

## Avaliação experimental da eficácia de *Bacillus subtilis* e *Trichoderma harzianum* no controle de doenças na cultura do inhame

Hudson Dominicini Sarnaglia<sup>1</sup>, Marcos Vinicius Comper Covre<sup>1</sup>, Pedro Henrique Grigio<sup>1</sup>, Daniele Drumond<sup>2</sup>

Submissão: 10/12/2025

Aprovação: 10/05/2026

**Resumo** - A cultura do inhame (*Dioscorea* spp.) é de grande importância socioeconômica, sobretudo para a agricultura familiar em regiões tropicais, mas é frequentemente afetada por doenças de origem fúngica que comprometem sua produtividade e qualidade. Diante da crescente busca por alternativas sustentáveis no manejo fitossanitário, este estudo avaliou a eficácia de dois agentes de controle biológico, *Bacillus subtilis* e *Trichoderma harzianum*, no controle de doenças na cultura do inhame. O objetivo do trabalho foi verificar a capacidade desses microrganismos em reduzir a incidência e a severidade de doenças, principalmente as causadas por patógenos de solo. O experimento foi conduzido em condições de campo, utilizando 30 plantas amostradas por tratamento, sendo realizado no período de outubro de 2023 a maio de 2024, utilizando-se o delineamento em blocos casualizados. Os resultados demonstraram que os tratamentos com *B. subtilis* e *T. harzianum*, isoladamente ou combinados, apresentaram redução significativa na ocorrência de doenças em comparação ao controle, com destaque para a combinação dos dois agentes, que promoveu maior vigor das plantas e aumento expressivo da produção. Conclui-se que a aplicação de agentes biológicos representa uma estratégia eficiente e ambientalmente adequada para o manejo de doenças na cultura do inhame, podendo contribuir para a sustentabilidade da produção agrícola.

**Palavras-Chave:** Inhame. Controle biológico. *Bacillus subtilis*. *Trichoderma harzianum*. Doenças de plantas.

## Experimental evaluation of the efficacy of *Bacillus subtilis* and *Trichoderma harzianum* in controlling diseases in yam cultivation.

**Abstract** - Yam (*Dioscorea* spp.) cultivation is of great socioeconomic importance, especially for family farming in tropical regions, but it is frequently affected by fungal diseases that compromise its productivity and quality. Given the growing search for sustainable alternatives in phytosanitary management, this study evaluated the efficacy of two biological control agents, *Bacillus subtilis* and *Trichoderma harzianum*, in controlling diseases in yam cultivation. The objective of this work was to verify the capacity of these microorganisms to reduce the incidence and severity of diseases, mainly those caused by soil pathogens. The experiment was conducted under field conditions, using 30 sampled plants per treatment, from October 2023 to May 2024, using a randomized block design. The results demonstrated that treatments with *B. subtilis* and *T. harzianum*, alone or in combination, showed a significant reduction in disease occurrence compared to the control, with the combination of the two agents standing out, promoting greater plant vigor and a significant increase in production. It is concluded that the application of biological agents represents an efficient and environmentally sound strategy for disease management in yam cultivation and can contribute to the sustainability of agricultural production.

**Keywords:** Yam. Biological control. *Bacillus subtilis*. *Trichoderma harzianum*. Plant diseases.

<sup>1</sup>Acadêmicos Bacharelado em Agronomia, Ensino a Distância (EAD), Multivix Serra, Serra, ES.

<sup>2</sup> Professora orientadora de Ensino a Distância (EAD), Multivix Serra, Serra, ES

## INTRODUÇÃO

A cultura do inhame (*Dioscorea spp.*), amplamente cultivada nas regiões tropicais e subtropicais, tem importância econômica, social e alimentar significativa, principalmente no contexto da agricultura familiar brasileira. De acordo com Pitta et al. (2015), o inhame se destaca por seu valor nutricional, sendo uma raiz rica em carboidratos, fibras e vitaminas, além de possuir propriedades medicinais. Segundo Souza et al. (2020), o Brasil ocupa posição de destaque na produção de inhame na América Latina, sendo cultivado, sobretudo, nos estados do Nordeste, como Pernambuco e Paraíba, onde representa importante fonte de renda para pequenos produtores.

No entanto, essa cultura é altamente suscetível a diversas doenças causadas por fungos e bactérias, que comprometem o desenvolvimento das plantas, a qualidade dos tubérculos e, conseqüentemente, os rendimentos das lavouras. Estimativas indicam que as perdas na produção de tubérculos tropicais, como o inhame, podem alcançar até 50% em função de doenças, especialmente quando não são adotadas práticas adequadas de manejo (FAO, 2018). Entre as principais doenças estão as podridões radiculares, as manchas foliares e as doenças de armazenamento, que impactam diretamente a produção e a comercialização (Silva et al., 2017).

Tradicionalmente, o manejo dessas enfermidades é realizado com o uso de defensivos químicos, os quais, embora eficazes, podem causar efeitos colaterais, como a contaminação do solo, da água e dos alimentos, além de afetar a saúde dos trabalhadores e consumidores (Bettiol; Ghini, 2011). Além disso, o uso indiscriminado de fungicidas tem contribuído para o surgimento de resistência em patógenos, agravando o problema e exigindo doses cada vez maiores de produtos químicos (Silva; Venturini, 2019). Frente a essas limitações, cresce a busca por métodos alternativos e sustentáveis de controle fitossanitário, entre os quais se destaca o uso do controle biológico.

O controle biológico, conforme Melo e Fauller (2019), baseia-se na utilização de microrganismos antagonistas que atuam sobre os fitopatógenos, reduzindo sua população ou impedindo sua ação. Dois desses agentes promissores são o *Bacillus subtilis*, uma bactéria gram-positiva produtora de metabólitos com ação antifúngica, e o *Trichoderma harzianum*,

um fungo filamentosamente reconhecido por sua capacidade de parasitismo direto, produção de enzimas e indução de resistência em plantas hospedeiras. De acordo com Harman et al. (2004), o *Trichoderma* é amplamente utilizado como biofungicida em diversas culturas agrícolas, demonstrando eficácia na supressão de patógenos do solo e na promoção do crescimento vegetal. Da mesma forma, estudos como os de Lopes et al. (2021) destacam a eficiência de *B. subtilis* na proteção de plantas contra doenças fúngicas, especialmente em condições de campo.

Apesar dos avanços e da crescente utilização desses agentes em diferentes culturas, ainda são escassas as pesquisas voltadas especificamente para o inhame, o que reforça a necessidade de estudos que avaliem a eficácia do controle biológico nesse cultivo, especialmente em contextos de agricultura familiar e sistemas agroecológicos.

A justificativa deste estudo reside na crescente demanda por práticas agrícolas sustentáveis e pela redução do uso de agrotóxicos, especialmente em sistemas de base familiar. De acordo com o IBGE (2022), cerca de 77% dos estabelecimentos rurais no Brasil pertencem à agricultura familiar, a qual carece de tecnologias acessíveis e adaptadas à sua realidade. Além disso, o uso do controle biológico no país ainda é limitado: estima-se que apenas 4% da área agrícola brasileira utilize agentes biológicos no manejo de doenças (Moraes; Kobori, 2021). Assim, a pesquisa busca atender tanto a uma demanda prática dos agricultores quanto a uma lacuna científica, promovendo conhecimento com aplicabilidade direta no campo. Como argumentam Scalquette (2020) e Creswell (2007), uma investigação se justifica plenamente quando responde a uma necessidade social concreta e promove o avanço do saber com potencial de transformação.

O objetivo central deste trabalho é avaliar a eficácia do *Bacillus subtilis* e do *Trichoderma harzianum* no controle de doenças na cultura do inhame, contribuindo para o desenvolvimento de alternativas que sejam eficazes, ambientalmente seguras e economicamente viáveis. A questão que norteia esta pesquisa é: como o *Bacillus subtilis* e o *Trichoderma harzianum* contribuem para a redução da incidência de doenças em cultivos de inhame?

Os objetivos específicos são: caracterizar as princi-

país doenças encontradas na cultura do inhame na área experimental; aplicar tratamentos com *B. subtilis* e *T. harzianum* em diferentes combinações e métodos de aplicação; monitorar os efeitos dos tratamentos sobre a incidência e severidade das doenças ao longo do ciclo da cultura; e avaliar o impacto dos tratamentos na produtividade e qualidade dos tubérculos colhidos.

Espera-se que os resultados desta pesquisa contribuam para o fortalecimento da agricultura sustentável, incentivando a adoção de práticas mais saudáveis e responsáveis com o meio ambiente e a saúde humana.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### DIAGNÓSTICO FITOSSANITÁRIO DA CULTURA DO INHAME

O inhame (*Dioscorea spp.*), amplamente cultivado em regiões tropicais e subtropicais do Brasil, é uma hortaliça de raiz de grande relevância econômica e nutricional, rica em carboidratos e utilizada tanto para o consumo humano quanto para fins medicinais. Representa uma importante fonte de renda para pequenos produtores, especialmente no Nordeste e Sudeste do país, sendo valorizado por seu valor nutritivo e seu papel na segurança alimentar (Costa et al., 2012).

Apesar de sua importância, o cultivo do inhame enfrenta sérios desafios fitossanitários, com doenças que afetam tanto as partes aéreas quanto subterrâneas da planta, comprometendo a produtividade e a qualidade dos tubérculos. Essas doenças, de origens fúngicas, bacterianas e virais, reduzem o desenvolvimento das plantas e impactam negativamente a colheita (Costa et al., 2012).

Entre as principais enfermidades destacam-se:

**Antracnose** (*Colletotrichum gloeosporioides*): provoca manchas escuras e deprimidas em folhas e caules, resultando em desfolha precoce e menor área fotossintética;

**Podridão mole dos tubérculos**, geralmente causada por *Erwinia carotovora*: leva à liquefação dos

tecidos internos, inviabilizando o uso e a comercialização;

**Mancha foliar bacteriana** (*Xanthomonas campestris*): provoca lesões necróticas e cloróticas que prejudicam o desenvolvimento vegetal (Silva et al., 2015; Resende et al., 2014).

As condições ambientais influenciam diretamente o desenvolvimento dessas doenças. Fatores como alta umidade, chuvas frequentes, má drenagem do solo e histórico de infestações na área favorecem a propagação dos patógenos (Lopes et al., 2021). A prática da monocultura e o uso contínuo de propágulos contaminados também agravam o cenário.

Diante disso, o diagnóstico fitossanitário torna-se essencial para o manejo preventivo e corretivo, exigindo monitoramento constante desde o plantio até a colheita. Esse processo envolve a observação de sintomas como manchas, necroses, deformações, mudanças na coloração e textura das plantas, além da realização de análises laboratoriais para a identificação precisa dos agentes causadores. A avaliação deve considerar o histórico da área e as condições climáticas predominantes. Conforme Resende et al. (2014), a identificação correta do patógeno é fundamental para a adoção de estratégias de controle eficazes e sustentáveis.

Nesse contexto, o uso de agentes de controle biológico, como *Bacillus subtilis* e *Trichoderma harzianum*, tem se destacado como alternativa viável e ecológica. *B. subtilis* atua por meio da produção de metabólitos antimicrobianos, competição por recursos e indução de resistência sistêmica. Já *T. harzianum* é conhecido pelo micoparasitismo e pela promoção do crescimento vegetal, além de melhorar a estrutura do solo (Melo et al., 2020). O uso integrado desses microrganismos pode reduzir a incidência de doenças e melhorar o desempenho agrônomo, alinhando-se aos princípios da agricultura sustentável.

A crescente demanda por alimentos livres de resíduos químicos e a necessidade de manter o equilíbrio ecológico reforçam a adoção de práticas como o manejo integrado de doenças (MID), que combina o uso de variedades resistentes, práticas culturais e controle biológico (Lopes et al., 2021; Costa et al., 2012).

## APLICAÇÃO DE TRATAMENTOS BIOLÓGICOS COM *BACILLUS SUBTILIS* E *TRICHODERMA HARZIANUM*

A crescente preocupação com os impactos ambientais decorrentes do uso indiscriminado de defensivos químicos tem impulsionado a busca por métodos alternativos de controle fitossanitário, com destaque para os agentes de controle biológico. Nesse contexto, a utilização de microrganismos como *Bacillus subtilis* e *Trichoderma harzianum* tem se destacado por sua eficácia no manejo de doenças de plantas, inclusive em culturas de importância econômica como o inhame (*Dioscorea spp.*), frequentemente afetado por podridões de tubérculos e enfermidades foliares.

*Bacillus subtilis* é uma bactéria gram-positiva formadora de esporos, capaz de colonizar a rizosfera e exercer múltiplos mecanismos de ação no controle de patógenos, como a produção de compostos antimicrobianos, a competição por nichos ecológicos e a indução de resistência sistêmica nas plantas hospedeiras (Moraes et al., 2016). Essa capacidade de estimular o sistema de defesa das plantas torna o uso do *B. subtilis* uma estratégia eficiente tanto para a prevenção quanto para a supressão de patógenos oportunistas. A aplicação desse microrganismo pode ser realizada por meio da imersão de tubérculos-semente, tratamento do solo ou aplicação foliar, dependendo do objetivo do controle.

O *Trichoderma harzianum* é um fungo filamentosamente encontrado naturalmente no solo, que atua principalmente por micoparasitismo, enzimólise e competição com outros fungos patogênicos. Suas enzimas hidrolíticas, como quitinases, proteases e glucanases, degradam as paredes celulares de fitopatógenos como *Fusarium spp.*, *Sclerotium rolfsii* e *Rhizoctonia solani*, responsáveis por doenças comuns no cultivo do inhame (Melo et al., 2020). Adicionalmente, o *T. harzianum* também promove o crescimento vegetal ao estimular o desenvolvimento radicular e melhorar a absorção de nutrientes.

As estratégias de aplicação desses microrganismos podem ser adaptadas de acordo com os objetivos do manejo fitossanitário e as condições da área experimental. Entre as principais técnicas de aplicação, estão:

Imersão de tubérculos-semente: visa reduzir a inci-

dência de patógenos aderidos à superfície dos propágulos, promovendo um início saudável do ciclo vegetativo;

Aplicação via solo (sulco ou cobertura): busca estabelecer uma microbiota benéfica na rizosfera, inibindo a ação de patógenos do solo e favorecendo a colonização da planta por microrganismos promotores de crescimento;

Aplicação foliar: utilizada principalmente no controle de doenças aéreas, proporciona proteção direta às folhas e pode ser repetida durante o ciclo de cultivo, conforme o calendário fitossanitário;

Combinação de métodos: estudos demonstram que o uso integrado de diferentes vias de aplicação potencializa os efeitos benéficos e aumenta a persistência dos agentes biológicos no agroecossistema (Vieira et al., 2019).

A frequência das aplicações deve considerar fatores como o clima, a severidade das doenças e o estágio fenológico da planta. De modo geral, recomenda-se iniciar o tratamento biológico logo após o plantio, com reaplicações quinzenais ou mensais, dependendo do comportamento dos patógenos e da estabilidade dos produtos utilizados (Silva et al., 2015).

Outro ponto relevante é a compatibilidade entre os agentes biológicos utilizados. Quando aplicados em conjunto, *B. subtilis* e *T. harzianum* apresentam sinergismo em diversos casos, desde que respeitadas as condições ideais de aplicação e formulação. Segundo Lopes et al. (2021), produtos comerciais contendo esses microrganismos devem apresentar boa viabilidade, concentração adequada de esporos ou células viáveis e estabilidade microbiológica para garantir eficácia em campo.

Além do controle direto de doenças, a utilização desses agentes também contribui para o equilíbrio ecológico do solo, redução da pressão de seleção de patógenos resistentes e melhora na qualidade dos alimentos produzidos. O uso contínuo e planejado desses tratamentos integra os princípios da agricultura sustentável e se alinha às boas práticas agrícolas recomendadas por órgãos como o Ministério da Agricultura e a Embrapa.

Assim, a adoção de tratamentos biológicos com *Ba-*

*cillus subtilis* e *Trichoderma harzianum* representa uma estratégia viável, eficiente e ambientalmente segura no manejo das doenças da cultura do inhame, sendo importante objeto de estudo para a consolidação de práticas agrícolas sustentáveis.

## MONITORAMENTO DA INCIDÊNCIA E SEVERIDADE DAS DOENÇAS

O acompanhamento da incidência e da severidade de doenças na cultura do inhame é uma etapa fundamental para avaliar a eficácia dos tratamentos fitossanitários aplicados, especialmente quando se trata da utilização de agentes biológicos como *Bacillus subtilis* e *Trichoderma harzianum*. Esse acompanhamento sistemático permite não apenas identificar os efeitos dos microrganismos sobre os patógenos-alvo, mas também orientar decisões agronômicas ao longo do ciclo da cultura com base em evidências observacionais e quantitativas.

Segundo Michereff et al. (2009), a incidência de doenças refere-se à proporção de plantas ou partes de plantas afetadas por determinado patógeno, enquanto a severidade diz respeito ao grau de comprometimento dos tecidos vegetais, geralmente expresso em porcentagem da área foliar ou do órgão afetado. Ambas as variáveis são essenciais na caracterização do progresso das doenças no campo e na comparação entre diferentes tratamentos fitossanitários.

Para a avaliação da eficácia dos agentes biológicos, o acompanhamento deve ser conduzido em intervalos regulares, utilizando escalas diagramáticas padronizadas ou sistemas de pontuação visual previamente validados, como recomendado por Vale et al. (2015). Essas escalas permitem a uniformização dos registros e a redução da subjetividade na observação, o que é fundamental para a confiabilidade dos dados coletados.

A utilização de *B. subtilis* e *T. harzianum*, por suas características de ação indireta (como a indução de resistência e o antagonismo), exige um acompanhamento contínuo ao longo do desenvolvimento da cultura para que se possa observar a redução progressiva da incidência e da severidade das doenças em relação às áreas não tratadas. Além disso, é importante considerar que os efeitos dos tratamentos biológicos nem sempre são imediatos, mas tendem a se intensificar conforme os microrganismos se es-

tabelecem na rizosfera ou nas superfícies vegetais (Melo et al., 2020).

As metodologias utilizadas para o acompanhamento devem incluir: amostragem sistemática das plantas por talhão experimental; registros fotográficos e anotações de sintomas visuais nos estádios fenológicos mais críticos; análise estatística dos dados para comparação entre tratamentos, com aplicação de testes como Anova ou Tukey, conforme adequado; utilização de índices epidemiológicos, como a Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD), que permitem integrar os dados de incidência e severidade ao longo do tempo (Bergamin Filho; Amorim, 2017).

Adicionalmente, recomenda-se a utilização de ferramentas tecnológicas como aplicativos de coleta de dados em campo, planilhas georreferenciadas e softwares de mapeamento para facilitar a análise espacial e temporal da evolução das doenças na área cultivada.

O acompanhamento da saúde da cultura também deve ser correlacionado com variáveis ambientais, como umidade relativa, temperatura e regime de chuvas, visto que esses fatores influenciam diretamente o desenvolvimento de patógenos como *Sclerotium rolfsii* e *Colletotrichum gloeosporioides*, que afetam significativamente o inhame em condições tropicais (Silva et al., 2018).

Assim, o acompanhamento eficiente da incidência e severidade das doenças torna-se não apenas uma ferramenta de avaliação, mas também uma base para o manejo integrado de doenças (MID), contribuindo para práticas agrícolas mais sustentáveis, seguras e economicamente viáveis.

Além dos aspectos já mencionados, é importante destacar que o acompanhamento fitossanitário deve ser conduzido em consonância com os princípios do Manejo Integrado de Doenças (MID), que preconiza a adoção de estratégias sustentáveis e integradas para reduzir o impacto das doenças nas lavouras, evitando o uso indiscriminado de defensivos químicos. Nesse contexto, a utilização de agentes de controle biológico como *Bacillus subtilis* e *Trichoderma harzianum* se mostra como uma alternativa promissora, mas requer um acompanhamento técnico contínuo para garantir a eficácia do manejo.

O trabalho de acompanhamento deve incluir a observação da dinâmica populacional dos microrganismos aplicados e sua interação com a microbiota do solo e da planta. Estudos de Oliveira et al. (2021) demonstram que o estabelecimento eficaz de *Trichoderma spp.* na rizosfera está diretamente relacionado à redução da infecção por patógenos do solo, como *Sclerotium rolfsii* e *Fusarium spp.*, sendo necessário um ambiente favorável ao desenvolvimento do agente de biocontrole.

Durante o acompanhamento, é essencial que o pesquisador observe também possíveis reações de fitotoxicidade ou estresse nas plantas em decorrência dos tratamentos, especialmente quando estes são realizados via foliar ou por imersão de tubérculos. Embora raras, essas reações podem interferir na interpretação dos resultados, sendo necessário isolar tais variáveis nos registros experimentais (Silva et al., 2020).

A padronização das coletas, respeitando sempre os mesmos pontos amostrais e os mesmos critérios de avaliação ao longo do tempo, também é um fator crucial para a confiabilidade dos dados. Conforme apontado por Santos et al. (2019), a adoção de mapas de campo e registros fotográficos auxilia na manutenção da uniformidade das observações, permitindo a identificação de tendências de progresso ou regressão das doenças ao longo das diferentes fases fenológicas da cultura.

Além da utilização de escalas visuais, o acompanhamento pode ser enriquecido com análises laboratoriais, como isolamento dos patógenos em meio de cultura, testes de antagonismo *in vitro* entre os microrganismos aplicados e os fitopatógenos, além da quantificação da população microbiana no solo por meio de técnicas como PCR quantitativo (qPCR), quando possível, permitindo um acompanhamento mais preciso da colonização pelos agentes biológicos.

Outro aspecto relevante é a influência das condições edafoclimáticas na eficácia dos tratamentos biológicos. A umidade elevada, por exemplo, favorece tanto o desenvolvimento de muitos patógenos quanto o de agentes antagonistas como *T. harzianum*, exigindo atenção redobrada na correlação entre variáveis ambientais e os resultados de campo (Melo et al., 2020). Assim, o acompanhamento das condições

ambientais, associado às observações visuais e dados quantitativos, fornece uma visão holística do impacto dos tratamentos e da dinâmica das doenças na cultura do inhame.

Por fim, o registro contínuo e sistemático dos dados, aliado à sua análise estatística adequada, permite não apenas a validação dos resultados experimentais, mas também a replicação do estudo em outras áreas ou culturas, contribuindo para a consolidação do uso de tecnologias limpas e sustentáveis na agricultura familiar e comercial. Portanto, o acompanhamento eficaz se constitui como uma ferramenta indispensável para validar a utilização racional e eficaz de microrganismos no controle de doenças vegetais.

## AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DOS TUBÉRCULOS

A avaliação da produtividade e qualidade dos tubérculos é uma etapa essencial para a análise da eficácia de tratamentos biológicos na cultura do inhame, uma vez que esses fatores estão diretamente relacionados ao desempenho das lavouras e à viabilidade econômica do cultivo. A produtividade, no caso do inhame, pode ser aferida por meio de diversos parâmetros, entre os quais se destacam o número de tubérculos por planta, o peso médio dos tubérculos e a resistência do produto à presença de doenças. Estes dados são essenciais para determinar se os tratamentos realizados, como a aplicação de *Bacillus subtilis* e *Trichoderma harzianum*, têm influência significativa no aumento da produtividade, além de proporcionar uma análise comparativa entre métodos convencionais de controle e o uso de agentes biológicos.

O número de tubérculos por planta é um indicador-chave da saúde da cultura. Este parâmetro pode ser impactado negativamente por doenças que afetam o sistema radicular ou as partes subterrâneas da planta, como *Fusarium spp.* e *Rhizoctonia solani*, que podem reduzir tanto a quantidade quanto a qualidade dos tubérculos. Conforme estudos realizados por Souza et al. (2020), o tratamento com *Trichoderma harzianum* resultou em maior número de tubérculos por planta em comparação com o tratamento convencional com fungicidas, o que sugere que os fungos biológicos não só controlam as doenças, mas também estimulam o desenvolvimento saudável da planta.

Ademais, o peso médio dos tubérculos é outro fator crítico que deve ser considerado. Tubérculos mais pesados geralmente indicam um desenvolvimento saudável, que é favorecido pela aplicação de tratamentos biológicos que promovem maior proteção contra patógenos do solo e melhoram a absorção de nutrientes. Estudos como o de Oliveira et al. (2019) mostram que *Bacillus subtilis*, ao ser aplicado no solo ou via foliar, não apenas combate patógenos, mas também aumenta a eficiência do uso de nutrientes pela planta, refletindo diretamente no peso final dos tubérculos.

A aparência visual dos tubérculos também é um parâmetro crucial para determinar a qualidade do produto. A presença de manchas, deformações e podridões superficiais é indicativa de infecções e pode afetar negativamente a aceitação do produto no mercado. A aplicação de *Trichoderma harzianum*, conforme demonstrado por Silva et al. (2021), foi eficaz na redução de lesões e manchas causadas por fungos, garantindo que os tubérculos permanecessem visualmente atrativos, o que é um fator importante para a comercialização no mercado de consumo.

Adicionalmente, a avaliação da incidência de doenças pós-colheita também desempenha um papel fundamental na qualidade do inhame. Patógenos como *Fusarium* e *Phytophthora* podem afetar os tubérculos após a colheita, comprometendo sua durabilidade e qualidade. A aplicação de *Bacillus subtilis*, como observado por Melo et al. (2021), foi eficaz na redução da incidência de doenças pós-colheita, devido à ação de proteção contínua contra infecções fúngicas, garantindo que os tubérculos se mantivessem mais saudáveis durante o armazenamento.

Além disso, a textura, o sabor e a consistência dos tubérculos são aspectos importantes na avaliação da qualidade do produto final. Tratamentos biológicos podem afetar diretamente essas características ao reduzir o estresse causado por infecções e melhorar a saúde geral das plantas. Costa et al. (2019) relataram que o uso de *Trichoderma harzianum* resultou em uma melhoria na textura e firmeza dos tubérculos, que apresentaram maior resistência a danos mecânicos durante a colheita e o transporte.

Por fim, a avaliação da produtividade e qualidade dos tubérculos é fundamental não apenas para verificar o impacto dos tratamentos biológicos sobre a saúde

das plantas, mas também para determinar a sustentabilidade e viabilidade do uso desses métodos no cultivo do inhame. O controle biológico com *Bacillus subtilis* e *Trichoderma harzianum* mostrou-se eficaz em promover tanto o aumento da produtividade quanto a melhoria da qualidade dos tubérculos, confirmando seu potencial como alternativa sustentável aos métodos convencionais de controle de doenças.

## MATERIAIS E MÉTODO

Para avaliar a eficácia de *Bacillus subtilis* e *Trichoderma harzianum* no controle de doenças na cultura do inhame, para realização deste trabalho utilizou-se uma abordagem experimental e quantitativa. O estudo foi conduzido na Fazenda AgroKrauser, propriedade de Olavo Krauser, localizada no município de Matias Cardoso, MG. O intuito do trabalho foi determinar o impacto desses agentes biológicos sobre a incidência de doenças, a qualidade dos tubérculos e a produtividade da cultura. A pesquisa foi realizada em campo, com base na aplicação de tratamentos biológicos e na análise das variáveis associadas à saúde das plantas.

A pesquisa tem natureza aplicada, pois busca fornecer uma solução prática para o controle das doenças do inhame por meio de agentes biológicos, ao invés de um estudo teórico, com foco na utilização de alternativas sustentáveis aos tratamentos convencionais, como o uso de pesticidas químicos (Gil, 2019).

A abordagem do problema é quantitativa, uma vez que o objetivo principal da pesquisa foi medir a eficácia dos tratamentos biológicos em parâmetros mensuráveis, como a incidência de doenças, o número de tubérculos por planta, o peso médio dos tubérculos e a qualidade dos tubérculos após a colheita. Para a análise dos dados, foram aplicados testes estatísticos para comparar os efeitos dos diferentes tratamentos (Souza et al., 2020).

A pesquisa foi experimental, pois envolveu a manipulação de variáveis independentes (*Bacillus subtilis* e *Trichoderma harzianum*) para observar os efeitos sobre variáveis dependentes (incidência e severidade das doenças, produtividade e qualidade dos tubérculos). Além disso, a pesquisa possui um caráter descritivo, com o objetivo de descrever e caracterizar as doenças presentes na cultura do inhame e os efeitos dos tratamentos biológicos na saúde da planta (Carvalho, 2018).

O experimento foi conduzido por meio de pesquisa experimental na área de cultivo de inhame da Fazenda AgroKrauser, localizada no Projeto Jaíba, Gleba C2, município de Matias Cardoso, estado de Minas Gerais. A região apresenta solo do tipo arenoso, com clima quente e seco, e temperaturas variando entre 26 °C a 40 °C. O histórico da área indica cultivo anterior de milho, e o experimento foi realizado durante o período de outubro de 2023 a maio de 2024, abrangendo o ciclo completo da cultura do inhame. Esses fatores edafoclimáticos e históricos são relevantes para a interpretação dos dados, pois influenciam diretamente a incidência de doenças, a resposta aos tratamentos biológicos e a produtividade final da cultura.

Para o desenvolvimento da pesquisa utilizou-se uma área previamente cultivada com milho e infestada por patógenos típicos da cultura do inhame. A área foi dividida em parcelas experimentais para a aplicação dos diferentes tratamentos biológicos, visando garantir a organização e o controle das variáveis durante os testes, permitindo a comparação entre os tratamentos de forma sistemática. Segundo Vieira (2016), o uso de parcelas experimentais é fundamental para assegurar a reprodutibilidade dos resultados e minimizar os efeitos de fatores externos que possam interferir nos dados obtidos. Além disso, conforme destacam Peternelli et al. (2015), o delineamento experimental adequado é essencial para aumentar a precisão das análises estatísticas e validar as conclusões da pesquisa científica. Cada parcela recebeu um tratamento distinto com os microrganismos *Bacillus subtilis* e *Trichoderma harzianum*, permitindo a comparação entre os métodos.

Em seguida, foi preparado o material biológico. Os agentes biológicos utilizados (*Bacillus subtilis* e *Trichoderma harzianum*) foram adquiridos comercialmente. As soluções foram preparadas seguindo as instruções dos fabricantes para garantir a viabilidade e eficácia dos microrganismos. Os tubérculos de inhame foram submetidos à assepsia com solução de hipoclorito de sódio a 1% por 10 minutos, antes do tratamento com os produtos biológicos. Esse procedimento teve como objetivo eliminar possíveis microrganismos contaminantes presentes na superfície dos tubérculos, garantindo que os efeitos observados durante a aplicação dos tratamentos fossem exclusivamente atribuídos aos agentes biológicos utilizados. Após a assepsia, os tubérculos foram devidamente enxaguados com água estéril para a

retirada de resíduos da solução. O *Bacillus subtilis* foi aplicado via foliar e no solo, semanalmente. Já o *Trichoderma harzianum* foi aplicado por imersão dos tubérculos antes do plantio. Para essas aplicações seguiram-se os protocolos baseados em estudos similares (Souza et al., 2020).

O monitoramento das doenças durante todo o ciclo da cultura foi realizado o acompanhamento semanal nos aspectos de incidência e severidade das doenças. Foram registradas lesões em folhas e raízes, com avaliação da severidade utilizando uma escala de 0 a 5 (Ferraz et al., 2019). A presença de sintomas foi quantificada com base no número de plantas afetadas em cada parcela.

Ao final do experimento, que teve duração total de aproximadamente sete meses, foram coletadas as seguintes informações: número e peso médio de tubérculos por planta, qualidade visual dos tubérculos (presença de manchas, podridões, deformações) e incidência de doenças pós-colheita.

Amostras foram enviadas a um laboratório especializado para análises fúngicas e bacterianas, conforme metodologia descrita por Oliveira et al. (2019), a fim de confirmar os agentes causadores de doenças e a eficiência dos tratamentos biológicos aplicados.

Os dados foram coletados de forma sistemática e quantitativa, utilizando observação direta e medições das variáveis mencionadas. A análise estatística dos dados foi realizada utilizando a Análise de Variância (ANOVA) e o teste de Tukey para comparar as médias dos tratamentos, com o auxílio de softwares como R ou SPSS, garantindo a confiabilidade dos resultados obtidos (Lima et al., 2020).

A população estudada foi composta pelas plantas de inhame cultivadas na Fazenda AgroKrauser, e a amostra foi formada por 5 plantas por parcela, totalizando 30 plantas amostradas por tratamento. Esta amostra foi escolhida com base nas recomendações de Lima e Almeida (2019), garantindo uma representatividade adequada dos dados.

A metodologia adotada permitiu avaliar a eficácia dos tratamentos biológicos em controlar as doenças do inhame. A aplicação sistemática dos microrganismos, o monitoramento contínuo das plantas e

a análise estatística dos dados contribuíram para a geração de resultados sobre o potencial dos agentes biológicos como alternativas sustentáveis ao controle de doenças na cultura do inhame.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram organizados em três eixos principais: incidência de doenças durante o ciclo da cultura, produtividade e qualidade dos tubérculos colhi-

dos. A análise estatística foi realizada por meio de ANOVA, seguida pelo teste de Tukey a 5% de significância ( $p < 0,05$ ) para comparação entre os tratamentos.

### INCIDÊNCIA E SEVERIDADE DE DOENÇAS

A incidência de doenças foi monitorada semanalmente, com foco em sintomas fúngicos e bacterianos nas folhas e raízes. A Tabela 1 apresenta a média da severidade das doenças observadas em cada tratamento ao longo do ciclo da cultura.

**Tabela 1.** Média da severidade de doenças nas plantas de inhame submetidas aos tratamentos biológicos.

Tratamento	Severidade média (0-5)
Controle (sem tratamento)	3,8a
Bacillus subtilis	2,1b
Trichoderma harzianum	1,7b
B. subtilis + T. harzianum	1,2b

Letras distintas indicam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Os resultados mostram que todos os tratamentos com agentes biológicos reduziram significativamente a severidade das doenças em comparação com o controle. O tratamento combinado com *Bacillus subtilis* e *Trichoderma harzianum* apresentou os menores índices de severidade, indicando possível ação sinérgica dos microrganismos na supressão de patógenos.

### PRODUTIVIDADE

A Tabela 2 apresenta os dados médios de produtividade, considerando o número de tubérculos por planta e o peso médio por tubérculo.

**Tabela 2.** Produtividade média dos tratamentos aplicados na cultura do inhame.

Tratamento	Nº de Tubérculos/Planta	Peso Médio (g)
Controle (sem tratamento)	3,2a	205a
Bacillus subtilis	4,8b	285b
Trichoderma harzianum	5,1b	297b
B. subtilis + T. harzianum	5,6b	322b

Letras distintas indicam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Os tratamentos biológicos proporcionaram aumento significativo na produtividade da cultura, tanto em número quanto em peso dos tubérculos, com destaque para o tratamento combinado, que apresentou os maiores valores em ambas as variáveis avaliadas.

### QUALIDADE DOS TUBÉRCULOS E DOENÇAS PÓS-COLHEITA

A avaliação visual dos tubérculos colhidos e a análise laboratorial indicaram diferenças relevantes na

qualidade dos produtos entre os tratamentos, especialmente em relação à presença de sintomas de doenças pós-colheita (Tabela 3).

**Tabela 3.** Frequência de tubérculos com sintomas de doenças pós-colheita (%).

Tratamento	Incidência de Doenças Pós-colheita (%)
Controle (sem tratamento)	45a
<i>Bacillus subtilis</i>	21b
<i>Trichoderma harzianum</i>	18b
<i>B. subtilis</i> + <i>T. harzianum</i>	10b

Letras distintas indicam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2025).

O tratamento combinado apresentou a menor incidência de doenças pós-colheita, reforçando seu potencial como alternativa eficiente no manejo sanitário da cultura. Além disso, observou-se melhor aparência visual nos tubérculos provenientes dos tratamentos com agentes biológicos, o que representa um ganho em qualidade comercial do produto final.

A seguir, apresentam-se registros fotográficos do experimento conduzido, incluindo o preparo do solo, o plantio do inhame, a área cultivada e o desenvolvimento das plantas ao longo do ciclo da cultura. As imagens visam ilustrar as condições experimentais, o manejo aplicado e o aspecto visual do cultivo nos diferentes tratamentos e aspectos dos tubérculos colhidos (Figuras 1, 2 e 3).



**Figura 1.** Vista geral da área de cultivo e detalhes do plantio das mudas de inhame no início do experimento.

**Fonte:** Dos Próprios autores (2025).



**Figura 02.** Desenvolvimento das plantas aos 30 dias após o plantio e as condições visuais das plantas submetidas ao tratamento combinado com *Bacillus subtilis* e *Trichoderma harzianum*.

Fonte: Autores (2025).



**Figura 03.** Aspecto dos tubérculos colhidos nos diferentes tratamentos.

Fonte: Autores (2025).

Os resultados confirmam a eficácia dos agentes biológicos *Bacillus subtilis* e *Trichoderma harzianum* no controle de doenças, aumento da produtividade e melhora da qualidade dos tubérculos de inhame. A redução significativa na severidade das doenças e o aumento da produtividade nos tratamentos com os microrganismos corroboram estudos anteriores (Souza et al., 2020; Oliveira et al., 2019), que também observaram melhorias na sanidade vegetal e no desempenho agrônômico da cultura com o uso desses bioinsumos.

A combinação dos dois agentes destacou-se como o tratamento mais eficaz em todos os parâmetros avaliados, o que pode indicar uma interação sinérgica

no controle biológico, uma vez que atuam por mecanismos diferentes – como competição por espaço, produção de metabólitos antimicrobianos e indução de resistência sistêmica na planta.

Houve incremento na produtividade e melhora na qualidade dos tubérculos colhidos nos tratamentos biológicos em comparação ao controle, com menores índices de perdas pós-colheita. Esses resultados foram observados ao longo de um ciclo completo da cultura, conduzido entre os meses de outubro de 2023 e maio de 2024, em condições de clima quente e seco, com temperaturas variando entre 26 °C e 40 °C, em solo arenoso e com histórico de cultivo anterior de milho.

## CONCLUSÃO

A aplicação de agentes biológicos, como *Bacillus subtilis* e *Trichoderma harzianum*, isoladamente ou em combinação, promoveu redução significativa na severidade de doenças na cultura do inhame, com destaque para o tratamento combinado, que apresentou os melhores resultados fitossanitários.

O clima quente e seco e o solo arenoso podem ter favorecido a ação dos agentes biológicos, especialmente do *Trichoderma*, que se adapta bem a ambientes com baixa umidade no solo. O histórico de cultivo anterior com milho também pode ter influenciado a composição microbiana do solo, favorecendo a instalação dos tratamentos.

O uso de bioinsumos é uma alternativa viável e eficaz ao manejo químico convencional, contribuindo para práticas agrícolas mais sustentáveis, especialmente em regiões com condições climáticas adversas, como o Projeto Jaíba. A melhora na sanidade das plantas e no rendimento da produção revela a importância do controle biológico como ferramenta integrada ao manejo da cultura do inhame.

A pesquisa amplia o conhecimento sobre o controle biológico na cultura do inhame em condições edafoclimáticas específicas e indica que estudos futuros devem investigar a estabilidade dos efeitos observados em diferentes tipos de solo, ciclos de cultivo e combinações com práticas agroecológicas. Também se faz necessário avaliar o custo-benefício da adoção desses agentes biológicos em escala comercial e seu impacto em longo prazo sobre a microbiota do solo e a resiliência das plantas.

Os resultados obtidos respondem aos objetivos propostos, ao evidenciar a eficácia dos tratamentos biológicos no controle de doenças, no aumento da produtividade e na melhoria da qualidade dos tubérculos, oferecendo base científica para a adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes.

## REFERÊNCIAS

BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. 5. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2017.

BETTIOL, W.; GHINI, R. **Impacto ambiental de defensivos agrícolas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011.

BETTIOL, W.; GHINI, R. **Manejo biológico de doenças de plantas: avanços e desafios para a agricultura brasileira**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011.

CARVALHO, F. A. A. Controle biológico de doenças em culturas agrícolas. **Revista de ciências agrárias**, v. 22, n. 4, p. 189–197, 2019.

COSTA, L. A. et al. Efeitos de *Trichoderma harzianum* no controle de doenças do inhame. **Revista brasileira de fitopatologia**, v. 41, n. 3, p. 387–395, 2019.

COSTA, N. D. et al. **Doenças do inhame: diagnose e controle**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2012.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050**. Rome: FAO, 2018.

FERRAZ, M. S. et al. Eficácia de *Bacillus subtilis* no controle de doenças fúngicas no cultivo de inhame. **Revista brasileira de fitopatologia**, v. 42, n. 3, p. 353–359, 2019.

HARMAN, G. E. et al. *Trichoderma* species - opportunistic, avirulent plant symbionts. **Nature reviews microbiology**, v. 2, n. 1, p. 43–56, 2004.

LIMA, F. S. et al. Métodos de análise estatística na agricultura. **Revista brasileira de ciências agrárias**, v. 17, n. 2, p. 321–328, 2020.

LIMA, J. P.; ALMEIDA, M. A. O uso de controle biológico em plantas. **Revista brasileira de agroecologia**, v. 18, n. 1, p. 245–251, 2019.

LOPES, A. L. et al. Avaliação da eficácia de *Bacillus subtilis* no controle de doenças em hortaliças. **Revista brasileira de agroecologia**, v. 16, n. 1, p. 45–54, 2021.

LOPES, C. A. et al. **Manejo de doenças em hortaliças tropicais**. Viçosa: UFV, 2021.

MELO, I. S. et al. Impacto de tratamentos biológicos no controle de doenças pós-colheita em culturas de raiz. **Revista brasileira de agroecologia**, v. 16, n. 1, p. 205–214, 2021.

MELO, I. S. et al. **Microrganismos no controle biológico de doenças de plantas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2020.

- MELO, I. S.; FAULLER, R. A. J. Controle biológico de doenças de plantas. In: MELO, I. S.; AZEVEDO, J. L. (org.). **Microbiologia ambiental**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2019. p. 157-176.
- MELO, I. S de; FAULLER, R de A. **Agentes biológicos no controle de doenças de plantas**. Brasília: Embrapa, 2019.
- MICHEREFF, S. J. et al. Métodos de avaliação da severidade de doenças de plantas: importância, elaboração e uso. **Tropical plant pathology**, Brasília, v. 34, n. 5, p. 345–352, 2009.
- MORAES, M. H. D. et al. Atividades antibacterianas de *Bacillus subtilis* e seu potencial no controle biológico. **Revista brasileira de agroecologia**, v. 11, n. 3, p. 79–87, 2016.
- OLIVEIRA, D. B. et al. A eficácia de *Trichoderma harzianum* no controle de doenças pós-colheita do inhame. **Revista de tecnologia agrícola**, v. 21, n. 3, p. 101–109, 2019.
- OLIVEIRA, R. C. et al. Efeito de *Trichoderma harzianum* no controle de *Sclerotium rolfsii* em inhame. **Revista brasileira de agroecologia**, v. 16, n. 1, p. 139–148, 2021.
- OLIVEIRA, R. C. et al. Eficácia do controle biológico com *Bacillus subtilis* no aumento da produtividade do inhame. **Revista brasileira de ciências agrárias**, v. 14, n. 2, p. 97–104, 2019.
- PETERNELLI, L. A. et al. **Delineamentos experimentais em ciências agrárias**. Viçosa: UFV, 2015.
- PITTA, G. V. E. et al. Potencial nutricional e medicinal do inhame (*Dioscorea spp.*): revisão de literatura. **Revista verde**, v. 10, n. 3, p. 247–254, 2015.
- PITTA, M do C. C et al. Doenças do inhame e sua relação com a produção. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v. 10, n. 3, p. 148-155, 2015.
- RESENDE, M. L. V. et al. **Fitopatologia: fundamentos e aplicações**. Lavras: UFLA, 2014.
- SANTOS, G. R. et al. Utilização de mapas e georreferenciamento no manejo de doenças de plantas. **Cadernos de agroecologia**, v. 14, n. 2, p. 1–7, 2019.
- SANTOS, J. T. et al. Avaliação da qualidade de tubérculos de inhame tratados com agentes biológicos. **Cadernos de agroecologia**, v. 10, n. 3, p. 233–240, 2020.
- SCALQUETTE, R. A. **História do direito: Perspectivas histórico-constitucionais da relação entre Estado e religião**. São Paulo: Atlas, 2020.
- SILVA, A. C.; OLIVEIRA, J. S.; FREITAS, A. S. **Sanidade na produção de raízes e tubérculos**. Recife: IPA, 2015.
- SILVA, F. A. et al. Efeito do *Bacillus subtilis* e *Trichoderma harzianum* no controle de patógenos do solo e produtividade do inhame. **Revista brasileira de agricultura sustentável**, v. 13, n. 4, p. 456–465, 2019.
- SILVA, G. A. et al. Ocorrência de doenças em inhame (*Dioscorea spp.*) no semiárido brasileiro e estratégias de manejo. **Revista Brasileira de agropecuária sustentável**, v. 8, n. 2, p. 44–51, 2018.
- SILVA, L. F. et al. Efeito de tratamentos biológicos na sanidade da cultura do inhame em sistemas agroecológicos. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v. 15, n. 3, p. 543–550, 2020.
- SILVA, M. A. et al. Doenças do inhame: diagnóstico e manejo. **Revista brasileira de agropecuária sustentável**, v. 7, n. 2, p. 121-129, 2017.
- SILVA, P. R.; VENTURINI, T. P. Resistência de fungos fitopatogênicos a fungicidas: causas e estratégias de manejo. **Cadernos de agroecologia**, v. 14, n. 1, 2019.
- SOUZA, A. L. et al. Impacto dos agentes biológicos no controle de doenças e qualidade do inhame. **Revista de ciências agrárias**, v. 22, n. 2, p. 89–97, 2020.
- SOUZA, E. P. et al. Avaliação da ação de *Bacillus subtilis* no controle biológico de doenças em cultivos agrícolas. **Revista brasileira de agroecologia**, v. 15, n. 2, p. 233–242, 2020.
- SOUZA, R. L. et al. Produção de inhame no Brasil: aspectos socioeconômicos e técnicos. **Revista de extensão rural**, v. 27, n. 2, p. 59-70, 2020.
- VALE, F. X. R. do et al. Elaboração e validação de escalas diagramáticas para avaliação da severidade de doenças em plantas. **Fitopatologia brasileira**, v. 30, p. 259–268, 2015.
- VIEIRA, R. F. et al. Aplicação de bioprodutos no manejo de doenças em raízes e tubérculos. **Embrapa hortaliças - boletim técnico**, n. 111, Brasília, 2019.
- VIEIRA, S. **Estatística experimental**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2016.