

A altura de planta foi medida do nível do solo até a extremidade da folha bandeira em cinco plantas aleatoriamente selecionadas por parcela, utilizando régua graduada.

O diâmetro do colmo foi determinado com auxílio de paquímetro digital, na região próxima à base da planta, a 5 cm do solo, parâmetro diretamente associado à resistência ao acamamento e sustentação da espiga (Cruz, 2010).

A altura de inserção da espiga foi medida verticalmente, do nível do solo até o ponto de inserção da primeira espiga totalmente desenvolvida, utilizando fita métrica, em cinco plantas

por parcela.

A produtividade de grãos foi estimada a partir da colheita das parcelas úteis, sendo os valores ajustados para o teor de umidade padrão de 13%. O cálculo foi realizado com base no peso de mil grãos (PMS), determinado pela pesagem de 100 sementes representativas multiplicadas por dez, conforme metodologias descritas nas *Regras para Análise de Sementes* (BRASIL, 2009). O rendimento final foi expresso em kg/ha e convertido em sacas/ha (sc/ha), considerando o padrão de 60 kg por saca, procedimento adotado em experimentos de avaliação de desempenho agrônomo em milho (EMBRAPA, 2013).

Assim, os parâmetros avaliados altura de planta, diâmetro do colmo, altura de inserção da espiga e PMS e produtividade corrigida constituem indicadores amplamente consolidados e utilizados em experimentos com milho para determinar a performance de genótipos e o efeito de práticas de manejo (SANTOS *et al.*, 2017).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Testes de Pareamento de Culturas e Análise de Dados do Pareamento

Os isolados foram avaliados por dois sistemas distintos (i) em extremidades opostas da placa, com distância aproximada de 1,0 cm da borda. Nos testes de pareamento, foi possível observar que alguns isolados de *Trichoderma* spp. foram mais expressivos que outros, ocupando 100% da placa, como foi o caso da cepa P6, P10 e P3. (Figura 1) com o patógeno *Macrophomina* spp, esses resultados corroboram com estudos recentes que destacam a ampla capacidade biocontroladora de *Trichoderma* por meio de mecanismos como micoparasitismo e competição por nutrientes, além de promoção de crescimento vegetal (Yao *et al.*, 2023; Guzmán-Guzmán *et al.*, 2023)

Figura 1. Antagonismo de isolados de *Trichoderma* spp. x *Macrophomina* spp.



Figura 1



Figura 2



Figura 3

Figura 1. Antagonismo do isolado P6 de *Trichoderma* spp. frente a *Macrophomina phaseolina*., evidenciando colonização completa da placa e recobrimento do patógeno. **Figura 2.** Antagonismo do isolado P10 de *Trichoderma* spp. frente a *Macrophomina phaseolina*., caracterizado por rápido crescimento micelial e esporulação intensa. **Figura 3.** Antagonismo do isolado P3 de *Trichoderma* spp. frente a *Macrophomina phaseolina*., com ocupação de 100% da placa e inibição total do patógeno.

A avaliação *in vitro* pelo sistema (ii), no qual *Trichoderma* spp. foi posicionado no centro da placa e os fitopatógenos distribuídos nas extremidades, evidenciou diferenças expressivas no desempenho dos isolados testados. Esses resultados corroboram relatos da literatura, que indicam que cepas com rápido crescimento e intensa esporulação apresentam maior eficácia no antagonismo a fitopatógenos (Benítez *et al* 2004).

Tabela 5. Caracterização dos isolados de *Trichoderma* spp. quanto à capacidade de esporulação, expansão micelial e ação parasitária sobre fitopatógenos.

Isolado	Capacidade de esporulação	Expansão do micélio	Fitopatógeno observado com parasitismo
P1	5	5	<i>Macrophomina phaseolina</i> , <i>Rhizoconia</i>
P2	1	9	<i>Macrophomina phaseolina</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Rhizoconia</i>
P3	1	9	<i>Macrophomina phaseolina</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Rhizoconia</i>

P4	5	5	<i>Macrophomina phaseolina</i> , <i>Rhizoctonia</i>
P5	5	5	<i>Macrophomina phaseolina</i>
P6	9	9	<i>Macrophomina phaseolina</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Rhizoctonia</i>
P7	5	9	<i>Macrophomina phaseolina</i> , <i>Rhizoctonia</i>
P8	5	1	<i>Macrophomina phaseolina</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Rhizoctonia</i>
P9	1	5	<i>Macrophomina phaseolina</i>
P10	9	5	<i>Macrophomina 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>

Descrição da Tabela 5:¹ Escala de 1 a 9, sendo 1 = baixa esporulação e 9 = alta esporulação, ² Escala de 1 a 9, sendo 1 = crescimento lento e 9 = crescimento vigoroso, ³ patógenos nos quais foi observada atividade parasitária em testes de pareamento *in vitro*. Além disso, a análise das imagens 1, 2 e 3 das repetições confirmou visualmente a eficácia desses isolados, evidenciando a inibição do crescimento dos patógenos.

O isolado P10, embora tenha demonstrado crescimento intermediário (nota 5), destacou-se pela esporulação intensa (nota 9) e pela capacidade de parasitar simultaneamente *Macrophomina phaseolina*, *Macrophomina* spp., *Fusarium* spp. e *Rhizoctonia solani*, confirmando seu potencial de ação em múltiplos mecanismos de biocontrole.

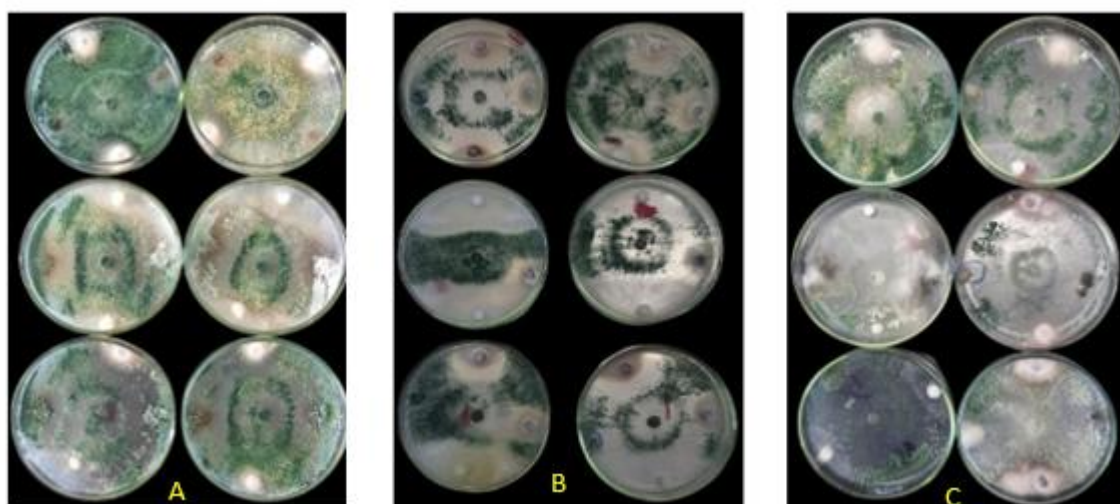


Figura 2. Avaliação *in vitro* de *Trichoderma* spp. no controle de fitopatógenos, com o fungo posicionado no centro da placa de Petri e os patógenos distribuídos nas extremidades. As imagens A, B e C mostram os desempenhos de diferentes cepas (Cepa P6, Cepa P10 e Cepa P3, respectivamente)

Os resultados indicam que os isolados P3, P6 e P10 possuem potencial significativo para

o controle biológico de fitopatógenos, podendo ser considerados como isolados promissores para futuros testes em condições de campo e formulação de produtos biológicos. (Abdullah *et al.*, 2021).

3.2 Formulação do Produto

Os resultados obtidos mostraram que a formulação com os agentes formuladores foi eficiente para manter *Trichoderma* sp. estável e viável ao longo do tempo. A baixa taxa de germinação dos esporos foi mantida durante o armazenamento de formulações preparadas por polímeros, eles contribuíram para proteger e liberar microrganismos de maneira controlada.

A partir da avaliação das diferentes condições de armazenamento, observou que a viabilidade dos esporos foi bem preservada sob temperaturas refrigeradas em comparação às condições de congelamento. Os resultados obtidos corroboram estudos anteriores que enfatizaram o papel dos polímeros nas formulações de bioinsumos à base de *Trichoderma* sp. contribuindo para a manutenção da viabilidade e do potencial biológico dos microrganismos durante o período de armazenamento. (Gowamio *et al.*, 2020) e (Singh *et al.*, 2021).

Devido às vantagens como estabilização de suspensões biológicas, aumento da adesão e prolongamento da permanência do esporo na superfície das folhas das plantas, visando melhorar o controle biológico, diferentes agentes formuladores têm sido extensivamente investigados (Leggett *et al.* 2011; Deng *et al.* 2018; Pacheco. *et al.*, 2020). Assim, o desempenho dos produtos biológicos no ambiente agrícola e a atividade desses microrganismos *in vitro* dependem da presença e ação desses compostos.

3.3 Teste de Viabilidade

A estabilidade e a viabilidade dos esporos de *Trichoderma* são fatores determinantes para o sucesso da formulação de bioinsumos de uso agrícola. O armazenamento é um dos principais condicionantes desse processo, podendo impactar diretamente a longevidade e a funcionalidade

dos propágulos (Harman, 2006).

Na presente avaliação, foram analisados os efeitos do armazenamento refrigerado ($4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) e congelado ($-80^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) por até 35 dias sobre a viabilidade dos esporos. Observou-se a redução gradual da viabilidade em ambas as condições (Gráfico 1 e gráfico 2). No entanto, a queda mais acentuada foi registrada nos esporos submetidos ao congelamento, indicando maior impacto negativo dessa condição sobre a integridade celular e a sobrevivência dos conídios como relatado por Harman (2006) e Laranjeira *et al.* (2018).

Gráfico 1: Viabilidade de esporos de *Trichoderma sp.* em suspensão sob condições de armazenamento congelado (-80°C) ao longo de 35 dias.

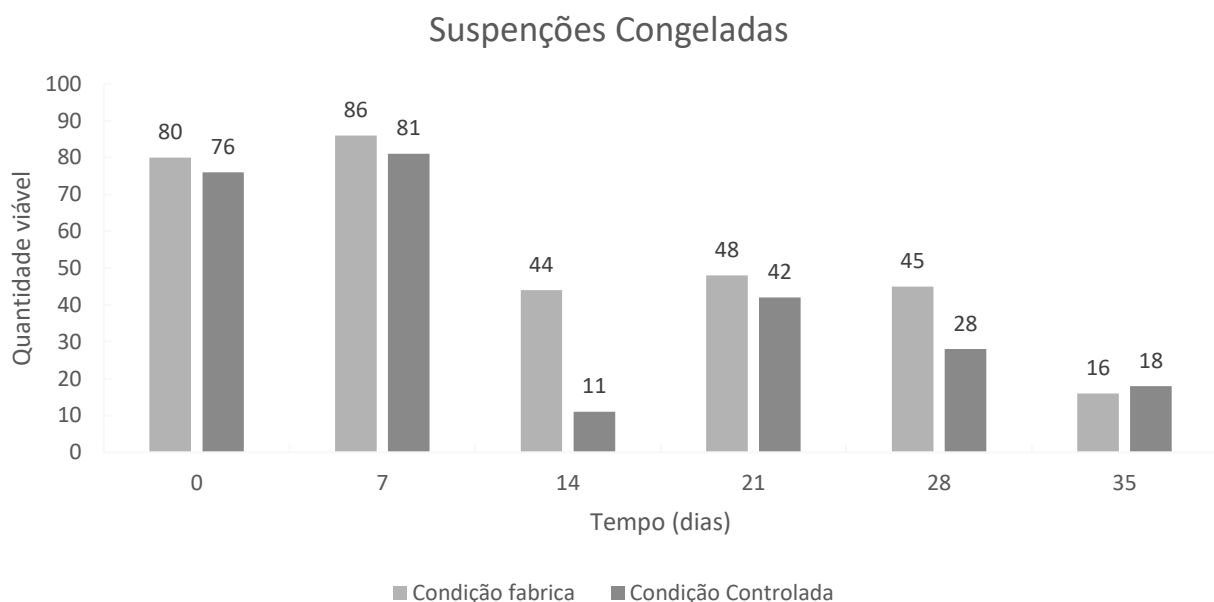


Gráfico 1: Viabilidade (%) de esporos de *Trichoderma sp.* (Cepa P6) mantidos sob armazenamento congelado ($-80^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) ao longo de 35 dias. Observa-se queda acentuada da viabilidade após o 14º dia, indicando que o congelamento compromete a integridade e a longevidade dos esporos.

No primeiro ponto de avaliação, havia grande quantidade de esporos viáveis em ambas as condições (88% na condição refrigerada e 80% na condição congelada), o que é indicativo da qualidade inicial da suspensão. Esses achados corroboram publicações anteriores que mostram que a viabilidade de *Trichoderma spp.* após a formulação (Contreras-Cornejo *et al.* 2014). No entanto, com o tempo, uma diminuição gradual na viabilidade foi registrada em ambos os ambientes, confirmando que a longevidade dos esporos é afetada pelo armazenamento (Benítez

et al., 2004). Na refrigeração, a viabilidade foi gradualmente estável até o 21º dia com 77% de esporos viáveis. (Gráfico 2). No tempo inicial (0 dias), a viabilidade foi elevada em ambas as condições (88% para esporos refrigerados e 80% para congelados), confirmando a qualidade inicial da suspensão, conforme já reportado em estudos semelhantes (CONTRERAS-CORNEJO *et al.*, 2014). Sob refrigeração, a viabilidade manteve-se relativamente estável até o 21º dia (77% de esporos viáveis), apresentando queda mais acentuada após esse período, atingindo 57% no 28º dia e 43% no 35º dia. Esse comportamento indica que o metabolismo reduzido em baixa temperatura favorece a preservação temporária sem induzir desidratação extrema, e contribui para a manutenção da viabilidade (Verma *et al.*, 2007).

No armazenamento congelado, o padrão observado foi distinto. Apesar de a viabilidade inicial ser próxima da condição refrigerada, após 14 dias ocorreu declínio expressivo (44%), chegando apenas 16% ao 35º dia. Essa queda provavelmente está associada a danos estruturais provocados pela formação de cristais de gelo e por ciclos de congelamento/descongelamento, que afetam a integridade dos conídios (Fernández-Sandoval *et al.*, 2012).

Esse comportamento corrobora achados anteriores, segundo os quais a refrigeração é mais adequada para preservar *Trichoderma* spp. por períodos moderados (até três semanas), enquanto o congelamento compromete severamente a germinabilidade em prazos mais longos (SHORESH *et al.*, 2010; WOO *et al.*, 2014). Assim, sugere-se que, para fins de formulação e aplicação em campo, suspensões de esporos sejam utilizadas preferencialmente até sete dias após a produção, sendo a refrigeração a condição mais indicada para o armazenamento de curto a médio prazo.

Gráfico 2: Viabilidade de esporos de *Trichoderma sp.*(Cepa P6) em suspensão sob condições de armazenamento refrigerados ao longo de 35 dias.

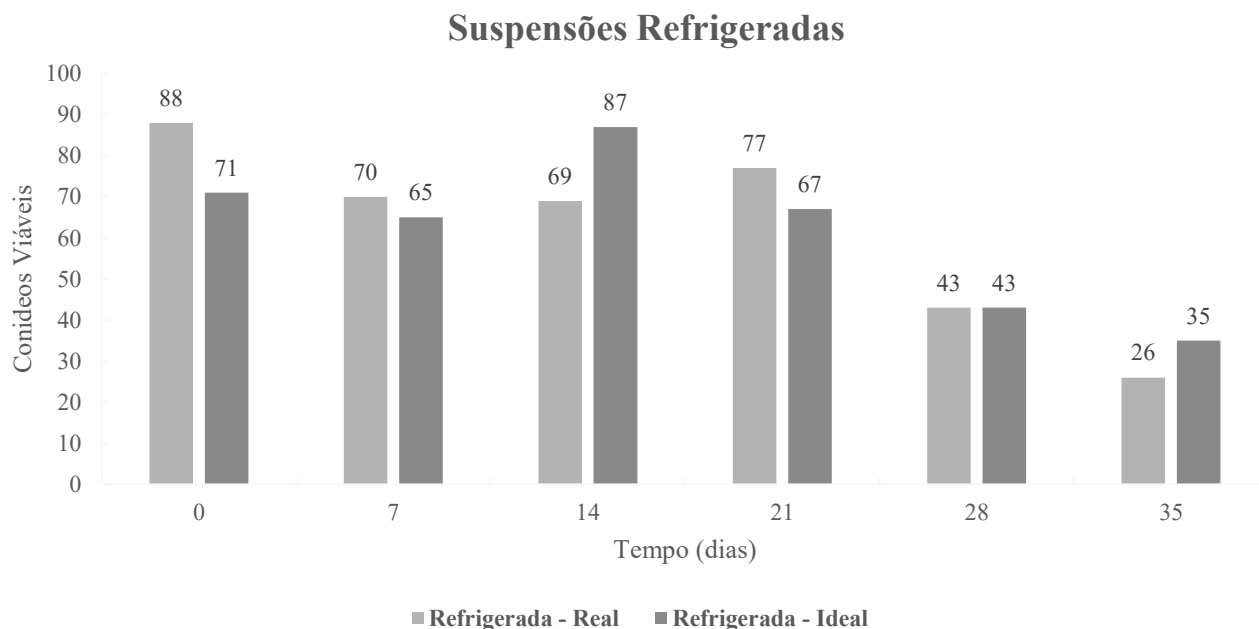


Gráfico 2: Viabilidade (%) de esporos de *Trichoderma sp.*(Cepa P6) mantidos sob armazenamento refrigerado ($4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) ao longo de 35 dias. A viabilidade manteve-se estável até o 21º dia, com declínio gradual após esse período, demonstrando maior estabilidade dos esporos sob refrigeração em comparação ao congelamento.

Após o primeiro período de avaliação, observou-se diminuição significativa na viabilidade dos esporos sob condição refrigerada. Aos 28 dias, registrou-se 43% de esporos inviáveis, enquanto aos 35 dias esse valor atingiu 26%, indicando perda progressiva de funcionalidade que, ao final do experimento, representou inviabilidade acumulada próxima de 98%. Esse comportamento pode ser explicado pela dormência fisiológica, em que o metabolismo é reduzido em baixas temperaturas sem ocorrer desidratação extrema, permitindo a manutenção parcial da viabilidade (Verma *et al.*, 2007).

Na condição de armazenamento congelado, observou-se comportamento distinto. Nos primeiros sete dias, a viabilidade foi superior da condição refrigerada (86% contra 70%), sugerindo efeito protetor inicial do congelamento. Contudo, a partir do 14º dia verificou-se acentuada redução na viabilidade (44% de esporos viáveis) acompanhada de aumento da

inviabilidade (62%), indicando que o congelamento prolongado compromete a integridade celular. Essa tendência manteve-se até o 35º dia, quando a viabilidade foi reduzida a apenas 16%, possivelmente em função de lise celular causada por danos estruturais associados a ciclos de congelamento e descongelamento (Fernández-Sandoval *et al.*, 2012).

O comportamento observado neste estudo é consistente com trabalhos prévios que demonstram que *Trichoderma* spp. podem ser preservado em refrigeração por períodos moderados, mas apresenta rápida perda de germinabilidade quando mantido sob congelamento prolongado (Shoresh *et al.*, 2010; Woo *et al.*, 2014).

Os resultados indicam que a refrigeração é a melhor estratégia para preservar esporos viáveis por até 21 dias, enquanto o congelamento é viável apenas para armazenamento de curtíssimo prazo (≤ 7 dias). Para assegurar a eficácia do biocontrole em campo, recomenda-se que esporos de *Trichoderma* spp. sejam preferencialmente utilizados até 7 dias após a formulação.

3.4 Ensaio em Campo

Os ensaios em campo foram conduzidos na estação de pesquisa do Instituto de Pesquisa Agrícola do Cerrado (IPAC). Para a análise estatística, utilizou-se o teste de Tukey, adotando um nível de significância de 5%. A fim de garantir a adequação dos dados às premissas estatísticas, foi aplicado o teste de homoscedasticidade em todas as variáveis, verificando a necessidade de transformação dos dados, conforme a metodologia de Box & Cox (1964). Todas as análises estatísticas foram realizadas por meio do software SASAGRO.

Após a seleção das cepas nos testes laboratoriais, as suspensões foram levadas a campo para validação em condições reais, possibilitando a avaliação do desempenho dos isolados selecionados. As variáveis analisadas incluíram altura de planta, peso da raiz e comprimento e da parte aérea, PMS, produtividade, umidade e peso de 1000 grãos. Já para o milho foram

avaliados os parâmetros de inserção de espiga, altura de planta, diâmetro do colmo, PMS ajustado, kg/ha e sc/ha.

3.5 Altura das Plantas

A altura de plantas foi avaliada aos 35 dias após a emergência (DAE) e apresentou variação significativa entre os tratamentos (Gráfico 3). O tratamento T1 proporcionou a maior altura média (95,05 cm), seguido por T2 (94,5 cm), enquanto T6 resultou no menor valor (83,85 cm), evidenciando desempenho inferior.

A aplicação isolada da cepa P6 apresentou efeito semelhante ao controle, confirmando a capacidade de estimular o crescimento vegetal. Estudos semelhantes por Geraldine *et al.* (2015), confirmam que os isolados de *Trichoderma*, podem promover aumentos significativos na altura das plantas e no rendimento, como observados em feijão, e em outras culturas como soja e milho Zilles *et al.* (2025) e (Araújo *et al.*, 2023) sob condições reais de campo. Em contrapartida, determinadas combinações de isolados resultaram em menores médias, sugerindo que interações competitivas podem reduzir o efeito positivo de cada cepa quando aplicadas separadamente.

Resultados semelhantes foram relatados por Brotman *et al.* (2013), que destacam que as interações entre microrganismos podem ser sinérgicas ou antagônicas, influenciando diretamente o crescimento das plantas. Chagas *et al.* (2017) também observaram que cepas de *Trichoderma* isoladas promoveram maior crescimento em soja, quando comparadas a combinações. Estudos recentes mostram que o *Trichoderma* capacidade de modular a arquitetura radicular, melhorar a absorção de nutrientes e aumentar a resistência a estresses bióticos e abióticos (Srivastava *et al.*, 2026).

O produto comercial Trichodermil apresentou incremento na altura de plantas, porém não superou os tratamentos com isolados nativos. Esse resultado corrobora a importância da utilização de cepas adaptadas às condições locais de clima e solo, como ressaltado por Chagas Júnior *et al.* (2018).

Gráfico 3. Apresenta os valores médios de altura de plantas de soja, avaliadas ao longo de 35 dias após a emergência (DAE), sob diferentes tratamentos. Observa que os tratamentos T1 e T2 apresentaram maiores médias com 95,05 cm e 94,5 cm.

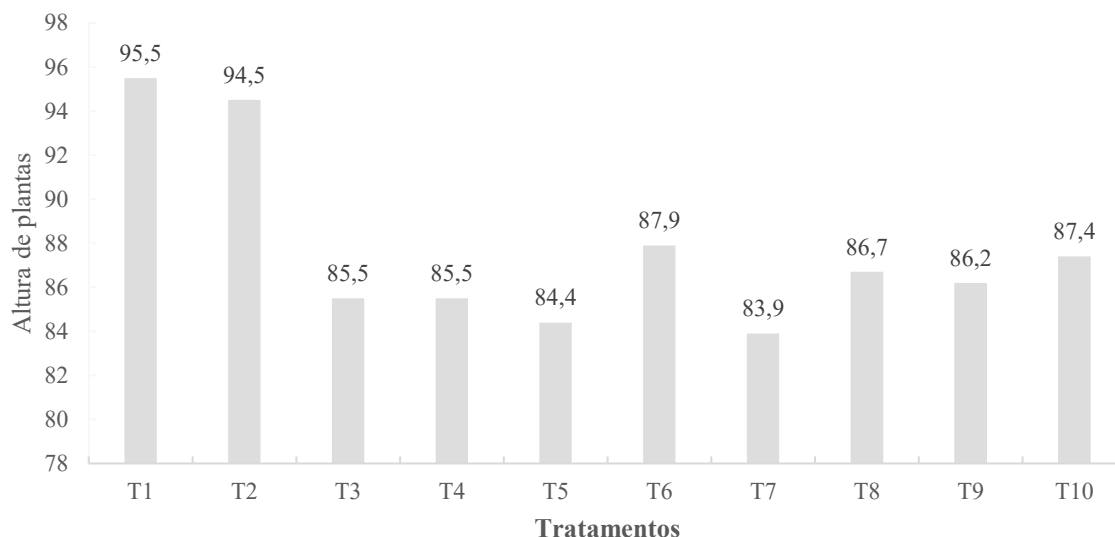


Gráfico 3. Altura média de plantas de soja (cm), avaliadas aos 35 dias após a emergência (DAE), sob diferentes tratamentos com isolados e combinações de *Trichoderma* spp. Os tratamentos aplicados foram: T1 (Testemunha, sem aplicação), T2 (P6 – *Trichoderma*, 0,5 L/ha, Sulco), T3 (P3 – *Trichoderma*, 0,5 L/ha, Sulco), T4 (P10 – *Trichoderma*, 0,5 L/ha, Sulco), T5 (P3, P6 e P10 – *Trichoderma*, 0,166 L/ha de cada, Sulco), T6 (P3 e P6 – *Trichoderma*, 0,25 L/ha de cada, Sulco), T7 (P3 e P6 – *Trichoderma*, 0,05 L/ha de P3 e 0,45 L/ha de P6, Sulco), T8 (P6 e P3 – *Trichoderma*, 0,5 L/ha, Sulco e Barra), T9 (P6 – *Trichoderma*, 0,25 L/ha, Sulco), e T10 (Trichodermil – *Trichoderma*, 0,2 L/ha, Sulco).

3.6 Peso Raiz e Parte Aérea

A variável massa seca de raízes e parte aérea apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos avaliados (Gráfico 4). Os tratamentos T1 e T2 destacaram-se com maiores valores médios de acúmulo de biomassa, enquanto alguns tratamentos combinados, como T6, apresentaram desempenho inferior em relação ao controle. Esses resultados indicam que, embora a inoculação com *Trichoderma* spp. em geral promova incremento de biomassa, determinadas combinações de isolados podem reduzir a eficiência individual de cada cepa por causa das interações competitivas.

Estudos anteriores relatam que a associação de *Trichoderma* com o sistema radicular favorece o crescimento vegetal por múltiplos mecanismos, como maior desenvolvimento radicular, produção de fitormônios e solubilização de nutrientes (Carrillo *et al.*, 2020; Jacques *et*

al., 2021), e pesquisas confirmam que o uso do *Trichoderma* reflete positivamente no desenvolvimento radicular, no aumento da absorção de água e nutrientes e, consequentemente, no acúmulo da biomassa. (Zhang *et al.*, 2024).

Por outro lado, a redução observada em alguns tratamentos pode estar associada à competição entre isolados coinoculados, conforme discutido por Brotman *et al.* (2013), que destacam que nem todas as combinações de microrganismos resultam em sinergismo, podendo ocorrer antagonismos que limitam a promoção de crescimento.

O produto comercial Trichodermil também proporcionou incremento na biomassa da soja, mas, assim como na variável altura de plantas, não superou o desempenho dos isolados nativos, reforçando a relevância da seleção de cepas adaptadas às condições do Cerrado (Chagas Júnior *et al.*, 2018).

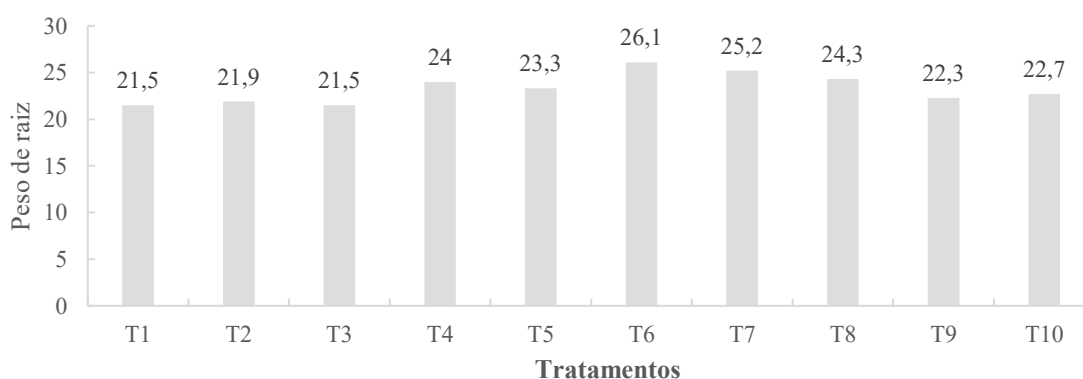


Gráfico 4. Valores médios de massa seca radicular e da parte aérea da soja aos 35 DAE em função de tratamentos com isolados e combinações de *Trichoderma* spp. Os tratamentos aplicados foram: T1 (Testemunha, sem aplicação), T2 (P6 – *Trichoderma*, 0,5 L/ha, Sulco), T3 (P3 – *Trichoderma*, 0,5 L/ha, Sulco), T4 (P10 – *Trichoderma*, 0,5 L/ha, Sulco), T5 (P3, P6 e P10 – *Trichoderma*, 0,166 L/ha de cada, Sulco), T6 (P3 e P6 – *Trichoderma*, 0,25 L/ha de cada, Sulco), T7 (P3 e P6 – *Trichoderma*, 0,05 L/ha de P3 e 0,45 L/ha de P6, Sulco), T8 (P6 e P3 – *Trichoderma*, 0,5 L/ha, Sulco e Barra), T9 (P6 – *Trichoderma*, 0,25 L/ha, Sulco), e T10 (Trichodermil – *Trichoderma*, 0,2 L/ha, Sulco).

3.7 Avaliação PMS

O peso de mil sementes (PMS) variou significativamente entre os tratamentos avaliados (Gráfico 5). Os tratamentos T1 e T2 apresentaram os maiores valores médios, indicando melhor enchimento de grãos e maior acúmulo de reservas. Em contrapartida, alguns tratamentos combinados, como T6, resultaram em menores valores, refletindo menor eficiência fisiológica durante o desenvolvimento reprodutivo da cultura.

O aumento do PMS em plantas tratadas com *Trichoderma spp.* pode estar associado à melhoria na absorção de nutrientes e água, ao estímulo da atividade fotossintética e à produção de fitormônios que favorecem o enchimento dos grãos (Harman *et al.*, 2004; Vinale *et al.*, 2008). Além disso, *Trichoderma* é capaz de reduzir o estresse biótico e abiótico, que contribui para a manutenção do metabolismo da planta durante o período reprodutivo, garantindo maior uniformidade e peso das sementes (Marra *et al.*, 2019; Jacques *et al.*, 2021).

Apesar da eficiência observada nos isolados nativos, o produto comercial Trichodermil apresentou desempenho intermediário, reforçando que a seleção de cepas adaptadas ao ambiente local pode resultar em ganhos superiores no PMS e, consequentemente, na produtividade final da soja (Chagas Júnior *et al.*, 2018).

Os valores médios do peso de mil sementes (PMS) de soja estão apresentados na Tabela 6. Observa-se que os tratamentos T1 e T2 obtiveram os maiores valores médios de PMS, evidenciando maior eficiência no enchimento de grãos. Em contrapartida, o tratamento T6 apresentou o menor valor, indicando possível redução no acúmulo de reservas nas sementes.

O incremento no PMS promovido pelos isolados de *Trichoderma spp.* pode estar relacionado ao aumento da absorção de nutrientes e água, ao estímulo da atividade fotossintética e à síntese de fitormônios que favorecem a fase reprodutiva, resultando em sementes mais uniformes e pesadas (Harman *et al.*, 2004; Vinale *et al.*, 2008). Além disso, cepas de *Trichoderma* contribuem para a redução de estresses bióticos e abióticos durante o ciclo da cultura, assegurando

maior estabilidade fisiológica e favorece o enchimento dos grãos (Marra *et al.*, 2019; Jacques *et al.*, 2021).

O produto comercial Trichodermil apresentou desempenho intermediário, inferior aos isolados nativos testados, reforçando a importância da utilização de cepas adaptadas às condições edafoclimáticas do Cerrado. Esse resultado corrobora a literatura que destaca a eficiência de microrganismos nativos no incremento da qualidade e produtividade de culturas agrícolas (Chagas Júnior *et al.*, 2018).

Tratamentos	PMS Ajustado (g)	Produtividade (Kg/ha)	Produtividade (Sc/ha)
T3	14.51 a	2078.48 a	34.65 a
T4	15.40 a	2058.22 a	34.32 a
T7	15.03 a	2362.60 a b	39.37 a b
T5	15.70 a	2280.95 a b	38.02 a b
T8	16.00 a	2304.87 a b	38.40 a b
T1	15.98 a	1998.82 a	33.30 a
T6	20.75 a	2674.32 b	44.57 b
T2	20.80 a	2377.40 a b	39.62 a b
T10	20.85 a	2211.52 a b	36.85 a b
T9	21.30 a	1993.50 a	33.25 a
CV%	11.51%	10.44%	10.44%

Descrição da Tabela 6: Análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey para as variáveis PMS ajustado (g), produtividade (Kg/ha) e produtividade (Sc/ha) em função dos tratamentos testados. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O coeficiente de variação (CV%) está indicado na última linha. Os tratamentos aplicados foram: T1 (Testemunha, sem aplicação), T2 (P6 – *Trichoderma*, 0,5 L/ha, Sulco), T3 (P3 – *Trichoderma*, 0,5 L/ha, Sulco), T4 (P10 – *Trichoderma*, 0,5 L/ha, Sulco), T5 (P3, P6 e P10 – *Trichoderma*, 0,166 L/ha de cada, Sulco), T6 (P3 e P6 – *Trichoderma*, 0,25 L/ha de cada, Sulco), T7 (P3 e P6 – *Trichoderma*, 0,05 L/ha de P3 e 0,45 L/ha de P6, Sulco), T8 (P6 e P3 – *Trichoderma*, 0,5 L/ha, Sulco e Barra), T9 (P6 – *Trichoderma*, 0,25 L/ha, Sulco), e T10 (Trichodermil – *Trichoderma*, 0,2 L/ha, Sulco).

3.8 Inserção da Espiga

A altura de inserção da espiga apresentou diferenças significativas entre os tratamentos avaliados (Gráfico 6). Os tratamentos T1 e T2 registraram as maiores médias, evidenciando

maior desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, enquanto T6 apresentou os menores valores, refletindo limitação no crescimento.

De acordo com Cruz (2010), a altura de inserção da espiga é um parâmetro diretamente associado à arquitetura da planta e à resistência ao acamamento. Valores equilibrados são desejáveis, pois contribuem para melhor distribuição de biomassa e eficiência no enchimento de grãos. Nesse sentido, os isolados de *Trichoderma spp.* que promoveram maior inserção da espiga podem ter favorecido o alongamento de entrenós e a expansão vegetativa, características atribuídas à produção de fitormônios como auxinas e giberelinas (Carrillo *et al.*, 2020; Jacques *et al.*, 2021).

Por outro lado, a menor altura de inserção observada em determinados tratamentos pode estar associada a interações competitivas entre isolados coinoculados, reduzindo o efeito promotor de crescimento. Situação semelhante foi relatada por Brotman *et al.* (2013), que destacam que nem todas as combinações de microrganismos resultam em sinergismo, podendo ocorrer antagonismos que impactam negativamente o desenvolvimento da planta.

O produto comercial Trichodermil apresentou desempenho intermediário, confirmando a eficácia em estimular a arquitetura reprodutiva do milho, mas sem superar os isolados nativos testados, que demonstraram maior adaptação às condições edafoclimáticas locais.

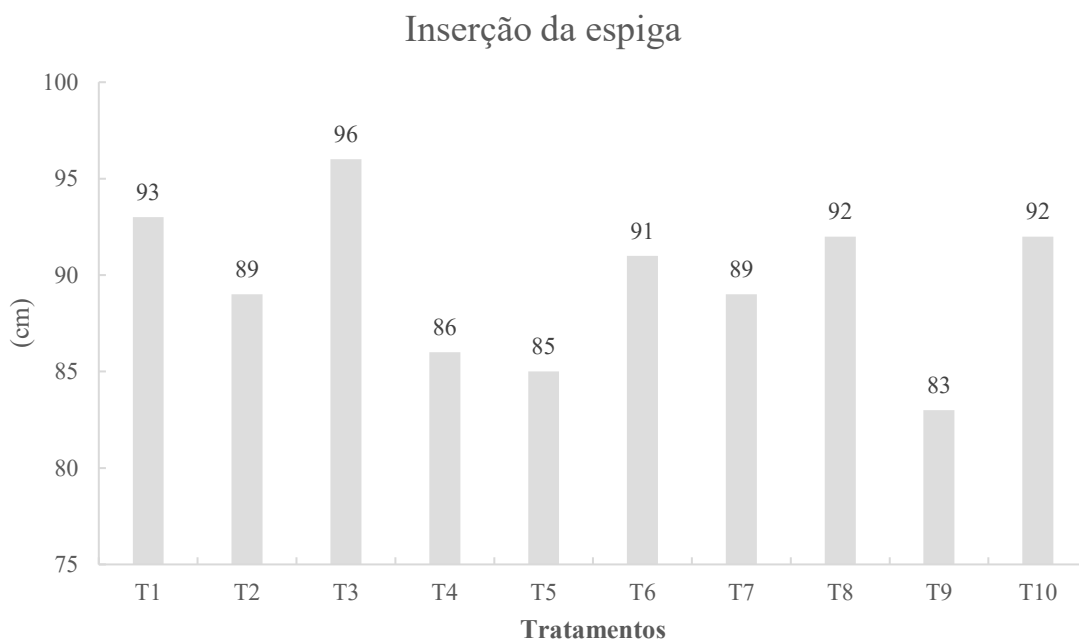


Gráfico 7. Altura de inserção da espiga (cm) de plantas submetidas a diferentes tratamentos com *Trichoderma* spp. Os tratamentos aplicados foram: T1 (Testemunha, sem aplicação), T2 (P6 – *Trichoderma*, 0,5 L/ha, Sulco), T3 (P3 – *Trichoderma*, 0,5 L/ha, Sulco), T4 (P10 – *Trichoderma*, 0,5 L/ha, Sulco), T5 (P3, P6 e P10 – *Trichoderma*, 0,166 L/ha de cada, Sulco), T6 (P3 e P6 – *Trichoderma*, 0,25 L/ha de cada, Sulco), T7 (P3 e P6 – *Trichoderma*, 0,05 L/ha de P3 e 0,45 L/ha de P6, Sulco), T8 (P6 e P3 – *Trichoderma*, 0,5 L/ha, Sulco e Barra), T9 (P6 – *Trichoderma*, 0,25 L/ha, Sulco), e T10 (Trichodermil – *Trichoderma*, 0,2 L/ha, Sulco).

A variável altura de plantas de milho apresentou variação significativa entre os tratamentos (**Gráfico 7**). Os tratamentos T1 e T2 apresentaram as maiores médias (≈ 154 cm), evidenciando maior crescimento vegetativo em comparação aos demais. Em contrapartida, determinados tratamentos combinados resultaram em menores médias, refletindo possível efeito competitivo entre cepas coinoculadas

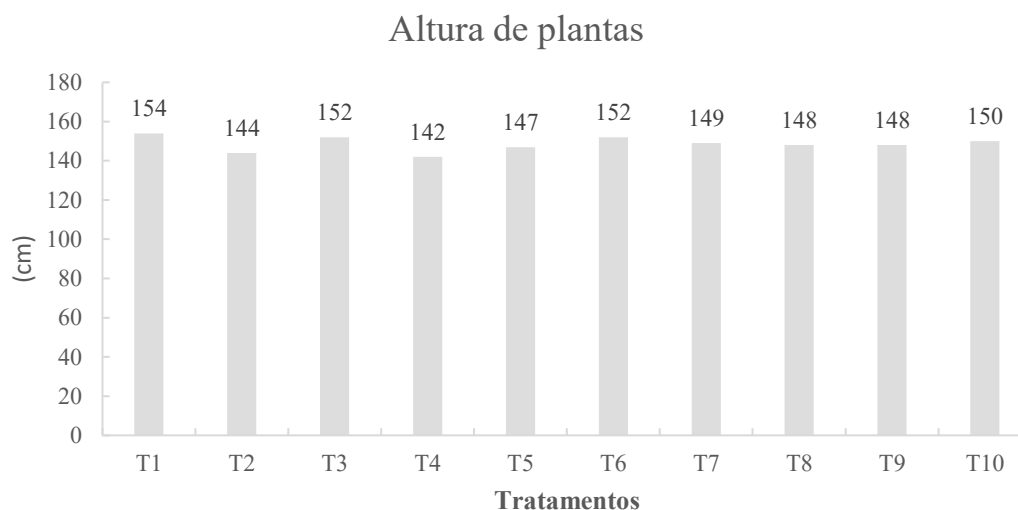


Gráfico 6. Altura média de plantas de milho (cm) sob diferentes tratamentos com isolados e combinações de *Trichoderma* spp. Os tratamentos aplicados foram: T1 (Testemunha, sem aplicação), T2 (P6 – *Trichoderma*, 0,5 L/ha, Sulco), T3 (P3 – *Trichoderma*, 0,5 L/ha, Sulco), T4 (P10 – *Trichoderma*, 0,5 L/ha, Sulco), T5 (P3, P6 e P10 – *Trichoderma*, 0,166 L/ha de cada, Sulco), T6 (P3 e P6 – *Trichoderma*, 0,25 L/ha de cada, Sulco), T7 (P3 e P6 – *Trichoderma*, 0,05 L/ha de P3 e 0,45 L/ha de P6, Sulco), T8 (P6 e P3 – *Trichoderma*, 0,5 L/ha, Sulco e Barra), T9 (P6 – *Trichoderma*, 0,25 L/ha, Sulco), e T10 (Trichodermil – *Trichoderma*, 0,2 L/ha, Sulco).

O incremento na altura de plantas promovido pelos isolados de *Trichoderma* spp. pode estar associado à síntese de fitormônios, como auxinas e giberelinas, e a maior absorção de nutrientes e tolerância ao estresse, mecanismos já relatados em estudos de promoção de crescimento vegetal (Carrillo *et al.*, 2020; Jacques *et al.*, 2021). Por outro lado, a redução observada em alguns tratamentos sugere interações antagônicas entre cepas, corroborando com as observações de Brotman *et al.* (2013), que destacam que a coinoculação de microrganismos nem sempre resulta em sinergismo.

O produto comercial Trichodermil apresentou desempenho intermediário, confirmando o potencial em promover o crescimento do milho, mas sem superar o efeito observado com isolados nativos, que mostraram melhor adaptação às condições edafoclimáticas da região.

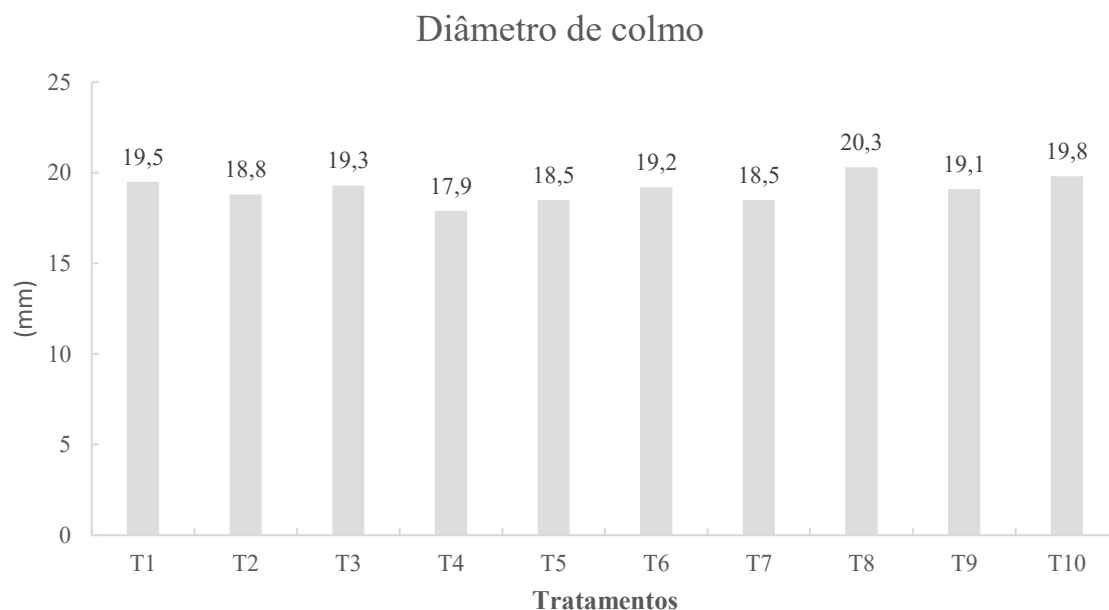


Gráfico 7. Comparação do diâmetro do colmo (mm) sob a influência de distintas cepas e combinações de *Trichoderma*. Os tratamentos aplicados foram: T1 (Testemunha, sem aplicação), T2 (P6 – *Trichoderma*, 0,5 L/ha, Sulco), T3 (P3 – *Trichoderma*, 0,5 L/ha, Sulco), T4 (P10 – *Trichoderma*, 0,5 L/ha, Sulco), T5 (P3, P6 e P10 – *Trichoderma*, 0,166 L/ha de cada, Sulco), T6 (P3 e P6 – *Trichoderma*, 0,25 L/ha de cada, Sulco), T7 (P3 e P6 – *Trichoderma*, 0,05 L/ha de P3 e 0,45 L/ha de P6, Sulco), T8 (P6 e P3 – *Trichoderma*, 0,5 L/ha, Sulco e Barra), T9 (P6 – *Trichoderma*, 0,25 L/ha, Sulco), e T10 (Trichodermil – *Trichoderma*, 0,2 L/ha, Sulco).

O diâmetro do colmo apresentou diferenças significativas entre os tratamentos avaliados (Gráfico 8). Os tratamentos T1 e T2 resultaram nos maiores valores médios, evidenciando maior robustez estrutural das plantas. Em contrapartida, alguns tratamentos combinados, como T6, apresentaram valores inferiores, sugerindo possível efeito competitivo entre cepas quando coinoculadas.

O aumento do diâmetro do colmo em plantas tratadas com *Trichoderma spp.* pode estar associado ao estímulo da síntese de fitormônios, maior absorção de nutrientes e incremento no acúmulo de biomassa, fatores que contribuem para colmos mais espessos e resistentes ao acamamento (Fancelli & Dourado Neto, 2000; Carrillo *et al.*, 2020). Essa característica é agronomicamente desejável, pois colmos mais robustos conferem maior sustentação às espigas

e reduzem perdas relacionadas ao tombamento.

Por outro lado, a redução do diâmetro observada em determinados tratamentos combinados pode refletir interações antagônicas entre isolados, conforme já relatado por Brotman *et al.* (2013), reforçando a necessidade de avaliar cuidadosamente combinações de cepas antes da aplicação em campo.

O produto comercial Trichodermil apresentou desempenho intermediário, indicando potencial para estimular o desenvolvimento estrutural do milho, mas novamente sem superar o efeito de isolados nativos, os quais se mostraram mais eficientes nas condições edafoclimáticas do Cerrado.

Tratamentos	PMS Ajustado	KG/ha	SC/ha
3	18.025 a	2078.475 c	34.650 c
4	18.875 a	2058.225 c	34.325 c
7	18.875 a	2362.600 b	39.375 b
5	18.950 a	2280.950 b	38.025 b
8	19.125 a	2304.875 b	38.400 b
1	19.375 a	1998.825 c	33.300 c
6	20.750 a	2674.325 a	44.575 a
2	20.800 a	2377.400 b	39.625 b
10	20.850 a	2211.525 b	36.850 b
9	21.300 a	1993.500 c	33.250 c
Cv (%)	11.51	10.44	10.44

Descrição da tabela: Os valores de F e P indicam a significância estatística das diferenças entre os tratamentos. O coeficiente de variação (CV%) indica a variabilidade relativa dentro do experimento. O teste de Tukey foi aplicado para comparar os tratamentos individualmente, e as letras indicam grupos estatisticamente distintos ao nível de 5% de probabilidade de erro. Os tratamentos seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Os tratamentos aplicados foram: T1 (Testemunha, sem aplicação), T2 (P6 – *Trichoderma*, 0,5 L/ha, Sulco), T3 (P3 – *Trichoderma*, 0,5 L/ha, Sulco), T4 (P10 – *Trichoderma*, 0,5 L/ha, Sulco), T5 (P3, P6 e P10 – *Trichoderma*, 0,166 L/ha de cada, Sulco), T6 (P3 e P6 – *Trichoderma*, 0,25 L/ha de cada, Sulco), T7 (P3 e P6 – *Trichoderma*, 0,05 L/ha de P3 e 0,45 L/ha de P6, Sulco), T8 (P6 e P3 – *Trichoderma*, 0,5 L/ha, Sulco e Barra), T9 (P6 – *Trichoderma*, 0,25 L/ha, Sulco), e T10 (Trichodermil – *Trichoderma*, 0,2 L/ha, Sulco).

A análise de variância (Tabela 7) revelou efeito significativo dos tratamentos sobre as

variáveis PMS ajustado, produtividade em kg/ha e produtividade em sc/ha ($p < 0,05$). Esses resultados indicam que a aplicação de isolados e combinações de *Trichoderma spp.* influenciou de forma consistente tanto a qualidade fisiológica das sementes (PMS) quanto o rendimento final da cultura.

O efeito significativo sobre o PMS demonstra que os bioinsumos avaliados impactaram diretamente o enchimento dos grãos, resultado coerente com estudos que relacionam a ação de *Trichoderma* à melhoria na absorção de nutrientes e ao estímulo de rotas metabólicas associadas ao acúmulo de reservas nas sementes (Vinale *et al.*, 2008; Marra *et al.*, 2019). Do mesmo modo, a significância estatística observada na produtividade confirma o potencial dos isolados nativos em promover ganhos agronômicos relevantes.

Esses achados reforçam o papel de *Trichoderma spp.* como agente promotor de crescimento e supressor de estresses bióticos e abióticos, características já evidenciadas em outros trabalhos conduzidos com soja e milho (Chagas *et al.*, 2017; Jacques *et al.*, 2021).

4 CONCLUSÃO

Através desse trabalho foi evidenciado que isolados nativos de *Trichoderma spp.* apresentam elevado potencial no controle de fitopatógenos e na promoção de crescimento em soja e milho. Os ensaios de laboratório confirmaram a eficácia no antagonismo, e os testes de viabilidade mostraram que o armazenamento refrigerado (4°C) preserva melhor a germinação dos esporos em comparação ao congelamento (-20°C), destacando a importância da definição de condições adequadas de conservação.

Nos ensaios de campo, os isolados, especialmente P3 e P6, promoveram ganhos expressivos em altura de plantas, biomassa e produtividade, superando inclusive o produto comercial em algumas variáveis. Assim, conclui-se que a bioprospecção de isolados adaptados

às condições do Cerrado é uma estratégia promissora para o desenvolvimento de bioinsumos mais eficientes e sustentáveis para a agricultura brasileira.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDULLAH, M.T. et al.** *Trichoderma* as a biocontrol agent of soilborne pathogens and its application in sustainable agriculture. *Biocontrol Science and Technology*, v. 31, n. 5, p. 624-641, 2021. DOI: 10.1080/09583157.2021.1881795.
- AJIJAH, N. et al.** *Pseudomonas protegens* ML15 and *Trichoderma*... (co-culture/antagonism). *Biological Control*, 2024. (on-line). ScienceDirect.
- ALMEIDA, A. M. R. et al.** Genotypic diversity among Brazilian isolates of *Macrophomina phaseolina* revealed by RAPD. *Fitopatologia Brasileira*, 2003.
- ALMEIDA, Á. M. R. et al.** Manejo integrado da podridão de raízes de soja: *Macrophomina phaseolina* e *Rhizoctonia solani*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2014.
- ALTOMARE, C.; NORVELL, W.A.; BJORKMAN, T.; HARMAN, G.E.** Solubilization of phosphates and micronutrients by the plant growth promoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* Rifai 1295 22. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 65, n. 7, p. 2926–2933, 1999.
- ALVES, J. P. et al.** *Trichoderma* spp. na promoção do crescimento e controle de patógenos em cultivos agrícolas. *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 52, p. 89-102, 2021.
- ANONYMOUS.** Chemical Fertilizer and its Effects on the Soil Environment. *International Journal of Soil and Environmental Health*. (revisão de literatura), 2024.
- APS JOURNALS.** *Fusarium* Root Rot Complex in Soybean. *Phytopathology*, v. 111, n. 8, p. 1358–1369, 2021. DOI: 10.1094/PHYTO-03-21-0083-R.
- Araújo, M. L., Silva, P. F., Costa, A. M., & Santos, R. T. (2023).** Efeito de diferentes doses de *Trichoderma harzianum* no crescimento de milho em campo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 18(4), 469-477
- ASCHOLATI, S. F.; SOUZA, V. H. M; CARDOSOFILHO, J. A.** Indução de resistência por *Trichoderma*. In: *Trichoderma: uso na agricultura*. Brasília, DF: Embrapa Soja, v.1, p. 235-54, 2019.
- ASGHAR, W. et al.** The application of *Trichoderma* spp., an old but new useful fungus in sustainable soil health intensification: a comprehensive strategy for addressing challenges. *Plant Stress*, v. 12, p. 100455, 2024.
- BARDIN, M. et al.** Is the efficacy of biological control against plant diseases likely to be more durable than that of chemical pesticides? *Frontiers in Plant Science*, 2015.
- BELL, D. K. et al.** Antagonismo in vitro de espécies de *Trichoderma* contra seis patógenos fúngicos de plantas. *Fitopatologia*, [s. l.], v. 72, n. 4, p. 379-382, 1982.

BENÍTEZ, T.; RINCÓN, A. M.; LIMÓN, M. C.; CODÓN, A. C. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. *International Microbiology*, Basel, v.7, p. 249-260, 2004.

BETTIOL, W., PINTO, Z.V., SILVA, J.C., FORNER, C., FARIA, M.R., PACIFICO, M.G. and COSTA, L.S.A.S. Produtos comerciais à base de *Trichoderma*. In: MEYER, M.C., MAZARO, S.M. and SILVA, J.C. (eds.). *Trichoderma: uso na agricultura*. Brasília: Embrapa, pp. 45, 2019a.

BEZERRA, M. C. L. et al. Redução de fungos e qualidade fisiológica de sementes de milho inoculadas com *Trichoderma harzianum*. *Nativa*, v. 10, p. 69-73, 2022.

BISSETT, J. Accepted *Trichoderma* names in the year 2015. *IMA Fungus*, v. 6, p. 263–295, 2015.

BONONI, L., CHIARAMONTE, J. B., PANSA, C. C., MOITINHO, M. A., MELO, I. S. Phosphorus-solubilizing *Trichoderma* spp. from Amazon soils improve soybean plant growth. *Sci Rep.*, v. 10, n. 1, p. 2858, 2020. doi: 10.1038/s41598-020-59793-8. PMID: 32071331; PMCID: PMC7028723.

BORO, M., SANNYASI, S., CHETTRI, D. et al. Microrganismos em estratégias de controle biológico para o manejo de patógenos microbianos de plantas: uma revisão. *Arch Microbiol*, v. 204, p. 666, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00203-022-03279-w>.

BOX, G. E. P.; COX, D. R. An Analysis of Transformations. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological)*, v. 26, n. 2, p. 211–252, 1964.

BRAÚNA, L. M. Controle biológico do mofo branco por isolados de *Trichoderma* nas culturas de soja e feijão comum, 2011.

BROTMAN, Y. *Trichoderma*-plant root colonization: escaping early plant defense responses and activation of the antioxidant machinery for saline stress tolerance. *PLoS pathogens*, v. 9, p. e1003221, 2013.

BROTMAN, Y.; GUPTA, V. K.; VITERBO, A. *Trichoderma*. *Current Biology*, v. 23, n. 17, p. R791–R793, 2013.

CAI, F.; DRUZHININA, I. S. In honor of John Bissett: authoritative guidelines on molecular identification of *Trichoderma*. *IMA Fungus*, v. 12, n. 1, p. 1–5, 2021.

CARILLO, P. et al. Application of *Trichoderma harzianum*, 6-Pentyl- α -pyrone and Plant Biopolymer Formulations Modulate Plant Metabolism and Fruit Quality of Plum Tomatoes. *In Plants*, [s. l.], v. 2, p. 1-15, 2020.

CASTRO, V. M. et al. *Trichoderma*: impacto ambiental e potencial para a agricultura sustentável. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 14, p. 52-65, 2019.

CHACÓN-OROZCO, J. G. et al. Enzymatic activity of *Trichoderma* isolates and their potential in agriculture. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 21, p. 101293, 2019.

CHACÓN-OROZCO, L. A. et al. Enzymatic potential of *Trichoderma* strains isolated from agricultural soils. *Applied Soil Ecology*, v. 137, p. 82–92, 2019.

CHAGAS JÚNIOR, A. F.; MILLER, R. N. G.; SOUZA, J. T. de; FREITAS, L. G. Bioprospecção de isolados de *Trichoderma* spp. para o controle biológico de fitopatógenos e promoção de crescimento vegetal. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 61, n. 2, p. 1-12, 2018.

CHAGAS JÚNIOR, A. F. et al. Isolamento e seleção de *Trichoderma* spp. para o controle biológico de fitopatógenos do solo. *Summa Phytopathologica*, v. 47, p. 104-112, 2021.

CHAUDHARY, R. et al. Microbial biocontrol agents: sources, mode of action and formulation. *Current Research in Biotechnology*, 2024.

CHUI, C. et al. Biological agents as sustainable alternatives in agriculture. *Frontiers in Microbiology*, v. 14, p. 2147-2160, 2023.

CHYSIRICHOTE, S.; LIU, G.; KRAKOVSKA, A.; ZHANG, Y. Industrial enzyme production by *Trichoderma reesei*: advances in solid-state fermentation and applications in lignocellulosic biomass conversion. *Bioresource Technology Reports*, v. 21, p. 101123, 2023.

CHYSIRICHOTE, T.; PHAIBOONSILPA, N.; LAOSIRIPOJANA, N. High Production of Cellulase and Xylanase in Solid-State Fermentation by *Trichoderma reesei* Using Spent Copra and Wheat Bran in Rotary Bioreactor. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2023.

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*, v. 149, n. 3, p. 1579–1592, 2009.

CROP PROTECTION NETWORK. Fusarium Root Rot and Wilt of Soybean. Disponível em: <https://cropprotectionnetwork.org>, 2019. Acesso em: jul. 2025.

DAS, S.; CHAUDHURI, A.; CHATTERJEE, S. et al. Formulation and application methods of *Trichoderma* spp. for effective crop disease management. In: *TRICHODERMA SPP.: Their Impact in Crops Diseases Management*. IntechOpen, 2022. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/79715>. Acesso em: 7 jun. 2025.

DE LA PEÑA, L. et al. *Fusarium paranaense* sp. nov., a new species causing root rot of soybean in Brazil. *Mycologia*, v. 107, n. 3, p. 696–706, 2015. DOI: 10.3852/14-131.

DEGANI, O.; DOR, S. *Trichoderma* control of ear rot caused by *Fusarium verticillioides* in maize. *Agriculture*, v. 11, n. 9, p. 865, 2021.

DENG, C. et al. Biotechnological development of *Trichoderma*-based formulations: from vermiculite to alginate beads, enhancing spore viability, UV protection and adhesiveness. *Scientific Reports*, 2018.

DRUZHININA, I. S.; KUBICEK, C. P. Species concepts and biodiversity in *Trichoderma* and *Hypocrea*: from aggregate species to species clusters? *Journal of Zhejiang University Science B*, v. 12, n. 9, p. 737–753, 2011.

DRUZHININA, I. S.; KUBICEK, C. P. Species concepts and biodiversity in *Trichoderma* and *Hypocrea*. *Journal of Zhejiang University Science B*, v. 12, n. 9, p. 737–753, 2011.

DRUZHININA, I. S.; KUBICEK, C. P. *Trichoderma*: the genomics of opportunistic success. *Nature Reviews Microbiology*, v. 9, p. 749–759, 2011.

DRUZHININA, I. S. et al. *Trichoderma*: the genomics of opportunistic success. *Nature Reviews Microbiology*, v. 16, p. 22–34, 2018.

DRUZHININA, I. S. et al. *Trichoderma*: the genomics of opportunistic success. *Nature Reviews Microbiology*, v. 16, p. 447–460, 2018.

DUTTA, P.; CHAKRABORTY, M.; SENGUPTA, C. Molecular interaction between plants and *Trichoderma* species against soil-borne plant pathogens. *Frontiers in Plant Science*, v. 14, art. 1145715, 2023. DOI: 10.3389/fpls.2023.1145715.

EGGETT, M.; LELAND, J.; KELLAR, K.; EPP, B. Formulation of microbial biocontrol agents – an industrial perspective. *Canadian Journal of Plant Pathology*, v. 33, n.2, p. 101–107, 2011.

EL-SAADONY, M. T. et al. The role of plant growth-promoting microorganisms in sustainable agriculture under abiotic stress conditions. *Saudi Journal of Biological Sciences*, v. 29, n. 6, p. 3537–3546, 2022.

EL SOBKY, H. F.; CHEKALI, S.; TAVARES, C.; et al. Coating seeds with *Trichoderma* strains promotes plant growth and enhances systemic resistance against *Fusarium* crown rot in durum wheat. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, v. 30, n. 1, p. 1–10, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00338-6>.

ELAD, Y. et al. A selective medium for improving quantitative isolation of *Trichoderma* spp. from soil. *Phytoparasitica*, v. 9, p. 59–67, 1981.

EPPO. PP1/276(1): Principles of efficacy evaluation for microbial plant protection products. *EPPO Bulletin*, v. 42, p. 57–77, 2012.

ESPARZA-REYNOSO, S.; PELAGIO-FLORES, R. e LÓPEZ-BUCIO. Chapter 3 - Mechanism of plant immunity triggered by *Trichoderma*. In: **Vijai Kumar Gupta, Susanne Zeilinger, Harikesh Bahadur Singh and Irina Druzhinina** (eds.). *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering* (Elsevier), 2020.

FERNÁNDEZ SANDOVAL, M. T.; ORTIZ-GARCÍA, E.; GALINDO, L.; SERRANO-CARREÓN, L. Cellular damage during drying and storage of *Trichoderma harzianum* spores. *Process Biochemistry*, v. 47, n. 2, p. 186–194, 2011/2012. DOI: 10.1016/j.procbio.2011.10.013.

FERREIRA, E. S. et al. Impacto de *Trichoderma* spp. na produtividade de soja e milho. *Agricultural Research Journal*, v. 37, p. 122–134, 2022.

FIFANI, B. et al. Coculture of *Trichoderma harzianum* and *Bacillus velezensis*: from antagonism to cooperation via medium constraints. *Microorganisms*, 2022. (PMC).

FORGHANI, E.; HAJIHASSANI, A. Interactions of biological control agents with plant-parasitic nematodes. *Plants, Basel*, v. 9, n. 5, p. 1–24, 2020. DOI: 10.3390/plants9050625.

FORSTER, R. Inativação do vírus do mosaico comum do fumo pelo filtrado de culturas de *Trichoderma* sp. Relato pioneiro de controle biológico, com redução de até 90 % da infecção por TMV em *Nicotiana glutinosa*, observada em cerca de 2 minutos de contato. Publicado no contexto da biotecnologia vegetal no Brasil, 1950.

FOSTER, R. Inativação do vírus do mosaico comum do fumo pelo filtrado de culturas de *Trichoderma* sp. *Bragantia*, v. 10, n. 2, p. 139-148, 1950.

FRANK, S. et al. Monitoring of an Applied Beneficial *Trichoderma harzianum* Strain in Root Associated Soil under Field Conditions. *Frontiers in Microbiology*, 2023.

FRONTIERS IN AGRONOMY. *Trichoderma* from lab bench to field application: Looking back over two decades and forward to the next, 2022.

FRONTIERS IN MICROBIOLOGY. Novel *Trichoderma* species from the Cerrado biome: potential for agricultural biocontrol. *Frontiers in Microbiology*, v. 16, p. 1234–1245, 2025.

FRONTIERS IN PLANT SCIENCE. Molecular mechanisms of *Trichoderma*–plant–microbe interactions: a review. *Frontiers in Plant Science*, v. 14, art. 1189372, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1189372>.

GARNICA-VERGARA, A. et al. The volatile 6-pentyl-2H-pyran-2-one from *Trichoderma atroviride* regulates *Arabidopsis thaliana* root morphogenesis via auxin signaling and EIN2. *New Phytologist*, v. 209, p. 1496–1512, 2016.

GERALDINE, A. M.; CARVALHO, D. D. C.; LOBOS, M. J. Biological control of white mold by *Trichoderma harzianum* in common bean under field conditions. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.50, n.12, p.1220-1224, dez. 2015.

GIL, S. V.; PIZARRO, M. de; FERNÁNDEZ, L. A. Quantitative isolation of *Trichoderma* spp. and *Gliocladium* spp. from soil. *Journal of Applied Microbiology*, v. 106, n. 1, p. 129–140, 2009.

GLICKMANN, E.; DESSAUX, Y. A critical examination of the specificity of the Salkowski reagent for indolic compounds. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 61, p. 793–796, 1995.

GOSWAMI, S.; KUMAR, S.; SHARMA, N.; et al. Effect of different formulation strategies on the stability and activity of *Trichoderma* spp.. *Biological Control*, v. 146, p. 104281, 2020.

GUPTA, V. K. et al. *Macrophomina phaseolina*: General characteristics, pathogenicity, and emerging plant defense strategies. *FEMS Microbiology Letters*, v. 334, p. 1–10, 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, 432, 2023.

GUZMÁN-GUZMÁN, P.; et al. *Trichoderma* species: our best fungal allies in the plant kingdom. *Plants*, v. 12, p. 432, 2023.

GUZMÁN-GUZMÁN, P.; PARRA, C.; GONZÁLEZ, C.; MARTÍNEZ, G. Multifaceted defense responses induced by *Trichoderma* in plants: insights into molecular and biochemical pathways. *Fungal Biology Reviews*, v. 42, p. 100–112, 2023.

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

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

HARMAN, G. E. et al. *Trichoderma* species—opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, v. 2, p. 43–56, 2004.

HARMAN, G. E. *Trichoderma* spp. as biocontrol agents. In: *Goswami, S. et al. Biological Control of Plant Diseases*. New York: Springer, 2006. p. 301–320.

HASHIMI, M. H.; ABAD, Q.; NOORI, G. H. A review of plant microbiome: Its functions and components, 2023.

HERMOSA, R. et al. The *Trichoderma* genome and its secondary metabolites. *Fungal Biology Reviews*, v. 26, p. 90–99, 2012.

HERMOSA, R.; CARDOZA, R. E.; RUBIO, M. B.; GUTIÉRREZ, S.; MONTE, E. Secondary metabolism and antimicrobial metabolites of *Trichoderma*. In: **GUPTA, V. K.; SCHMOLL, M.; HERRERA-ESTRELLA, A.; UPADHYAY, R. S.; DRUZHININA, I.; TUOHY, M.** (Ed.). *Biotechnology and biology of Trichoderma*. Amsterdam: Elsevier, p. 125–137, 2014.

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

HERMOSA, R.; VITERBO, A.; CHET, I.; MONTE, E. Plant-beneficial effects of *Trichoderma* and of its genes. *Microbiology*, v. 160, p. 1–10, 2014.

HOYOS CARVAJAL, L.; ORDUZ, S.; BISSETT, J. Growth stimulation in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by *Trichoderma*. *Biological Control*, v. 51, p. 409–416, 2009.

ISMAIEL, A.; LAKSHMAN, D.K.; JAMBHULKAR, P.P.; ROBERTS, D.P. *Trichoderma*: Population Structure and Genetic Diversity of Species with High Potential for Biocontrol and Biofertilizer Applications. *Applied Microbiology*, v. 4, n. 2, p. 875–893, 2024.

KARUPPIAH, V. et al. Simultaneous and sequential co-fermentations of *T. asperellum* and *B. amyloliquefaciens*: efeitos de co-inoculação vs. sequencial. *Biotechnology for Biofuels*, 2019. (PMC).

KHAN, R. A. A. et al. Bioactive Secondary Metabolites from *Trichoderma* spp.: Types, Structures and Biological Activities. *Biomolecules*, v. 10, n. 6, 2020.

KOLOMBET, L. V.; SOKOLOV, M. S.; CHUPRINA, V. P.; SCHISLER, D. A.; SAMUELS, G. J. Preparation on the basis of *Trichoderma asperellum* in the system of biological protection of wheat from *Fusarium* ear scab. *Eighth International Workshop on Trichoderma and Gliocladium*, Hangzhou, China, 2004.

KTHIRI, Z.; BEN JABEUR, M.; MACHRAOUI, M.; et al. Coating seeds with *Trichoderma* strains promotes plant growth and enhances the systemic resistance against *Fusarium* crown rot in durum wheat. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, v. 30, artigo 139, 2020. DOI: 10.1186/s41938-020-00338-6.

LARANJEIRA, D. et al. Effects of storage conditions on *Trichoderma* conidial viability and antagonistic potential. *Biocontrol Science and Technology*, v. 28, n. 2, p. 112-125, 2018.

LIMA, R. F.; SOUZA, L. P.; ANDRADE, M. V. Valorization of agro-industrial residues using *Trichoderma* spp.: advances towards a circular bioeconomy. *Journal of Cleaner Production*, v. 435, p. 140112, 2024.

LIU, B.; CHEN, Y.; ZHAO, X.; WANG, Q. Biology, ecology, and applications of *Trichoderma* species in agriculture. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 118, n. 4, p. 1531–1548, 2024.

LIU, B.; et al. *Trichoderma* communities in soils from organic, integrated and conventional farms. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 40, p. 352–362, 2008.

LIU, X.; MA, Y.; YANG, H. Diversity and ecological roles of *Trichoderma* in soils: a review. *Mycological Research*, v. 112, p. 103–113, 2008.

LUCON, C. M. M. et al. Controle biológico de doenças de plantas. In: **BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B.** (eds.). *Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009. p. 107–130.

MARTÍNEZ, Y. et al. Biotechnological development of *Trichoderma*-based products. *Microorganisms*, v. 11, n. 5, p. 1235, 2023.

MENDOZA-MENDOZA, A. et al. Uncovering the multifaceted properties of 6-pentyl- α -pyrone in *Trichoderma*. *Microorganisms*, 2024.

MORÁN-DIEZ, E. et al. *Trichoderma* and the plant–herbivore–pathogen triangle. *Plant Signaling & Behavior*, v. 5, n. 8, p. 1–5, 2010.

MUKHERJEE, P. K.; HORWITZ, B. A.; SINGH, U. S.; ZEILINGER, S.; MUKHERJEE, M.; DRUZHININA, I. Secondary metabolism in *Trichoderma*—a genomic perspective. *Microbiology*, v. 158, p. 35–45, 2012.

NAUTIYAL, C. S. An efficient growth medium for screening phosphate-solubilizing microorganisms. *FEMS Microbiology Letters*, v. 170, p. 265–270, 1999.

NAWROCKA, J.; MAŁOLEPSZA, U. Diversity in plant systemic resistance induced by *Trichoderma*. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 68, p. 54–64, 2013.

OECD. Guidance for registration requirements for microbial pesticides. Paris: OECD, 2022.

PANTH, M.; HASSLER, S. C.; BAYSAL-GUREL, F. Methods for management of soilborne diseases in crop production. *Agriculture*, v. 10, n. 1, p. 16, 2020.

PARRA-ARROYO, L. et al. Highly hazardous pesticides and related pollutants: Toxicological, regulatory, and analytical aspects. *Science of The Total Environment*, Amsterdam, v. 807, p. 151879, 2022.

PENROSE, D. M.; GLICK, B. R. Methods for isolating and characterizing ACC deaminase-containing plant growth-promoting bacteria. *Physiologia Plantarum*, v. 118, p. 10–15, 2003.

PENUELAS, J. et al. A better use of fertilizers is needed for global food security and environmental sustainability. *Agriculture & Food Security*, v. 12, p. 5, 2023.

PÉREZ CONTRERAS, L. et al. Transforming Agri food Waste: Innovative Pathways Toward a Zero Waste Sustainable Circular Bioeconomy. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2025.

PÉREZ-CONTRERAS, L.; RAMÍREZ, H.; ORTIZ, A. Sustainable applications of *Trichoderma* in agro-industrial waste bioconversion. *Sustainability*, v. 17, p. 554, 2025.

PIETERSE, C.M.J.; VAN DER DOES, D.; ZHALNINA, K.; LEON-REYES, A.; VAN WEES, S.C.M. Hormonal modulation of plant immunity. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, v. 30, p. 489–521, 2014.

PIETERSE, C.M.J.; ZAMIOUDIS, C.; BERENDSEN, R.L.; WELLER, D.M.; VAN WEES, S.C.M.; BAKKER, P.A.H.M. Induced systemic resistance by beneficial microbes. *Annual Review of Phytopathology*, v. 52, p. 347–375, 2014. DOI: 10.1146/annurev phyto 082712 102340.

PONTECORVO, G. V.; ROPER, J. A.; HEMMONS, L. M.; MACDONALD, K. D.; BUFTON, W. W. J. The genetics of *Aspergillus nidulans*. *Advances in Genetics*, v. 5, p. 141–238, 1953.

POPP, J., PETŐ, K., & NAGY, J. Pesticide productivity and food security: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 38, p. 1–8, 2018.

POVEDA, J. Combined use of *Trichoderma* and beneficial bacteria: beneficios e casos de antagonismo (ex.: *Pseudomonas* contra *Trichoderma*). *Biological Control*, 2022. (ScienceDirect).

RAYATPANAHI, P. et al. Genetic and pathogenic variability of *Macrophomina phaseolina* isolates causing charcoal rot in soybean and sunflower in northern Iran. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 2012.

- REIS, E. M.; REIS, A. C.; ZANATTA, M.** Quanto à eficácia do tratamento de sementes com fungicidas: ênfase em grandes culturas de grãos. *Summa Phytopathologica*, v. 48, n. 4, p. 147–150, 2023.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T.** As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: **SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (org.).** *Cerrado: ecologia e flora*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. p. 151–212.
- RICHE, H.; ROSER, M.** The future of synthetic fertilizer use and its environmental consequences. *Our World in Data*, 2024.
- ROSSAMAN, A. Y.; et al.** Genera in Bionectriaceae, Hypocreaceae, and Nectriaceae (Hypocreales) proposed for acceptance or rejection. *IMA Fungus*, v. 4, p. 41–51, 2013.
- RUSH, T. A.; VENTURA, R. E.; UBER, A. M.; GOLD, S. E.** Bioprospecting *Trichoderma*: a systematic roadmap to biocontrol. *Frontiers in Fungal Biology*, v. 2, p. 716511, 2021.
- SAMUELS, G. J.** *Trichoderma*: systematics, the sexual state, and ecology. *Phytopathology*, v. 96, p. 195–206, 2006.
- SANTOYO, G. et al.** *Trichoderma* and *Bacillus*: multifunctional allies for plant growth and health in saline soils. *Frontiers in Microbiology*, 2024.
- SARAVANAKUMAR, K.; FAN, L.; FU, K. et al.** Cellulase from *Trichoderma harzianum* interacts with roots and triggers induced systemic resistance to foliar disease in maize. *Scientific Reports*, v. 6, art. 35543, 2016.
- SAS INSTITUTE INC.** SAS/STAT® 9.4 User’s Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc., 2023.
- SAVARY, S. et al.** The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology & Evolution*, v. 3, n. 3, p. 430–439, 2019.
- SCIENCEDIRECT.** Endophytic *Trichoderma* strains increase soybean growth and control plant pathogens, 2023.
- SCIENTIFIC REPORTS.** Growth promotion and modulation of the soybean microbiome by *Trichoderma harzianum*. *Nature*, 2024.
- SCHUSTER, A.; SCHMOLL, M.** Biology and biotechnology of *Trichoderma*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 87, n. 3, p. 787–799, 2010.
- 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, D. J.; SANTOS, R. M.; OLIVEIRA, A. L. et al.** Effect of *Trichoderma harzianum* on growth promotion and disease suppression in soybean and maize crops. *Applied Soil Ecology*, v. 186, p. 1–10, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.105134>.

SILVA, M. G. et al. In vitro antagonism of *Trichoderma* isolates against phytopathogenic fungi of agricultural importance. *Journal of Plant Pathology*, v. 105, n. 2, p. 341–349, 2023.

SINCLAIR, J. B.; DHINGRA, O. D. *Basic Plant Pathology Methods*. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 1995.

SINGH, A.; RAI, N.; SHARMA, P. Influence of storage conditions on the efficacy of *Trichoderma* formulations for biocontrol of plant pathogens. *Pest Management Science*, v. 77, p. 295-307, 2021

SPRINGER, L.; LINS, V. G.; COSTA, E. F. Morphological and molecular characterization of *Trichoderma* species used in biocontrol. *Journal of Fungi*, v. 8, n. 11, p. 1132–1145, 2022.

SRIVASTAVA, S.; DEBNATH, B.; MANDA, R. R.; MAURYA, S.; RANA, M.; TIWARI, A. K. *Trichoderma in sustainable agriculture: Advances, applications, and future prospects for biocontrol and plant growth promotion*. *Annals of Applied Biology*, v. 188, n. 1, p. 332–351, 2026.

SYNGENTA SEEDS. Importance of Uniform Corn Emergence. *Syngenta Agronomy Insights*, 2023.

VENZKE FILHO, S. P. et al. Root systems and soil microbial biomass under no- tillage system. *Scientia Agricola*, v. 61, p. 529–537, 2004.

VERMA, M. et al. Biological control of plant diseases using *Trichoderma* spp. *Crop Protection*, v. 26, p. 39-46, 2007.

VÍGLAŠ, J. et al. Peptaibol-containing extracts of *Trichoderma atroviride* O1: atividade antibacteriana. *Molecules*, 2021.

VINALE, F. et al. *Trichoderma* Secondary Metabolites Active on Plants and Fungal Pathogens. *Open Mycology Journal*, v. 8, p. 127–139, 2014.

WOO, S. L. et al. *Trichoderma*-based products and their widespread use in agriculture. *Fungal Biology Reviews*, v. 28, p. 1-16, 2014.

WOO, S.L.; RUOCCO, M.; VINALE, F.; LORITO, M. *Trichoderma*: a multi-purpose tool for integrated pest management. *The Open Mycology Journal*, v. 8, p. 71–98, 2014.

YAO, X.; GUO, H.; ZHANG, K.; et al. *Trichoderma* and its role in biological control of plant fungal and nematode disease. *Frontiers in Microbiology*, v. 14, art. 1160551, 2023.

ZHANG, L.; WANG, P.; LI, J.; HUANG, X.; CHEN, Y. Effects of *Trichoderma* inoculation on root development and biomass accumulation in field-grown crops. *Frontiers in Plant Science*, v. 15, art. 125678, 2024.

ZHANG, Y.-Q. et al. Antibacterial activity of peptaibols from *Trichoderma*. *Frontiers in Microbiology*, 2022.

ZHU, Z.; ZHANG, C. Taxonomy and diversity of *Trichoderma*: Recent insights based on molecular data. *Frontiers in Fungal Biology*, v. 2, p. 1–15, 2021.

ZHU, Z.; ZHANG, J. Advances in the biology and applications of *Trichoderma*: conidiogenesis and dispersal mechanisms. *Fungal Diversity*, v. 111, p. 1–18, 2021.

Zilles, F. K. S., Nascimento, M. M. F., dos Santos, I. I., de Lima, M. M., & de Oliveira Laurindo, V. (2025). *Trichoderma endophyticum to promote the growth and productivity of soybean*. *Ciência Rural*, 55(6), e20240171.

Livros

AGARWAL, V. K.; KUMAR, V. *Plant Pathology*. 5. ed. Elsevier Academic Press, 2005.

CRUZ, C. D. *Programa Genes: Biometria*. Viçosa: UFV, 2010.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. *Produção de milho*. Guaíba: Agropecuária, 2000.

GARY, L. *Trichoderma: Biology and Applications*. 1. ed. New York: Springer, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Plant Physiology and Development*. 3. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2017.

Relatórios Institucionais

BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). *Último levantamento da safra 2023/2024 estima produção de grãos em 298,41 milhões de toneladas*. 12 set. 2024. Disponível em: <gov.br/conab>. Acesso em: 30 ago. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). *Catálogo Nacional de Bioinsumos*. 2025. Disponível em: <gov.br/agricultura/.../catalogo-nacional-de-bioinsumos>. Acesso em: 30 ago. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). *Líder global na utilização de bioinsumos, Brasil apresenta panorama regulatório de registros biológicos na ABIM*. 22 out. 2024. Disponível em: <gov.br/agricultura>. Acesso em: 30 ago. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA). *Cerrado*. Brasília: MMA, 2022. Acesso em: 30 ago. 2025.

CRITICAL ECOSYSTEM PARTNERSHIP FUND (CEPF). *Ecosystem Profile: Cerrado Biodiversity Hotspot*. Arlington, VA, 2017. Acesso em: 30 ago. 2025.

EMBRAPA. *Aplicativo Bioinsumos* (consulta ao Catálogo do MAPA). Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2025.

EMBRAPA. *Bioprospecção de Trichoderma spp. tolerantes à seca e salinidade para uso agrícola.* Brasília: Embrapa, 2021.

EMBRAPA. *Desempenho agronômico de híbridos de milho sob diferentes condições ambientais.* Brasília, 2018.

EMBRAPA. *Manejo integrado da podridão de raízes de soja: Macrophomina phaseolina e Rhizoctonia solani.* Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2014.

EMBRAPA. *Manejo integrado de pragas e doenças em culturas agrícolas.* Brasília, 2013.

EMBRAPA. *Seed point, o mundo das sementes: arrancada promissora da semente depende do tratamento.* Brasília, 2019a.

EMBRAPA. *Trichoderma: uso na agricultura.* Brasília, DF: Embrapa, 2019.

FAO. *Guidelines on efficacy evaluation for the registration of plant protection products.* Roma: FAO, 2006/2010.

IBGE. *Biomass brasileiros* (Educa IBGE). 2023. Disponível em: <educa.ibge.gov.br>. Acesso em: 30 ago. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Biomass brasileiros.* Rio de Janeiro: IBGE, s.d.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Cerrado* (matéria Educa IBGE — dados de biodiversidade). Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Lista dos municípios por bioma* (escala 1:250.000). Rio de Janeiro: IBGE, 2024.

MMA – Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. *Cerrado.* 2022. Disponível em: <gov.br/mma/.../biomas/cerrado>. Acesso em: 30 ago. 2025.

Artigos de Notícias

CNN BRASIL. *Brasil virou “celeiro do mundo” e já lidera exportações mundiais de sete alimentos, diz BTG.* CNN Brasil, 2024.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. *Acompanhamento de safra brasileira: grãos: segundo levantamento.* Brasília, 2024.

DATAMAR NEWS. *Brasil lidera exportações globais de soja, milho e café, diz BTG Pactual.* Datamar News, 2024.

DATAMAR NEWS. *Brasil virou “celeiro do mundo” e já lidera exportações mundiais de sete alimentos, diz BTG.* 7 mar. 2024.



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

Ata nº 95/2025 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO

**ATA Nº 115 (CENTO E QUINZE)
BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**

Aos doze dias do mês de agosto do ano de dois mil e vinte e cinco, às 14h00min (quatorze horas), reuniram-se os componentes da banca examinadora em sessão pública realizada por videoconferência, para procederem a avaliação da defesa de Dissertação, em nível de mestrado, de autoria de **JÉSSICA BARROS CABRAL VALENTE**, discente do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Alaerson Maia Geraldine, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida à autora da Dissertação que, em 30 min, procedeu a apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu a examinada, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos, e procedida às correções recomendadas, a Dissertação foi **APROVADA**, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM BIOENERGIA E GRÃOS**, na área de concentração Agroenergia, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGBG da versão definitiva da Dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, a defesa perderá a validade, se não cumprida essa condição, em até **60 (sessenta) dias** da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Dissertação em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Dissertação de Mestrado, e para constar, foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada eletronicamente pelos membros da Banca Examinadora.

Membros da Banca Examinadora

Nome	Instituição	Situação no Programa
Alaerson Maia Geraldine	IF Goiano – Polo de Inovação	Presidente
José Milton Alves	IF Goiano – Campus Rio Verde	Membro externo
Geisiane Alves Rocha	IF Goiano – Campus Cristalina	Membro externo

Documento assinado eletronicamente por:

- **Alaerson Maia Geraldine**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 21/10/2025 09:49:08.
- **Geisiane Alves Rocha**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 21/10/2025 10:36:28.
- **Jose Milton Alves**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 21/10/2025 10:41:58.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 12/08/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 731749

Código de Autenticação: f0a4028d02



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3624-1000

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO

PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS

NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

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

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

Tese (doutorado)

Dissertação (mestrado)

Monografia (especialização)

TCC (graduação)

Artigo científico

Capítulo de livro

Livro

Trabalho apresentado em evento

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Matrícula:

Título do trabalho:

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☐ Não ☐ Sim, justifique:

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

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☐ Não

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

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

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

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

Documentado assinado digitalmente
 JESSICA BARROS CABRAL VALENTE
Data: 04/03/2026 13:22:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Local

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

Documentado assinado digitalmente

 ALAERSON MAIA GERALDINE
Data: 02/03/2026 07:47:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>