



SOUZAEAD[®]

Revista Acadêmica Digital

ISSN 2595-5934



PERIODICIDADE
MENSAL

SET
2026

EDIÇÃO
Nº101

IDIOMAS
PORTUGUÊS E INGLÊS

 **QUALIS B3**



www.souzaeadrevistaacademica.com.br

**APLICAÇÃO DE MICRORGANISMOS NO CONTROLE BIOLÓGICO DE
FITOPATÓGENOS NA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL**
**APPLICATION OF MICROORGANISMS IN THE BIOLOGICAL CONTROL OF
PHYTOPATHOGENS IN SUSTAINABLE AGRICULTURE**

DUQUES, Keila Mirelle Gonçalves¹

RESUMO

A agricultura enfrenta desafios relacionados ao controle de doenças e ao uso excessivo de defensivos químicos, o que tem gerado preocupações quanto aos impactos ambientais e à sustentabilidade dos sistemas produtivos. Nesse contexto, a microbiologia surge como uma alternativa importante, especialmente pelo uso de microrganismos no controle biológico de fitopatógenos. O presente estudo tem como objetivo analisar a aplicação de microrganismos na agricultura sustentável, com ênfase no uso de fungos do gênero *Trichoderma* no controle de patógenos agrícolas. A metodologia adotada consiste em uma revisão bibliográfica de caráter qualitativo, baseada em artigos científicos e materiais acadêmicos. Os resultados indicam que o *Trichoderma* apresenta mecanismos de ação como antagonismo, competição por nutrientes e indução de resistência nas plantas, contribuindo para o controle de doenças. Conclui-se que sua aplicação representa uma alternativa eficiente e sustentável no manejo agrícola.

Palavras-chave: Microbiologia. Agricultura Sustentável. Controle Biológico. *Trichoderma*. Fitopatógenos.

ABSTRACT

Agriculture faces challenges related to disease control and the excessive use of chemical pesticides, which has raised concerns about environmental impacts and the sustainability of production systems. In this context, microbiology emerges as an important alternative, especially through the use of microorganisms in the biological control of phytopathogens. The present study aims to analyze the application of microorganisms in sustainable agriculture, with emphasis on the use of fungi of the genus *Trichoderma* in the control of agricultural pathogens. The methodology adopted consists of a qualitative bibliographic review, based on scientific articles and academic materials. The results indicate that *Trichoderma* presents mechanisms of action such as antagonism, competition for nutrients, and induction of plant

¹ Graduação em Licenciatura em Ciências Biológicas pela Universidade do Estado da Bahia Campus VI e Pós-Graduação em Educação Científica e Popularização das Ciências pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano – Campus Catu. keilauneb2017@gmail.com

resistance, contributing to disease control. It is concluded that its application represents an efficient and sustainable alternative in agricultural management.

KEYWORDS: Microbiology. Sustainable Agriculture. Biological Control. *Trichoderma*. Phytopathogens.

INTRODUÇÃO

A agricultura enfrenta desafios relacionados ao controle de doenças e ao uso excessivo de defensivos químicos, o que tem gerado preocupações quanto aos impactos ambientais e à sustentabilidade dos sistemas produtivos. Nesse contexto, torna-se necessário buscar alternativas que permitam manter a produtividade agrícola de forma mais equilibrada e menos agressiva ao meio ambiente.

Entre essas alternativas, o uso de microrganismos no controle biológico tem ganhado destaque, principalmente por atuar de maneira sustentável no controle de fitopatógenos. A microbiologia, nesse cenário, assume um papel importante ao contribuir para o desenvolvimento de estratégias que favorecem a saúde do solo e das plantas.

Dentre os microrganismos utilizados, os fungos do gênero *Trichoderma* se destacam pela sua eficiência no controle de patógenos e pela sua aplicação na agricultura. Sua atuação envolve diferentes mecanismos que auxiliam na proteção das plantas e na redução da incidência de doenças.

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo analisar a aplicação de microrganismos no controle biológico de fitopatógenos na agricultura sustentável, com ênfase no uso do *Trichoderma*, bem como descrever sua produção por meio da fermentação em estado sólido e avaliar seu desenvolvimento e potencial de aplicação no manejo agrícola.

Além disso, o estudo justifica-se pela crescente necessidade de práticas agrícolas mais sustentáveis, que aliem produtividade e conservação ambiental. Assim, busca-se contribuir para a compreensão do uso de microrganismos como estratégia viável no manejo agrícola moderno.

1. MICROBIOLOGIA APLICADA À AGRICULTURA

A microbiologia aplicada à agricultura tem ganhado destaque por sua contribuição no entendimento das interações entre microrganismos, solo e plantas. Esses microrganismos desempenham funções essenciais no ambiente agrícola, atuando na decomposição da matéria orgânica, na ciclagem de nutrientes e na promoção do crescimento vegetal (HARTMANN; SIX, 2023). Além disso, sua presença no solo está diretamente relacionada à qualidade e à fertilidade, influenciando o desenvolvimento das culturas (SUMAN et al., 2022).

Nos sistemas agrícolas, o equilíbrio microbiológico é fundamental para manter a saúde do solo e reduzir a incidência de organismos prejudiciais. Nesse sentido, a utilização de microrganismos benéficos tem sido cada vez mais estudada como uma alternativa sustentável, contribuindo para a redução do uso de insumos químicos e para o manejo mais equilibrado das culturas (MEYER, MAZARO, SILVA, 2022).

Além de sua atuação na ciclagem de nutrientes, os microrganismos do solo exercem influência direta sobre a saúde das plantas, podendo atuar tanto de forma benéfica quanto prejudicial. Em condições equilibradas, esses organismos favorecem o desenvolvimento vegetal, promovendo maior eficiência na absorção de nutrientes e auxiliando na proteção contra patógenos.

A diversidade microbiana também está associada à resiliência do solo, tornando-o mais estável frente a variações ambientais e práticas agrícolas intensivas. Dessa forma, o manejo adequado da microbiota do solo torna-se um fator essencial para a sustentabilidade dos sistemas produtivos, sendo cada vez mais valorizado em práticas agrícolas modernas (MEYER, MAZARO, SILVA, 2022).

A atividade microbiana contribui ainda para a formação de agregados do solo, melhoria da sua estrutura e aumento da retenção de água, fatores que favorecem o desenvolvimento radicular e a disponibilidade de nutrientes às plantas. Além disso, a microbiota atua como uma barreira natural contra organismos patogênicos, dificultando sua proliferação.

Por outro lado, práticas agrícolas intensivas podem reduzir a diversidade microbiana, tornando o sistema mais vulnerável a desequilíbrios e à incidência de doenças. Nesse contexto, estratégias que favoreçam a microbiota benéfica tornam-se fundamentais para a construção de sistemas produtivos mais resilientes e sustentáveis (MEYER, MAZARO, SILVA, 2022).

2. FITOPATÓGENOS NA AGRICULTURA

Os fitopatógenos são microrganismos capazes de causar doenças nas plantas, afetando diretamente o desenvolvimento das culturas e a produtividade agrícola (COLLINGE et al., 2022; AGRIOS, 2005). Entre os principais agentes estão fungos, bactérias e vírus, que podem se desenvolver em diferentes condições ambientais, especialmente quando encontram um ambiente favorável no solo e nas plantas.

A presença desses patógenos pode provocar diversos sintomas, como manchas foliares, apodrecimento de raízes, murcha e redução no crescimento das plantas, comprometendo a qualidade da produção. Além disso, o manejo inadequado das áreas agrícolas pode favorecer ainda mais a disseminação desses organismos.

Diante desse cenário, o controle de fitopatógenos torna-se uma etapa fundamental no sistema produtivo, sendo tradicionalmente realizado por meio do uso de defensivos químicos. No entanto, o uso excessivo desses produtos tem gerado preocupações relacionadas à resistência de patógenos, contaminação ambiental e riscos à saúde, reforçando a necessidade de alternativas mais sustentáveis (LAHLALI et al. 2022).

Os fitopatógenos podem se disseminar por diferentes meios, como água, solo, sementes e até mesmo por meio de práticas agrícolas inadequadas. Essa capacidade de disseminação favorece a rápida propagação de doenças, principalmente em sistemas de monocultura, onde há maior disponibilidade de hospedeiros.

Além disso, fatores como umidade elevada, temperatura favorável e manejo inadequado do solo contribuem significativamente para o aumento da incidência dessas doenças. Nesse sentido, o conhecimento sobre o comportamento dos fitopatógenos é essencial para o desenvolvimento de estratégias eficientes de controle (COLLINGE et al., 2022).

Outro aspecto relevante é que muitos fitopatógenos possuem alta capacidade de adaptação, o que dificulta seu controle ao longo do tempo. Isso ocorre principalmente devido à seleção de indivíduos resistentes, especialmente quando há uso contínuo de produtos químicos. Dessa forma, torna-se necessário adotar práticas integradas de manejo, que considerem não apenas o controle direto, mas também a prevenção e o equilíbrio do sistema produtivo.

3. CONTROLE BIOLÓGICO

O controle biológico surge como uma alternativa ao uso de defensivos químicos, utilizando organismos vivos para reduzir ou inibir a ação de patógenos nas plantas. Essa estratégia tem ganhado destaque por ser mais sustentável e por contribuir para o equilíbrio dos sistemas agrícolas.

Nesse tipo de controle, microrganismos benéficos atuam de diferentes formas, como na competição por nutrientes, na produção de substâncias que inibem o crescimento de patógenos e na indução de resistência das plantas (WOO et al. 2023). Essas ações ajudam a diminuir a incidência de doenças sem causar impactos negativos ao meio ambiente.

Além disso, o controle biológico pode ser aplicado de diferentes maneiras, como no tratamento de sementes, no solo ou diretamente nas plantas, tornando-se uma prática versátil dentro do manejo agrícola. Dessa forma, sua utilização vem sendo cada vez mais incentivada como parte de sistemas de produção mais sustentáveis.

O uso do controle biológico também se destaca por promover um equilíbrio mais natural nos sistemas agrícolas, reduzindo a dependência de insumos químicos.

Diferentemente dos métodos convencionais, essa abordagem busca utilizar organismos vivos como aliados no manejo de doenças, contribuindo para a sustentabilidade da produção.

Além disso, a integração do controle biológico com outras práticas de manejo, como rotação de culturas e manejo adequado do solo, potencializa seus efeitos, tornando-o ainda mais eficiente no controle de fitopatógenos (BORO et al. 2022).

O controle biológico também se destaca por sua atuação preventiva, promovendo um ambiente menos favorável ao estabelecimento de patógenos. Diferentemente dos métodos químicos, que geralmente atuam após a instalação da doença, os microrganismos benéficos podem atuar antecipadamente, colonizando o ambiente e impedindo o desenvolvimento de organismos prejudiciais.

Além disso, o uso contínuo de agentes biológicos favorece o equilíbrio ecológico do solo, contribuindo para a construção de sistemas agrícolas mais estáveis ao longo do tempo. Esse aspecto é especialmente relevante em sistemas de produção sustentável, onde se busca reduzir impactos ambientais e preservar os recursos naturais (COLLINGE et al., 2022).

Outro ponto importante é a crescente adoção do controle biológico em diferentes regiões do mundo, impulsionada pela necessidade de redução do uso de insumos químicos e pela busca por alimentos mais seguros. Esse cenário reforça o papel dos microrganismos como ferramentas estratégicas no manejo agrícola moderno.

4. FUNGOS NO CONTROLE BIOLÓGICO

Os fungos desempenham um papel importante no controle biológico de fitopatógenos, sendo amplamente utilizados como agentes naturais no manejo de doenças agrícolas (BORO et al. 2022). Esses microrganismos estão presentes no solo e interagem diretamente com outros organismos, podendo atuar tanto de forma benéfica quanto prejudicial às plantas.

No contexto do controle biológico, os fungos benéficos se destacam por sua capacidade de inibir o desenvolvimento de patógenos, contribuindo para a redução da incidência de doenças nas culturas. Sua atuação pode ocorrer por diferentes mecanismos, como a competição por nutrientes e espaço, a produção de substâncias que dificultam o crescimento de outros microrganismos e a ação direta sobre patógenos presentes no solo (WOO et al. 2023).

Além disso, o uso de fungos no manejo agrícola tem se mostrado uma alternativa sustentável, uma vez que contribui para a diminuição do uso de defensivos químicos e favorece o equilíbrio do ambiente. Dessa forma, sua aplicação vem sendo cada vez mais utilizada em sistemas de produção que buscam maior eficiência aliada à sustentabilidade.

Os fungos utilizados no controle biológico apresentam elevada capacidade de adaptação ao ambiente, o que favorece sua permanência no solo e sua interação com outros microrganismos. Essa característica permite que atuem de forma contínua no controle de patógenos, diferentemente de muitos produtos químicos que possuem ação limitada no tempo.

Outro aspecto relevante é a capacidade desses fungos de estabelecer relações com as plantas, especialmente na região da rizosfera, onde ocorre intensa atividade biológica. Essa interação contribui para a proteção das raízes e para o melhor aproveitamento de nutrientes, favorecendo o desenvolvimento vegetal.

Além disso, a utilização de fungos no controle biológico está diretamente relacionada à busca por sistemas agrícolas mais sustentáveis, que priorizem o equilíbrio ecológico e a redução de impactos ambientais. Dessa forma, seu uso vem sendo ampliado tanto em sistemas convencionais quanto em sistemas de produção orgânica.

4.1 O GÊNERO *TRICHODERMA* COMO AGENTE DE CONTROLE BIOLÓGICO

O gênero *Trichoderma* tem se destacado no controle biológico de fitopatógenos devido à sua capacidade de crescimento rápido e adaptação ao ambiente, principalmente em condições de solo agrícola (WOO et al. 2023). Sua

utilização está associada à redução da incidência de doenças, contribuindo para sistemas de produção mais sustentáveis.

O *Trichoderma* apresenta elevada capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais, o que favorece sua utilização em diversos sistemas de cultivo. Sua rápida colonização do substrato e do solo permite que atue de forma eficiente na competição com outros microrganismos, reduzindo a disponibilidade de espaço e nutrientes para patógenos.

Esse fungo apresenta diferentes mecanismos de ação, como a competição por nutrientes e espaço, a produção de substâncias que inibem o crescimento de patógenos e a indução de resistência nas plantas, favorecendo o controle de microrganismos prejudiciais. Além disso, destaca-se pela capacidade de colonização das raízes, promovendo o desenvolvimento vegetal.

Na prática, a produção do *Trichoderma* envolve etapas como a preparação do substrato, inoculação do microrganismo, incubação e posterior secagem, permitindo a obtenção de um produto viável para aplicação agrícola. O processo de incubação pode ser observado na (Figura 1), enquanto a etapa de secagem é apresentada na (Figura 2).

O controle de qualidade é realizado por meio de análises laboratoriais, como o cultivo em placas de Petri (Figura 3) e a observação microscópica das estruturas do fungo (Figura 4), garantindo a viabilidade e a pureza do microrganismo.

Em condições de campo, observa-se que o *Trichoderma* apresenta boa capacidade de colonização das raízes, contribuindo para o desenvolvimento das plantas e atuando de forma eficiente no controle de fitopatógenos.

Além de sua ação no controle de doenças, esse fungo também tem sido associado à promoção do crescimento vegetal, contribuindo para o aumento do vigor das plantas e melhoria do sistema radicular. Esse efeito está relacionado à sua interação direta com as raízes, formando uma relação benéfica que favorece o desenvolvimento da planta (WOO et al. 2023).

A eficiência do *Trichoderma* também está relacionada à sua capacidade de produzir enzimas hidrolíticas, como quitinases e glucanases, que atuam na

degradação da parede celular de fungos fitopatogênicos. Esse mecanismo contribui diretamente para o controle de doenças, reforçando sua atuação como agente antagonista (WOO et al. 2023).

Figura 1 – Incubação do *Trichoderma* em substrato de arroz esterilizado.



Figura 2 – Secagem do *Trichoderma* após o processo de incubação.



Figura 3 – Crescimento de *Trichoderma* em placa de Petri com meio de cultura.

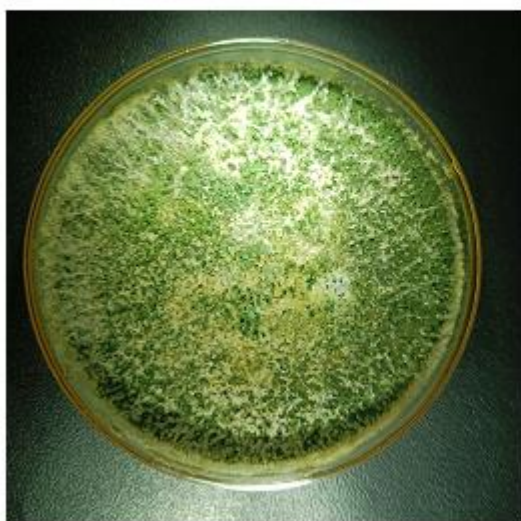


Figura 4 – Estruturas do *Trichoderma* observadas em microscopia.



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Além disso, esse fungo apresenta potencial na indução de resistência sistêmica nas plantas, estimulando mecanismos naturais de defesa vegetal. Esse processo permite que a planta responda de forma mais eficiente à presença de patógenos, reduzindo os danos causados por doenças (WOO et al. 2023).

Outro aspecto relevante é que o uso contínuo do *Trichoderma* pode favorecer o equilíbrio microbiológico do solo, contribuindo para a supressão natural de patógenos ao longo do tempo. Essa característica torna seu uso ainda mais interessante dentro de sistemas de produção sustentável, nos quais se busca estabilidade e menor dependência de insumos químicos.

Estudos também apontam que o uso do *Trichoderma* pode promover aumento na produtividade agrícola, especialmente quando associado a boas práticas de manejo. Esse efeito está relacionado à melhoria da absorção de nutrientes, ao estímulo ao crescimento radicular e ao fortalecimento das plantas, reforçando sua importância como ferramenta no manejo sustentável (MEYER, MAZARO, SILVA, 2022)

5. VANTAGENS DO CONTROLE BIOLÓGICO

O controle biológico tem se destacado como uma estratégia sustentável no manejo de doenças agrícolas, apresentando diversas vantagens em relação aos métodos convencionais baseados no uso de defensivos químicos. Sua utilização contribui significativamente para a melhoria da qualidade do solo, promovendo o equilíbrio da microbiota e favorecendo o desenvolvimento de microrganismos benéficos (HARTMANN, SIX, 2023).

A presença desses microrganismos no solo possibilita uma maior interação com o sistema radicular das plantas, contribuindo para o fortalecimento das raízes e para o aumento da absorção de nutrientes. Além disso, essa interação favorece a formação de uma rizosfera mais equilibrada, dificultando o estabelecimento de fitopatógenos e promovendo condições mais favoráveis ao desenvolvimento vegetal (SUMAN et al., 2022).

Outro aspecto relevante é que o controle biológico atua de forma gradual, promovendo melhorias contínuas ao longo do tempo. Diferentemente dos métodos químicos, seus efeitos não são imediatos, porém contribuem para a construção de um solo mais saudável e biologicamente ativo, aumentando a estabilidade e a resiliência dos sistemas agrícolas (HARTMANN, SIX, 2023).

O uso contínuo de agentes biológicos também está associado ao aumento do potencial produtivo das culturas, uma vez que melhora as condições físicas, químicas e biológicas do solo. Esse processo favorece o desenvolvimento das plantas e contribui para sistemas agrícolas mais eficientes e sustentáveis (WOO et al. 2023).

Além disso, o controle biológico pode ser utilizado de forma integrada com o controle químico, compondo estratégias de manejo integrado de doenças. Essa integração permite reduzir a dependência de insumos químicos, minimizar impactos ambientais e manter a produtividade das culturas, tornando o sistema mais equilibrado e economicamente viável (BORO et al. 2022).

Dessa forma, o controle biológico se consolida como uma ferramenta fundamental na agricultura moderna, contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas produtivos, a melhoria da qualidade do solo e o aumento da eficiência no manejo de fitopatógenos.

Dessa forma, o controle biológico apresenta-se como uma estratégia consolidada dentro da agricultura sustentável, contribuindo não apenas para o controle de doenças, mas também para a melhoria da qualidade do solo e para a construção de sistemas produtivos mais equilibrados ao longo do tempo.

6. METODOLOGIA

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa de natureza qualitativa, de caráter descritivo, baseada em revisão bibliográfica associada à descrição de atividades práticas relacionadas à produção e aplicação do fungo *Trichoderma*.

A abordagem qualitativa foi adotada por permitir a análise e interpretação dos processos envolvidos na produção e aplicação do microrganismo, considerando aspectos técnicos, observacionais e descritivos. A pesquisa bibliográfica foi utilizada como base teórica, sendo fundamentada em artigos científicos, livros e publicações técnicas relacionadas à microbiologia agrícola e ao controle biológico.

Na etapa prática, o experimento foi realizado em ambiente controlado, adotando-se o processo de fermentação em estado sólido (FES) para a produção *on-farm* do microrganismo. Inicialmente, realizou-se a preparação do substrato utilizando arroz, sendo acondicionadas porções de aproximadamente 250 g em sacos plásticos, com adição de cerca de 200 mL de água, visando promover a adequada hidratação do material e proporcionar condições favoráveis ao desenvolvimento do fungo.

Após a hidratação, os sacos foram devidamente selados com auxílio de seladora térmica. Em seguida, o material foi submetido à esterilização em autoclave, a 120 °C, sob pressão de 1 atm, por aproximadamente 40 minutos, com o objetivo de eliminar possíveis contaminantes. Após a esterilização, o material foi mantido em repouso até atingir temperatura adequada para manipulação.

Em seguida, realizou-se a inoculação do fungo *Trichoderma* no substrato, utilizando-se aproximadamente 10 mL de inóculo por unidade experimental. O inóculo foi obtido a partir de culturas matrizes mantidas em placas de Petri contendo meio de cultura adequado, sendo que cada placa possibilitou a inoculação de até seis unidades de substrato.

O material inoculado foi mantido em sala de incubação com temperatura controlada entre 25 °C e 28 °C, favorecendo o crescimento e desenvolvimento do microrganismo. Após aproximadamente dois dias, foram realizados pequenos orifícios na parte superior dos sacos, com o objetivo de permitir as trocas gasosas, essenciais para o desenvolvimento do fungo. Após cerca de três dias, realizou-se a homogeneização do substrato, promovendo melhor distribuição do microrganismo e maior uniformidade na colonização.

O período total de incubação foi de aproximadamente sete dias, ao final do qual o substrato apresentava-se completamente colonizado, com intensa esporulação, caracterizada pela coloração esverdeada.

Após a completa colonização, o material foi distribuído em bandejas para a etapa de secagem, realizada em ambiente controlado. Nessa fase, utilizou-se desumidificador e controle de temperatura, com o objetivo de reduzir a umidade do material a níveis inferiores a 10–15%, garantindo a viabilidade dos esporos e prevenindo contaminações.

Posteriormente, o material seco foi submetido ao processo de extração, utilizando uma máquina extratora de esporos, responsável pela separação do fungo do substrato, resultando na obtenção de um produto em forma de pó, com elevada concentração de esporos viáveis.

Para o controle de qualidade, realizaram-se análises laboratoriais, incluindo o cultivo em placas de Petri contendo meio de cultura, permitindo a avaliação do crescimento e da pureza do fungo. Adicionalmente, foram realizadas contagens em câmara de Neubauer para quantificação de conídios, bem como testes de viabilidade, assegurando a qualidade do material produzido. Também foram realizadas observações microscópicas para verificação das estruturas do microrganismo.

Por fim, o produto obtido foi utilizado na preparação da calda para aplicação agrícola, sendo diluído em água, visando sua utilização no controle biológico de fitopatógenos e na promoção do desenvolvimento das plantas.

Ressalta-se que, durante todo o processo, foram adotados cuidados relacionados à assepsia e ao controle das condições ambientais, fatores fundamentais para garantir a qualidade do produto final. O controle de temperatura e umidade mostrou-se determinante para o desenvolvimento e esporulação do microrganismo.

Além disso, o método de fermentação em estado sólido utilizado neste estudo é amplamente empregado na produção de microrganismos para uso agrícola, por

apresentar baixo custo, facilidade de execução e boa eficiência, sendo especialmente viável para produção em nível de propriedade rural.

Os procedimentos relacionados à obtenção e avaliação do produto seguiram metodologias microbiológicas consolidadas na literatura, especialmente no que se refere à qualidade, viabilidade e padronização de produtos à base de *Trichoderma*. Além disso, a produção do microrganismo por fermentação em estado sólido baseou-se em protocolos descritos por Woo et al. (2023) e Boro et al. (2022), amplamente utilizados em estudos de controle biológico.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos evidenciam que o fungo *Trichoderma* apresentou crescimento satisfatório durante o processo de produção, com boa colonização do substrato utilizado. Observou-se que, após a inoculação, o microrganismo se desenvolveu de forma uniforme, promovendo o consumo do arroz e apresentando intensa esporulação, caracterizada pela coloração esverdeada e aspecto pulverulento.

Durante a etapa de incubação, verificou-se o desenvolvimento adequado do fungo, demonstrando que as condições de temperatura e umidade foram favoráveis ao seu crescimento (Figura 1). Esse resultado reforça a importância do controle ambiental no processo produtivo, uma vez que variações nessas condições podem comprometer o desenvolvimento do microrganismo. Posteriormente, na fase de secagem, observou-se que a redução da umidade contribuiu para a estabilidade do material, mantendo a viabilidade dos esporos e evitando contaminações (Figura 2).

As análises laboratoriais confirmaram a qualidade do microrganismo produzido. O crescimento em placas de Petri apresentou características típicas do *Trichoderma*, como coloração e distribuição homogênea, indicando pureza do material (Figura 3). Além disso, as observações microscópicas permitiram identificar estruturas compatíveis com o fungo, reforçando a confiabilidade do processo de

produção (Figura 4). Esses resultados demonstram que as etapas de assepsia e controle adotadas durante o processo foram eficientes.

Em condições de campo, verificou-se que o *Trichoderma* apresentou capacidade de colonização das raízes, favorecendo o desenvolvimento das plantas. Esse comportamento está diretamente relacionado à sua atuação como agente de controle biológico, contribuindo para a redução da ação de fitopatógenos no solo. A colonização da rizosfera é um fator essencial para o sucesso do microrganismo, pois permite sua interação direta com a planta (WOO et al., 2023). Resultados semelhantes são descritos em estudos recentes, que destacam a importância da interação entre microrganismos benéficos e a rizosfera na promoção do crescimento vegetal (MEYER, MAZARO, SILVA, 2022).

Os resultados observados estão de acordo com a literatura, que descreve o *Trichoderma* como um microrganismo eficiente no controle biológico, atuando por diferentes mecanismos, como competição, antagonismo e indução de resistência nas plantas (HARMAN et al., 2004). Além disso, sua capacidade de produzir enzimas hidrolíticas, como quitinases e glucanases, contribui diretamente para o controle de fitopatógenos (WOO et al. 2023).

A intensa esporulação observada durante o processo produtivo indica que o método utilizado foi eficiente, uma vez que a produção de esporos está diretamente relacionada à capacidade de multiplicação e à eficácia do fungo no campo. Esse aspecto é fundamental para garantir bons resultados na aplicação agrícola. Estudos recentes evidenciam que a viabilidade e a qualidade dos esporos são determinantes para o sucesso do controle biológico em sistemas agrícolas (WOO et al. 2023).

Outro ponto relevante é que a qualidade do material produzido influencia diretamente na eficiência do controle biológico. A obtenção de um produto com alta pureza e viabilidade de esporos aumenta as chances de sucesso na aplicação, contribuindo para melhores resultados no desenvolvimento das plantas e na redução de doenças.

De maneira geral, os resultados obtidos demonstram que a produção e aplicação do *Trichoderma* apresentam elevado potencial como estratégia

sustentável no manejo agrícola, contribuindo para a redução do uso de insumos químicos e para o equilíbrio do sistema produtivo. Esses achados reforçam a importância da adoção de práticas biológicas no contexto da agricultura moderna, sendo corroborados por estudos recentes que destacam os benefícios do uso de microrganismos na agricultura sustentável (MEYER, MAZARO, SILVA, 2022).

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, conclui-se que a microbiologia aplicada à agricultura desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de práticas mais sustentáveis, especialmente no que se refere ao uso de microrganismos no controle biológico de fitopatógenos.

O uso do fungo *Trichoderma* demonstrou-se eficiente tanto em condições laboratoriais quanto em campo, apresentando bom desenvolvimento, capacidade de colonização do substrato e potencial de aplicação no manejo agrícola.

A produção do microrganismo por meio da fermentação em estado sólido mostrou-se viável, permitindo a obtenção de um produto com qualidade, desde que sejam respeitadas as condições adequadas de produção, como controle de umidade, temperatura e higiene do processo.

Além disso, o uso do *Trichoderma* contribui para a redução da utilização de defensivos químicos, favorecendo o equilíbrio do solo e promovendo o desenvolvimento das plantas, o que reforça sua importância dentro de sistemas agrícolas sustentáveis.

Dessa forma, destaca-se que a aplicação de microrganismos no controle biológico representa uma alternativa promissora para a agricultura, sendo necessário o incentivo à sua utilização e ao aprofundamento de estudos na área.

Por fim, ressalta-se a importância da integração entre conhecimento científico e práticas agrícolas, visando o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis que atendam às demandas atuais da agricultura moderna.

REFERÊNCIAS

AGRIOS, G. N. *Plant Pathology*. 5. ed. San Diego: Elsevier Academic Press, 2005. Disponível em: <https://shop.elsevier.com/books/plant-pathology/agrios/978-0-08-047378-9>. Acesso em: 15 abr. 2026.

BORO, M.; SANNYASI, S.; CHETTRI, D.; VERMA, A. K. Microorganisms in biological control strategies to manage microbial plant pathogens: a review. *Archives of Microbiology*, v. 204, n. 11, p. 666, 2022. DOI: 10.1007/s00203-022-03279-w.

COLLINGE, D. B.; JENSEN, D. F.; RABIEY, M.; SARROCCO, S.; SHAW, M. W.; SHAW, R. H. Biological control of plant diseases – What has been achieved and what is the direction? *Plant Pathology*, v. 71, p. 1024–1047, 2022. DOI: 10.1111/ppa.13555.

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

HARTMANN, M.; SIX, J. Soil structure and microbiome functions in agroecosystems. *Nature Reviews Earth & Environment*, v. 4, p. 4–18, 2023.

LAHLALI, R.; EZRARI, S.; RADOUANE, N.; KENFAOUI, J.; ESMAEEL, Q.; EL HAMSS, H.; BELABESS, Z.; AIT BARKA, E. Biological Control of Plant Pathogens: A Global Perspective. *Microorganisms*, v. 10, n. 3, p. 596, 2022. DOI: 10.3390/microorganisms10030596.

MEYER, Maurício Conrado; MAZARO, Sérgio Miguel; SILVA, Juliano Cesar da (Eds.). *Trichoderma su uso en la agricultura*. tradução de Yelitza Coromoto Colmenárez y Carlos Luis Vásquez Freytez - Brasília, DF: Embrapa, 2022.

SUMAN, J.; RAKSHIT, A.; OGIREDDY, S. D.; SINGH, S.; GUPTA, C.; CHANDRAKALA, J. Microbiome as a Key Player in Sustainable Agriculture and Human Health. *Frontiers in Soil Science*, v. 2, 2022. DOI: 10.3389/fsoil.2022.821589.

WOO, S. L.; HERMOSA, R.; LORITO, M.; MONTE, E. Trichoderma: a multipurpose, plant-beneficial microorganism for eco-sustainable agriculture. *Nature Reviews Microbiology*, v. 21, p. 312–326, 2023.