



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE GURUPI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
FLORESTAIS E AMBIENTAIS**

JUSSARA ROCHA DOS SANTOS LUIZ

**INOCULAÇÃO DE *TRICHODERMA SSP. E BACILLUS SUBTILLIS* COMO
PROMOTORES DE CRESCIMENTO EM FAVA TAMBORIL, JATOBÁ E EUCALIPTO**

GURUPI-TO

2025

JUSSARA ROCHA DOS SANTOS LUIZ

**INOCULAÇÃO DE *TRICHODERMA SSP. E BACILLUS SUBTILLIS* COMO
PROMOTORES DE CRESCIMENTO EM FAVA TAMBORIL, JATOBÁ E EUCALIPTO**

Dissertação adequada à linha de pesquisa de inoculação de microrganismos, como requisito para a conclusão do Curso de Mestrado Acadêmico em Ciências Florestais e Ambientais pela Universidade Federal do Tocantins – UFT.

Orientador: Dr. Aloisio Freitas Chagas Junior

GURUPI-TO

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- L953i Luiz, Jussara Rocha dos Santos Luiz.
INOCULAÇÃO DE MICROORGANISMO COMO PROMOTOR DE
CRESCIMENTO EM ESPÉCIES NATIVAS DO CERRADO. / Jussara Rocha
dos Santos Luiz Luiz. – Gurupi, TO, 2024.
38 f.
Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins
– Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em
Ciências Florestais e Ambientais, 2024.
Orientador: Aloisio Freitas Chagas Junior
1. Fungos. 2. Bactérias. 3. Promotor de Crescimento. 4. Mudanças Florestais.
I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizada desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da
UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**


JUSSARA ROCHA DOS SANTOS LUIZ

Inoculação de *Trichoderma ssp. E Bacillus subtilis* como promotores de crescimento em fava tamboril, jatobá e eucalipto.


Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais em 10/10/2025 foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data da aprovação: 10/10/2025


Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 ALOISIO FREITAS CHAGAS JUNIOR
Data: 24/10/2025 11:57:56-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Aloísio Freitas Chagas Junior – Orientador – UFT

Documento assinado digitalmente
 GESSIEL NEWTON SCHEIDT
Data: 28/10/2025 07:49:21-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Gessiel Newton Scheidt – Examinador - UFT

Documento assinado digitalmente
 JOSE FABIO FRANCA ORLANDA
Data: 28/10/2025 09:51:56-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. José Fábio França Orlanda – Examinador – UEMA-SUL

GURUPI-TO

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter permitido que chegasse até aqui, por ser o centro da minha vida em todos os momentos.

Agradeço minha família, em especial aos meus pais, minhas irmãs, e ao meu esposo, Wellington Ribeiro Ramalho Rocha por todo o amor, paciência e apoio incondicional. Sem vocês, esta conquista não seria possível.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Aloisio Freitas Chagas Junior agradeço imensamente pela confiança, paciência e orientação ao longo de toda a pesquisa. Suas discussões e incentivos foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus de Gurupi-TO, e ao Programa de pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais (PPGCFA) por me proporcionarem a oportunidade e o ambiente acadêmico necessário para esta jornada.

Um agradecimento especial à Capes, pelo apoio financeiro concedido por meio da bolsa que foi essencial para a dedicação exclusiva à pesquisa.

Aos meus colegas de laboratório AGROBIO - PPGV pelas discussões produtivas. O apoio mútuo foi um alicerce importante.

Aos professores que compõem a banca examinadora, Prof. Dr. Gessiel Newton Scheidt e Prof. Dr. José Fábio França Orlanda meu sincero agradecimento por aceitarem o convite para a avaliação e por suas valiosas contribuições.

Obrigado a todos, que Deus abençoe!

RESUMO

Este estudo investigou a eficácia da inoculação de microrganismos como promotores de crescimento em espécies nativas do Cerrado, com foco nas espécies *Enterolobium maximum* (Fava-tamboril) e *Hymenaea courbaril* (Jatobá). Para isso, foram utilizados isolados de *Trichoderma* (*T. harzianum*, *T. pinnatum*, *T. virens*, *T. asperelloides* e *T. longibrachiatum*). No caso do *Bacillus subtilis*, bactéria Gram-positiva formadora de esporos, apresenta elevado potencial como promotor de crescimento vegetal em espécies florestais. Sua ação se manifesta pela produção de fitormônios, solubilização de nutrientes, liberação de sideróforos e secreção de metabólitos antimicrobianos, que favorecem o desenvolvimento radicular e aumentam a tolerância das plantas a estresses bióticos e abióticos. Em espécies do Cerrado e comerciais, como o Eucalipto ssp. a inoculação com cepas de *B. subtilis* (como Bs10 e Bs Panta) promoveu incrementos significativos em altura, biomassa e volume radicular, além de maior uniformidade das mudas em viveiro e redução da mortalidade após o transplante. Esses resultados indicam que o uso de Bs10 em programas de reflorestamento representa uma estratégia sustentável, capaz de reduzir a dependência de insumos químicos e otimizar a produção de mudas florestais. Os resultados indicaram que *T. virens* promoveu aumentos significativos em ALT, DC, VR e massas secas no Jatobá, destacando-se no IQD aos 60 e 120 DAE. *T. asperelloides* também teve efeitos positivos, mas inferiores. Esses achados sugerem que diferentes cepas de *Trichoderma* impactam de maneira distinta o crescimento e a qualidade das mudas, ressaltando a importância de selecionar isolados adequados para cada espécie. O aumento da biomassa indica condições de cultivo favoráveis, essenciais para a adaptação das mudas ao ambiente de plantio. Em termos quantitativos, para a Fava-tamboril, os isolados *T. virens* (UFT-57) e *T. asperelloides* (UFT-201) apresentaram desempenho superior ($p < 0,05$) em comparação à testemunha. Aos 60 dias após a emergência, o tratamento com *T. virens* resultou em altura média de 12,63 cm, diâmetro do caule de 8,0 mm e massa seca total de 8,70 g, enquanto a testemunha obteve 6,89 g. Para Jatobá, o isolado *T. virens* destacou-se aos 120 dias, com altura média de 93,7 cm, volume radicular de 12,8 mL, massa seca da raiz de 6,11 g, massa seca da parte aérea de 9,13 g e massa seca total de 15,2 g, contra 11,1 g da testemunha. O IQD variou entre 0,18 e 0,22, e a relação altura/diâmetro (RAD) atingiu 32,4, indicando maior vigor e equilíbrio morfológico das mudas. Em média, *T. virens* promoveu incrementos de até 36% na biomassa total e 25% no volume radicular em relação ao controle. Desse modo, a inoculação com *Trichoderma*, especialmente *T. virens*, melhora significativamente o crescimento, o vigor e a qualidade de mudas de Fava-tamboril e Jatobá. A aplicação desses microrganismos como bioestimulantes representa uma alternativa sustentável e eficaz para a produção de espécies nativas do Cerrado, contribuindo para o reflorestamento e a recuperação de áreas degradadas, com maior eficiência fisiológica e potencial de adaptação das mudas ao campo.

Palavras-chaves: Fungo, Promotor de crescimento, Fava-Tamboril, Jatobá.

ABSTRACT

This study investigated the effectiveness of microorganism inoculation as growth promoters in native Cerrado species, focusing on *Enterolobium maximum* (Fava-tamboril) and *Hymenaea courbaril* (Jatobá). To this end, isolates of *Trichoderma* (*T. harzianum*, *T. pinnatum*, *T. virens*, *T. asperelloides*, and *T. longibrachiatum*) were used. In the case of *Bacillus subtilis*, a Gram-positive, spore-forming bacterium, it shows great potential as a plant growth promoter in forest species. Its action is manifested through the production of phytohormones, nutrient solubilization, siderophore release, and secretion of antimicrobial metabolites, which favor root development and increase plant tolerance to biotic and abiotic stresses. In Cerrado and commercial species such as *Eucalyptus* spp., inoculation with *B. subtilis* strains (such as Bs10 and Bs Panta) has promoted significant increases in height, biomass, and root volume, in addition to greater uniformity of seedlings in nurseries and reduced mortality after transplantation. These results indicate that the use of Bs10 in reforestation programs represents a sustainable strategy capable of reducing dependence on chemical inputs and optimizing forest seedling production. The results showed that *T. virens* significantly increased height (ALT), stem diameter (DC), root volume (VR), and dry mass in Jatobá, standing out in the Dickson Quality Index (DQI) at 60 and 120 days after emergence (DAE). *T. asperelloides* also had positive but less pronounced effects. These findings suggest that different *Trichoderma* strains affect seedling growth and quality in distinct ways, highlighting the importance of selecting appropriate isolates for each species. The increase in biomass indicates favorable growing conditions, essential for seedling adaptation to the planting environment. Quantitatively, for Fava-tamboril, the isolates *T. virens* (UFT-57) and *T. asperelloides* (UFT-201) showed superior performance ($p < 0.05$) compared to the control. Sixty days after emergence, treatment with *T. virens* resulted in an average height of 12.63 cm, stem diameter of 8.0 mm, and total dry mass of 8.70 g, while the control obtained 6.89 g. For Jatobá, *T. virens* stood out at 120 days, with an average height of 93.7 cm, root volume of 12.8 mL, root dry mass of 6.11 g, shoot dry mass of 9.13 g, and total dry mass of 15.2 g, compared to 11.1 g in the control. The DQI ranged between 0.18 and 0.22, and the height/diameter ratio (HDR) reached 32.4, indicating greater vigor and morphological balance of the seedlings. On average, *T. virens* promoted increases of up to 36% in total biomass and 25% in root volume compared to the control. Thus, inoculation with *Trichoderma*, especially *T. virens*, significantly improves the growth, vigor, and quality of Fava-tamboril and Jatobá seedlings. The application of these microorganisms as bio-stimulants represents a sustainable and effective alternative for the production of native Cerrado species, contributing to reforestation and the recovery of degraded areas, with greater physiological efficiency and adaptation potential of seedlings in the field.

Keywords: Fungus, Plant growth promoter, *Enterolobium maximum*, *Hymenaea courbaril*.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1-** Micrografias de espécies de *Trichoderma*. À ESQUERDA, hifas e conídios em detalhe sob coloração azul; à direita, crescimento micelial denso observado em meio de cultura.....20
- Figura 2 –** Crescimento de colônias de *Bacillus subtilis* em placas de Petri.....22
- Figura 3-** Mudanças de Fava-tamboril (*Enterolobium maximum*) cultivadas em substrato inoculado com *Trichoderma*. A, testemunha sem inoculação; B, UFT-57; C, UFT-25, UFT-37; UFT-204; e UFT-201, aos 60 dias após a emergência.....38
- Figura 4-** Mudanças de Jatobá (*Hymenaea courbaril*), cultivadas em substrato inoculado com *Trichoderma*. A, testemunha sem inoculação; B, UFT-25; C, UFT-201; D, UFT-57; UFT-37; e UFT-204, aos 120 dias após a emergência.....39
- Figura 5-** Mudanças de Tamboril (*Hymenaea courbaril*) com e sem inoculação com *Bacillus subtilis* Bs10.....59
- Figura 6 -** Mudanças de Jatobá (*Hymenaea courbaril*) com e sem inoculação com *Bacillus subtilis* Bs10 e Bs Panta.....61
- Figura 7-** Mudanças de Eucalipto com e sem inoculação com *Bacillus subtilis* Bs10 e Bs Panta.....65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Códigos de acesso no GenBank para os isolados de <i>Trichoderma</i> (Região TEF– Translation Elongation Factor) utilizados neste estudo	34
Tabela 2- Altura (ALT), diâmetro do caule (DC), centímetro da raiz (CmR), volume radicular (VR), massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca total (MST) de mudas de Fava-tamboril (<i>Enterolobium maximum</i>), inoculadas com <i>Trichoderma</i> , aos 30 e 60 dias após a emergência.....	37
Tabela 3- Relação Altura-Diâmetro (RAD), Índice de Qualidade de Dickson (IQD) e Relação parte seca da parte aérea e parte seca da raiz (RPAR)) de mudas de Fava-tamboril (<i>Enterolobium maximum</i>) cultivadas em substrato, aos 30 e 60 dias após a emergência, inoculadas com <i>Trichoderma</i>	37
Tabela 4- Altura (ALT), diâmetro do caule (DC), centímetro da raiz (CmR), volume radicular (VR), massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca total (MST) de mudas de Jatobá (<i>Hymenaea courbaril</i>), inoculadas com <i>Trichoderma</i> , aos 60 e 120 dias após a emergência.....	39
Tabela 5- Relação altura-diâmetro (RAD), Índice de Qualidade de Dickson (IQD), Relação parte seca da parte aérea e parte seca da raiz (RPAR) de mudas de Jatobá (<i>Hymenaea courbaril</i>), cultivadas em substrato, aos 60 e 120 dias após a emergência inoculado com <i>Trichoderma</i>	40
Tabela 6- Altura de plantas, diâmetro da raiz, comprimento da raiz e volume da Raiz de Fava-Tamboril (<i>Enterolobium maximum</i>) inoculadas com <i>bacillus subtilis</i> Bs10.....	56
Tabela 7- Taxa de massa de fluxo de raiz, taxa de fluxo fundida, massa seca da raiz, massa seca da parte aérea e massa seca total de Fava-Tamboril (<i>Enterolobium maximum</i>) inoculadas com <i>bacillus subtilis</i> Bs10.....	58
Tabela 8- Altura de plantas , diâmetro da raiz, comprimento da raiz e volume da raiz de jatobá (<i>Hymenaea courbaril</i>) inoculadas com <i>bacillus subtilis</i> Bs10.....	60
Tabela 9- Taxa de massa de fluxo de raiz, taxa de fluxo fundida, massa seca da raiz, massa seca da parte aérea e massa seca total de <i>Hymenaea courbaril</i> inoculadas com <i>bacillus subtilis</i> Bs10.....	62
Tabela 10- Altura de plantas, diâmetro da raiz, comprimento da raiz e volume da raiz de Eucalipto (<i>Eucaliptus citriodora</i>) inoculadas com <i>bacillus subtilis</i> Bs10 e	

BsPanta.....64

Tabela 11 –Taxa de massa de fluxo de raiz, taxa de fluxo fundida, massa seca da raiz, massa seca da parte aérea e massa seca total de Eucalipto (*Eucalyptus citriodora*) inoculadas com *bacillus subtilis* Bs10e Bs Panta.....65

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	13
2 OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo geral:.....	15
2.2 Objetivo específico.....	15
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
3.1 Caracterização das mudas de Fava Tamboril, Jatobá e Eucalipto inoculadas por <i>Trichoderma</i> e <i>Bacillus Subtilis</i>	16
3.2 Gênero <i>Trichoderma ssp</i>	20
3.3 <i>Bacillus subtilis</i>	21
3.4 Solubilização de fosfato por <i>Trichoderma</i>	23
3.5 Síntese de AIA por <i>Trichoderma</i>	24
3.6 Problemática das mudas de Fava Tamboril, Jatobá e Eucalipto durante no pré e pós-inoculação com <i>Trichoderma ssp.</i> e <i>Bacillus subtilis</i>	
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27
5 CAPÍTULO I: EFICIÊNCIA DE TRICHODERMA COMO PROMOTOR DE CRESCIMENTO EM TAMBORIL E JATOBÁ.....	30
RESUMO.....	30
ABSTRACT.....	31
6 INTRODUÇÃO	32
7 MATERIAL E MÉTODOS.....	34
8 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
8.1 Experimento 1 – Fava-tamboril	37
8.2 Experimento 2 – Jatobá.....	38
9 CONCLUSÃO	44
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
11 CAPÍTULO II: BACILLUS SUBTILIS COMO PROMOTOR DE CRESCIMENTO EM ESPECIES FLORESTAIS NATIVAS DO CERRADO	49
RESUMO.....	49
ABSTRACT.....	50
12 INTRODUÇÃO	51
13 MATERIAL E MÉTODOS.....	53
13.1 Local do Experimento	53
13.2 Identificação e Características	53
13.3 Inoculação.....	53

13.4 Avaliações e Análise	54
14 RESULTADOS	56
14.1 Experimento 1. Fava Tamboril – <i>Enterolobium Maximum</i> (30 e 60 dias)	56
14.2 Experimento 2 – Jatobá – <i>Hymenaea Courbaril</i> (60 e 120 dias).....	60
14.3 Experimento 3 – Eucalipto – <i>Eucaliptus Citriodora</i> (30 e 60 dias).....	63
15 DISCUSSÃO	68
16 CONCLUSÕES.....	70
17 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

1 INTRODUÇÃO GERAL

Inicialmente, o Cerrado, um bioma crucial para a biodiversidade e sustentabilidade ambiental do Brasil apresenta desafios significativos para a produção de mudas florestais devido às suas condições de solo e clima. Com solos de baixa fertilidade e clima caracterizado por períodos de seca prolongada, a adaptação das plantas ao ambiente de plantio requer estratégias eficientes e inovadoras. Neste ínterim, o uso de microrganismos benéficos, como os fungos do gênero *Trichoderma* e Bactérias *Bacillus subtilis*, tem sido uma abordagem crescente na silvicultura, especialmente para promover o crescimento de mudas em condições adversas (Oliveira, 2023).

No entanto, as constantes pressões antrópicas, como o avanço da agropecuária, o desmatamento e as queimadas, têm provocado degradação significativa de seus ecossistemas, comprometendo a regeneração natural das espécies nativas. Nesse cenário, a produção e o plantio de mudas florestais adaptadas às condições do bioma tornam-se essenciais para estratégias de restauração ecológica. Contudo, as características edáficas do Cerrado, notadamente os solos ácidos, de baixa disponibilidade de nutrientes e com alto teor de alumínio representam um desafio à sobrevivência e ao desenvolvimento inicial das plantas, especialmente durante os estágios de viveiro e pós-plantio (José, 2023).

A busca por alternativas sustentáveis para superar essas limitações tem direcionado a atenção científica ao uso de microrganismos benéficos. Dentre esses, os fungos do gênero *Trichoderma* e as bactérias *Bacillus subtilis* destacam-se pela sua versatilidade ecológica e pelos múltiplos mecanismos de ação, que incluem a solubilização de nutrientes, a produção de fitormônios e enzimas, a indução de resistência sistêmica nas plantas e a competição com patógenos do solo. Algumas pesquisas recentes evidenciam que o uso desses microrganismos pode incrementar o vigor das mudas, acelerar o crescimento radicular e melhorar a sobrevivência das espécies nativas sob condições adversas, tornando-se ferramentas promissoras de crescimento (Oliveira, 2023).

Esses microrganismos são conhecidos por melhorar a absorção de nutrientes pelas plantas, aumentar a resistência a patógenos do solo e promover o crescimento radicular. Neste estudo, a pesquisa focou na inoculação de cinco isolados de *Trichoderma* em duas espécies nativas do Cerrado, *Enterolobium maximum* (Fava-tamboril) e *Hymenaea courbaril* (Jatobá), para avaliar o impacto desses fungos no desenvolvimento das mudas. A importância de estudar o uso de microrganismos nativos do Cerrado reside no fato de que eles podem promover o crescimento das plantas de forma sustentável, sem o uso de produtos químicos, contribuindo

para a recuperação de áreas degradadas e a restauração do bioma.

A utilização de *Trichoderma* como bioestimulante não só melhora o crescimento das plantas, mas também se alinha aos princípios de agricultura sustentável, ao reduzir a dependência de fertilizantes e agrotóxicos. Logo, este estudo teve como objetivo avaliar quais cepas de *Trichoderma* são mais eficazes na promoção do crescimento de mudas de Fava-tamboril e Jatobá, além de fornecer dados relevantes sobre a seleção de isolados que podem ser utilizados de forma mais eficiente em viveiros e reflorestamentos. A pesquisa também procurou comparar os efeitos desses isolados nas plantas, verificando se a inoculação pode resultar em um aumento na resistência das mudas a estresses bióticos e abióticos, comuns em solos do Cerrado.

2 OBJETIVOS

2.1. Geral

Avaliar a eficiência dos inoculantes de *Trichoderma ssp.* e *Bacillus subtilis* como promotores de crescimento vegetal em Fava Tamboril, Jatobá e Eucalipto.

2.2. Específicos

O presente trabalho é apresentado em dois capítulos com os respectivos objetivos:

Capítulo I: Avaliar a eficiência de *Trichoderma* como promotor de crescimento em espécies nativas do cerrado;

Capítulo II: Avaliar o *Bacillus subtilis* como promotor de crescimento em espécies nativas do cerrado;

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Caracterização das mudas de Fava Tamboril, Jatobá e Eucalipto inoculadas por *Trichodermas e Bacillus Subtilis*

A utilização de espécies nativas do Cerrado para reflorestamento e recuperação de áreas degradadas é uma estratégia importante para a conservação ambiental e a restauração de ecossistemas. O destaque para o crescimento rápido dessas plantas é essencial, pois acelera a recuperação das áreas, proporcionando sombra e melhorando as condições do solo (Meireles, 2021). Neste contexto, Chagas-Júnior et al., (2024) descrevem que a introdução do fungo *Trichoderma* spp. como um promotor de crescimento representa uma abordagem inovadora e promissora para a formação de mudas de espécies florestais.

Este fungo, amplamente reconhecido por suas propriedades benéficas em várias culturas agrícolas, pode contribuir significativamente para o crescimento acelerado de mudas, além de proporcionar um controle biológico eficaz contra pragas e insetos, oferecendo uma alternativa sustentável aos métodos tradicionais de manejo florestal (Vigna, 2023). Logo, a Fava-Tamboril (*Enterolobium maximum*), uma árvore notável da família Fabaceae, especificamente da subfamília Mimosoideae, destaca-se não apenas pela sua utilidade, mas também pela sua ampla distribuição geográfica no Brasil.

Conhecida por diversos nomes populares, como timbaúva e orelha-de-macaco, essa espécie se adapta bem a diferentes formações florestais (Ribeiro et al. (2023). Sua presença em diferentes biomas no Brasil evidencia a importância ecológica e econômica que pode ser utilizado em projetos de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas, além de fornecer sombra e habitat para diversas espécies. A versatilidade do tamboril, aliada à sua resistência e capacidade de se estabelecer em diversas condições ambientais, faz dela uma escolha valiosa para iniciativas de sustentabilidade e conservação.

O Jatobá (*Hymenaea courbaril*) é uma espécie pertencente à família Fabaceae, que é a mesma família das leguminosas. Essa árvore é conhecida por sua madeira de alta qualidade e por produzir frutos que são utilizados na alimentação e na medicina tradicional em várias regiões da América Latina, de grande importância ecológica e econômica, reconhecida por suas propriedades medicinais e pelo valor de sua madeira. Além disso, os autores enfatizam a necessidade de preservação desse recurso natural, considerando seu papel fundamental na manutenção da biodiversidade e na sustentabilidade das práticas culturais locais (Silva et al., 2023).

Camilo et al., (2020) apresentam que o Jatobá é uma árvore nativa das florestas tropicais da América do Sul e Central. Ele pode ser encontrado em diversos países, incluindo Brasil,

Argentina, Paraguai, Peru e Colômbia. No Brasil, o jatobá é comum em regiões como a Amazônia, o Cerrado e a Mata Atlântica. A árvore é conhecida por sua madeira dura e resistente, além de seus frutos, que são consumidos tanto por humanos quanto por animais.

Segundo Almeida (2024), a adoção de métodos que incentivem o crescimento de plantas nativas, como a inoculação de microrganismos benéficos, representa uma abordagem inovadora e sustentável. Os fungos do gênero *Trichoderma*, por exemplo, são reconhecidos por suas propriedades promotoras de crescimento. Além de estarem amplamente distribuídos em diferentes tipos de solo, esses fungos desempenham um papel crucial na decomposição de resíduos orgânicos e na disponibilização de nutrientes, o que é fundamental para a saúde e o desenvolvimento das plantas.

Em razão disso, é importante mencionar que investir em tecnologias de baixo custo que integrem práticas de manejo sustentável, como a inoculação de *Trichoderma*, pode resultar em uma produção de mudas florestais mais eficiente e com menor impacto ambiental. Essa abordagem não só favorece a recuperação de áreas degradadas, mas também promove a biodiversidade, contribuindo para a saúde de ecossistemas e para o bem-estar humano e animal (Caldeira et al., 2013).

Tavares (2023) destaca que a combinação de técnicas tradicionais de reflorestamento com inovações biológicas, como o uso de fungos benéficos, tem o potencial de revolucionar a forma como restauramos nossos ambientes naturais, promovendo um desenvolvimento mais equilibrado e sustentável. A pesquisa contínua nessa área é fundamental para aprimorar essas práticas e garantir resultados positivos a longo prazo.

A utilização do fungo *Trichoderma* como promotor de crescimento apresenta uma série de benefícios que vão muito além do simples aumento na produtividade das culturas. Desde a fase de germinação até os primeiros anos de desenvolvimento no campo, sua aplicação se mostra eficaz em diversos métodos, como inoculação nas sementes, adição a substratos e até mesmo por meio de sistemas de irrigação. Essa versatilidade permite que as plantas tenham uma proteção robusta contra patógenos, contribuindo para um desenvolvimento mais saudável e sustentável (Lucon, 2017; Ribeiro et al., 2023).

Além do aspecto fitossanitário, a adoção do *Trichoderma* nas práticas agrícolas demonstra um impacto significativo na redução de custos. Ao minimizar a dependência de agrotóxicos e outros insumos, os agricultores não apenas economizam recursos, mas também colaboram para a preservação do meio ambiente. Essa redução na utilização de produtos químicos é uma resposta direta às crescentes preocupações ambientais e à busca por práticas de cultivo mais sustentáveis (Chagas et al., 2024).

De modo geral, em um contexto global onde a sustentabilidade é cada vez mais valorizada, o uso de *Trichoderma* pode ser um diferencial competitivo para o mercado de floresta plantada. A demanda por tecnologias limpas que aumentem a qualidade das mudas e reduzam o tempo de produção em viveiros é uma realidade que não pode ser ignorada. A inoculação com *Trichoderma* não só promove um crescimento mais rápido e saudável das plantas nativas, mas também se alinha às expectativas de um mercado que busca cada vez mais soluções sustentáveis e eficientes (Dias, 2023).

Os resultados observados em concordância com os achados de Chagas-Júnior et al., (2019) podem ser compreendidos à luz das interações benéficas entre os fungos do gênero *Trichoderma* e as raízes das plantas. Ao colonizarem as raízes, tanto *T. asperelloides* quanto *T. virens* não apenas promovem o desenvolvimento da parte aérea e radicular das plantas, mas também desempenham papéis cruciais na nutrição e proteção das mesmas. A capacidade desses fungos de solubilizar fósforo e produzir sideróforos é fundamental, uma vez que o fósforo é um nutriente essencial para o crescimento vegetal, atuando em processos como a fotossíntese e transferência de energia (Peres, 2022).

Além disso, Hoyos-Carvajal et al. (2009) destacam que a simbiose entre *Trichoderma* e as raízes resulta na secreção de metabólitos secundários, que são importantes na defesa da planta contra patógenos, aumentando sua resistência e, conseqüentemente, sua produtividade. Estudos indicam que esses fungos podem sintetizar auxinas, fitormônios que desempenham papéis vitais na regulação do crescimento vegetal, promovendo o alongamento do caule, a formação de raízes laterais e influenciando a dominância apical.

Essa interação simbiótica, portanto, não só melhora a absorção de nutrientes, mas também regula processos de desenvolvimento importantes para a saúde e vigor das plantas, conforme evidenciado por diversas pesquisas (Chagas-Júnior et al., 2019; Chagas-Júnior et al., 2021; Chagas-Júnior et al., 2024). Dessa forma, a atuação dos fungos *Trichoderma* pode ser vista como uma estratégia sustentável para otimizar o crescimento das plantas em sistemas agrícolas.

A inoculação de *Trichoderma* em substratos para mudas florestais tem se mostrado uma prática eficaz na promoção do crescimento e qualidade das plantas. Conforme relatado por Ribeiro et al. (2023), a utilização de inóculo de *Trichoderma* em substrato para mudas de espécies como Paricá (*Shizolobium amazonicum*), Fava-tamboril (*Entererolobium maximun*) e Amarelão (*Apuleia leiocarpa*). resultou em melhores índices de qualidade após 60 dias de semeadura. Esse efeito positivo pode ser atribuído à produção de auxinas e giberelinas pela espécie, que são hormônios importantes no processo de germinação e crescimento das plantas.

Alguns trabalhos adicionais, como o de Chagas-Júnior et al. (2024), corroboraram esses achados, demonstrando resultados semelhantes em mudas de eucalipto, avaliadas a partir dos 25 dias de semeadura. Esses estudos evidenciam a importância da inoculação de *Trichoderma* como uma estratégia promissora para a melhoria da qualidade de mudas florestais, contribuindo para o desenvolvimento sustentável da reflorestação e manejo florestal.

Os estudos mencionados destacam a relevância da inoculação de *Trichoderma* como uma abordagem inovadora para a melhoria das mudas florestais, fundamental para práticas de reflorestação e manejo florestal sustentáveis. A utilização de *Trichoderma* demonstrou efeitos positivos no crescimento de mudas de espécies como a *Hancornia speciosa*, conforme apontado por Souza (2024).

O aumento da massa seca observado pode ser atribuído à melhoria na absorção de nutrientes, especialmente nitrogênio, que é crucial para a formação de biomassa vegetal, conforme discutido por Chagas-Júnior et al. (2021). Essa maior eficiência na nutrição das plantas não só favorece o crescimento saudável das mudas, mas também contribui para a resiliência do ecossistema florestal.

No caso do *Bacillus subtilis* (Bs10) como promotor de crescimento em espécies do Cerrado, tem se mostrando por diferentes ferramentas, auxiliar no estabelecimento vegetal nos mais variados ambientes. Esta bactéria é pertencente a classe Bacilli, do filo Firmicutes. Elas são classificadas como gram positivas, possuindo célula na forma de bastonetes e são capazes de produzir endósporo a partir de ferramentas desencadeadas por fatores bióticos ou abióticos como são as altas temperaturas (Lima et al., 2024).

No caso do feijoeiro, embora não seja nativo do Cerrado, experimentos demonstraram que o Bs10 potencializa a formação de nódulos e aumenta a biomassa vegetal. Tais dados reforçam o papel do microrganismo em interações simbióticas e podem ser extrapolados para leguminosas nativas do Cerrado utilizadas na recuperação de áreas degradadas. A aplicação deste microrganismo em viveiros de mudas florestais do Cerrado também apresenta bons resultados. Em condições de viveiro, o uso do microrganismo promove um sistema radicular mais robusto, maior uniformidade entre as mudas e redução na mortalidade após o transplante para o campo (Silva et al., 2021).

Por fim, o tratamento de mudas de eucalipto com a cepa *Bacillus subtilis* BS10 tem se mostrado uma estratégia eficaz para promover o crescimento vegetal e aumentar a resistência a estresses bióticos e abióticos. Estudos indicam que a inoculação com Bs10 estimula o desenvolvimento radicular, melhora a absorção de nutrientes e potencializa a tolerância das plantas a patógenos do solo, reduzindo a necessidade de defensivos químicos. Além disso, a

ação dessa bactéria na indução de resistência sistêmica contribui para o fortalecimento da planta contra doenças, promovendo um cultivo mais sustentável (Silva, 2022).

No caso do Jatobá, os incrementos foram mais evidentes a partir de 60 dias, especialmente em massa seca da parte aérea, indicando um efeito cumulativo do inoculante no ciclo vegetativo. Em relação à Fava-Tamboril, a cepa Bs Panta promoveu ganhos mais expressivos em diâmetro do coleto e altura das plântulas, enquanto o isolado Bs10 destacou-se pelo maior volume radicular, aspecto essencial para absorção hídrica e sobrevivência em ambientes com baixa disponibilidade de água.

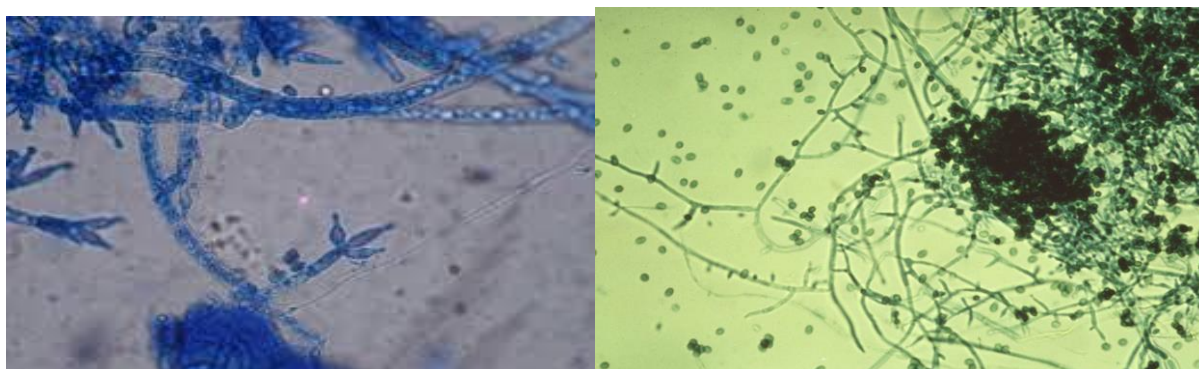
Em suma, no caso da inoculação do *Eucalyptus citriodora*, Oliveira-Luciano et al. (2023) associam a ação do *Bacillus subtilis* à maior densidade e eficiência fisiológica do sistema radicular, refletindo-se em aumento expressivo da massa total da planta. Essas evidências confirmam a viabilidade do uso de inoculantes microbianos no cultivo de espécies florestais nativas e comerciais.

3.2 Gênero *Trichoderma* – aspectos gerais

O gênero *Trichoderma* compreende fungos filamentosos amplamente distribuídos no solo e rizosfera, conhecidos por sua capacidade de promover o crescimento de plantas e agir como agentes de biocontrole. Segundo Hoyos-Carvajal, Orduz e Bjørnlund (2009), espécies de *Trichoderma* são capazes de colonizar as raízes das plantas, produzir enzimas líticas e metabólitos secundários com atividade antimicrobiana, além de competir eficientemente por espaço e nutrientes, suprimindo patógenos do solo.

Neste contexto, espécies do gênero *Trichoderma* podem ser observadas em detalhes microscópicos, evidenciando sua morfologia filamentosa e a formação de estruturas de propagação (Figura 1):

Figura 1 - Micrografias de espécies de trichoderma. À esquerda, hifas e conídios em detalhe sob coloração azul; à direita, crescimento micelial denso observado em meio de cultura



Fonte: Google Imagens

Chagas Junior et al. (2021) destacam que isolados de *Trichoderma* são capazes de estimular o desenvolvimento radicular, aumentar a absorção de nutrientes e induzir resistência a estresses bióticos e abióticos, sendo, portanto, aliados na produção sustentável de mudas florestais. Além disso, diferentes espécies como *T. asperellum*, *T. harzianum* e *T. virens* têm sido testadas com sucesso para diversas culturas florestais, comprovando a versatilidade do gênero no manejo biológico.

Além de sua atuação como agente promotor de crescimento vegetal, o *Trichoderma* também se destaca pela sua plasticidade ecológica, permitindo-lhe sobreviver e multiplicar-se em uma ampla variedade de ambientes. Essa adaptabilidade está relacionada à sua capacidade de utilizar diferentes fontes de carbono e à produção de compostos que favorecem a colonização da rizosfera. Para Azevedo et al., (2017), esse tipo de fungo estabelece relações simbióticas benéficas com as plantas, estimulando a germinação de sementes, o alongamento radicular e o vigor das plântulas. Esse processo é frequentemente mediado pela produção de fitohormônios, como o ácido indolacético (AIA), e pela melhoria da disponibilidade de nutrientes no solo.

Outro aspecto relevante é o potencial de biocontrole apresentado por espécies do gênero *Trichoderma*. Elas atuam contra uma ampla gama de fitopatógenos, incluindo fungos como *Fusarium spp.*, *Rhizoctonia solani* e *Sclerotium rolfsii*. O mecanismo de ação envolve micoparasitismo, antibiose e competição por nutrientes e espaço (Kraemer, 2022). Durante o micoparasitismo, o *Trichoderma* reconhece e adere ao micélio do patógeno, enrolando-se ao seu redor e secretando enzimas como quitinases e glucanases, que degradam a parede celular do fungo alvo. Essa ação enzimática, associada à produção de metabólitos voláteis e não voláteis, reduz significativamente a incidência de doenças em mudas e plantas adultas.

Por fim, além disso, pesquisas em biotecnologia têm explorado o potencial genético e metabólico do gênero *Trichoderma* para a produção de enzimas industriais, como celulases, xilanases e proteases (Francisco, 2016). Essas enzimas têm aplicação em setores como o de biocombustíveis, papel e celulose, e alimentos. A diversidade genética entre as espécies permite a seleção de linhagens mais adaptadas a diferentes condições ambientais e sistemas produtivos. Essa variabilidade é um dos fatores que explicam o sucesso do *Trichoderma* como bioinoculante em programas de reflorestamento e agricultura sustentável.

3.3 *Bacillus subtilis*

O *Bacillus subtilis* é uma bactéria Gram-positiva formadora de esporos, reconhecida por sua robustez e capacidade de colonizar a rizosfera, promovendo o crescimento vegetal por

diversos mecanismos fisiológicos. Chagas et al. (2017) relatam que *B. subtilis* atua positivamente no incremento da biomassa de espécies como soja, milho, arroz e feijão-caupi por meio da produção de fitormônios, como o ácido indolacético (AIA), solubilização de nutrientes e ação antifúngica.

Como observado na Figura 2, as colônias de *Bacillus subtilis* apresentam variações morfológicas características da espécie. Mediante a imagem, faz-se possível identificar diferentes padrões de colônias formadas por *Bacillus subtilis**, resultado da produção de esporos e metabólitos.

Figura 2 – Crescimento de colônias de *Bacillus subtilis* em placas de Petri.



Fonte: Google Imagens

Morais (2021) enfatiza ainda que algumas cepas produzem metabólitos secundários com atividade antimicrobiana e antifúngica, o que reforça sua ação protetora contra fitopatógenos do solo. Já Melo e Alves (2020) complementam que *B. subtilis* contribui significativamente para a nutrição vegetal ao liberar sideróforos que quelam ferro, tornando-o mais disponível para as plantas, especialmente em solos de baixa fertilidade como os do Cerrado.

Além dessas propriedades, o *Bacillus subtilis* destaca-se por sua capacidade de formar biofilmes na superfície das raízes, o que favorece uma interação mais estável e duradoura com as plantas hospedeiras. Esses biofilmes consistem em agregados celulares envolvidos por uma matriz extracelular que protege as bactérias contra condições adversas e facilita a troca de nutrientes (Rudrappa et al., 2008). Essa característica confere ao *B. subtilis* uma elevada eficiência na colonização da rizosfera, promovendo benefícios contínuos às plantas, como o aumento da tolerância a estresses ambientais, incluindo déficit hídrico e salinidade.

Outro aspecto importante é a produção de compostos voláteis orgânicos (VOCs), como acetoinas e 2,3-butanodiol, que têm efeito direto no crescimento vegetal (Kloepper et al., 2004).

Esses compostos estimulam a fotossíntese, o desenvolvimento radicular e a absorção de nutrientes, além de atuarem na sinalização de resistência sistêmica induzida (RSI), mecanismo no qual a planta ativa suas próprias defesas antes mesmo do ataque de patógenos. Essa capacidade de induzir respostas fisiológicas e bioquímicas em plantas tem ampliado o uso do *B. subtilis* em bioprodutos comerciais destinados à agricultura sustentável.

Do ponto de vista ecológico, o *B. subtilis* apresenta alta adaptabilidade a diferentes tipos de solo, inclusive os ácidos e pobres em matéria orgânica típicos do Cerrado. Sua presença contribui para o equilíbrio da microbiota rizosférica, inibindo o desenvolvimento de microrganismos patogênicos e favorecendo a atividade de outros benéficos, como fungos micorrízicos arbusculares (Lima; Pinto; Silva, 2023). Além disso, sua capacidade de esporulação permite que a bactéria resista a períodos de seca e altas temperaturas, mantendo sua viabilidade por longos períodos, o que é uma vantagem significativa em ambientes tropicais.

Por fim, o uso de isolados nativos de *Bacillus subtilis* tem se mostrado estratégico em projetos de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas, especialmente no bioma Cerrado, onde as condições edafoclimáticas impõem grandes desafios à sobrevivência e ao crescimento das plantas (Santos, 2024). Assim, a inoculação com *B. subtilis* em espécies nativas como *Enterolobium maximum* (Fava-tamboril) e *Hymenaea courbaril* (Jatobá) tem demonstrado aumento na taxa de sobrevivência das mudas, crescimento radicular mais vigoroso e maior acúmulo de biomassa. Esses resultados reforçam que o *B. subtilis* é um microrganismo promissor na promoção do crescimento vegetal e na restauração ecológica de ecossistemas tropicais.

3.4 Solubilização de fosfato por *Trichoderma*

A solubilização de fosfatos é considerada um dos principais mecanismos de promoção de crescimento vegetal exercidos por espécies do gênero *Trichoderma*. Peres (2022) destaca que o fungo é capaz de liberar ácidos orgânicos de baixo peso molecular, como ácido cítrico, oxálico, fumárico e glucônico, os quais reduzem o pH do meio e promovem a solubilização de compostos de fósforo insolúveis. Essa liberação aumenta a disponibilidade desse nutriente essencial às plantas, favorecendo processos metabólicos fundamentais, como a formação e expansão radicular, o florescimento, a frutificação e a fotossíntese.

Segundo Chauhan et al., (2010), o fósforo é um dos nutrientes mais limitantes em solos tropicais, devido à sua forte ligação com íons de ferro e alumínio, o que o torna pouco disponível para as plantas. Nesse contexto, o *Trichoderma* atua como um micro-organismo solubilizador

de fosfatos (MSP), convertendo compostos inorgânicos insolúveis, como fosfato tricálcico e fosfato de ferro, em formas assimiláveis. Além disso, a liberação de enzimas fosfatases contribui para a mineralização do fósforo orgânico presente no solo ou nos resíduos vegetais, otimizando o aproveitamento desse nutriente.

Outro mecanismo importante associado à atuação de *Trichoderma* é a produção de sideróforos, compostos quelantes que se ligam a metais como ferro e zinco, aumentando a disponibilidade desses micronutrientes para as plantas (Nascimento et al., 2022). Essa interação contribui não apenas para o crescimento vegetal, mas também para a resistência a patógenos, uma vez que o ferro é um elemento essencial ao metabolismo microbiano, e sua competição no ambiente da rizosfera limita o desenvolvimento de microrganismos nocivos.

Pesquisas recentes evidenciam que o uso de isolados de *Trichoderma harzianum* e *T. asperellum* em culturas de espécies nativas e agrícolas aumenta significativamente o conteúdo foliar de fósforo e o crescimento da biomassa total (França et al., 2017). Esses resultados reforçam o potencial do *Trichoderma* como agente biofertilizante, especialmente em solos de baixa fertilidade natural, como os do Cerrado. Assim, a aplicação de isolados eficientes de *Trichoderma* representa uma estratégia sustentável para reduzir o uso de fertilizantes fosfatados químicos, contribuindo para a agricultura de baixo impacto ambiental e para programas de recuperação de áreas degradadas.

3.5 Síntese de AIA por *Trichoderma*

A produção de ácido indolacético (AIA), uma auxina natural, é um dos mecanismos mais importantes pelos quais *Trichoderma* influencia o crescimento vegetal. Hoyos-Carvajal et al. (2009) evidenciaram que espécies do gênero sintetizam esse fitormônio, o qual estimula o alongamento celular, o desenvolvimento de raízes laterais e a dominância apical.

Segundo Souza et al. (2023), o AIA influencia diretamente o crescimento da parte aérea e do sistema radicular das plantas, promovendo uma maior eficiência na absorção de nutrientes e adaptação a ambientes adversos. Essa ação é considerada estratégica para o uso de *Trichoderma* em programas de reflorestamento e restauração de áreas degradadas.

3.6 Problemática das mudas de Fava Tamboril, Jatobá e Eucalipto durante no pré e pós-inoculação com *Trichoderma ssp.* e *Bacillus subtilis*

A utilização de microrganismos promotores de crescimento vegetal, como fungos do gênero *Trichoderma spp.* e bactérias do gênero *Bacillus subtilis*, tem sido amplamente estudada

na produção de mudas florestais, incluindo espécies nativas e comerciais como a fava tamboril (*Enterolobium contortisiliquum*), o jatobá (*Hymenaea courbaril*) e o eucalipto (*Eucalyptus spp.*). Apesar do reconhecido potencial desses microrganismos para estimular o crescimento radicular, aumentar a absorção de nutrientes e proteger as plantas contra patógenos de solo, diversos estudos apontam problemáticas e limitações na sua aplicação, especialmente em ambientes tropicais e solos típicos do Cerrado (Chagas-Júnior et al., 2019).

Uma das principais dificuldades observadas refere-se à compatibilidade entre os microrganismos e as espécies vegetais. O *Trichoderma spp.*, embora apresente reconhecida ação antagônica e promotora de crescimento, nem sempre estabelece uma relação equilibrada com espécies florestais de crescimento mais lento, como o jatobá e a fava tamboril. Nessas plantas, a colonização excessiva das raízes pode induzir respostas de defesa, levando ao acúmulo de compostos fenólicos e à redução temporária da absorção de nutrientes (Chagas-Júnior et al., 2021). Já o *Bacillus subtilis*, apesar de formar biofilmes radiculares benéficos, pode competir com rizóbios ou fungos micorrízicos nativos, especialmente em leguminosas, prejudicando o processo natural de simbiose e o desenvolvimento inicial das mudas (Melo, 2009).

Outra problemática recorrente está na competição com microrganismos nativos do solo do Cerrado, onde a microbiota é extremamente adaptada às condições de acidez, alta temperatura e baixa fertilidade. Algumas cepas comerciais de *Trichoderma* e *Bacillus* frequentemente demonstram dificuldade de estabelecimento quando aplicadas em solos não esterilizados, devido à presença de populações microbianas autóctones mais competitivas. Em alguns casos, a introdução de inoculantes exógenos pode até desequilibrar a comunidade microbiana natural, reduzindo a diversidade funcional e interferindo na dinâmica de decomposição e ciclagem de nutrientes (Maciel et al., 2014).

As condições ambientais e de manejo também influenciam fortemente o sucesso da inoculação. Em ambientes de viveiro, o uso de substratos esterilizados e fertilizantes químicos pode limitar a multiplicação de *Trichoderma* e *Bacillus*, uma vez que esses microrganismos dependem de matéria orgânica e de micro-habitat para se estabelecerem. Além disso, altas temperaturas e períodos de seca, típicos do Cerrado, reduzem a sobrevivência e a atividade desses agentes biológicos no substrato. No eucalipto, por exemplo, a inoculação pode apresentar resultados inconsistentes, variando conforme a cepa utilizada e as condições de irrigação e nutrição mineral, podendo até causar redução na biomassa da parte aérea quando ocorre incompatibilidade (Silva, 2022).

Do ponto de vista fisiológico, há relatos de respostas variáveis e por vezes negativas ao

uso desses microrganismos. Em doses elevadas, o *Trichoderma spp.* pode exercer efeito fitotóxico, interferindo no alongamento das raízes finas e no equilíbrio entre o crescimento radicular e a parte aérea. No caso do *Bacillus subtilis*, a aplicação excessiva pode provocar alterações na rizosfera, como excesso de produção de metabólitos voláteis ou competição por exsudatos radiculares, afetando o crescimento inicial das mudas. Esses efeitos são particularmente perceptíveis em espécies mais sensíveis, como o jatobá, cuja germinação e crescimento inicial são naturalmente lentos (Figueira, 2018).

Além disso, existem limitações técnicas e metodológicas que dificultam a padronização da inoculação. A viabilidade dos inoculantes pode ser comprometida durante o armazenamento ou pela forma de aplicação (em sementes, substrato ou diretamente nas raízes), e nem sempre há confirmação da colonização efetiva nas raízes após a inoculação. A falta de protocolos específicos para cada espécie florestal leva a resultados inconsistentes entre experimentos e dificulta a replicabilidade dos estudos (França et al., 2017; Lima; Pinto; Silva, 2023).

Por fim, é importante ressaltar que, embora *Trichoderma spp.* e *Bacillus subtilis* apresentem reconhecido potencial biotecnológico, seu uso em mudas florestais ainda enfrenta desafios práticos e científicos, como a necessidade de condições controladas, o risco de contaminações cruzadas e a ausência de regulamentação específica para inoculantes florestais no Brasil (Lima; Pinto; Silva, 2023). Assim, o sucesso da inoculação depende não apenas da seleção adequada da cepa e da espécie vegetal, mas também do controle rigoroso das condições ambientais e do manejo do substrato, garantindo que a associação entre planta e microrganismo resulte em benefícios reais e sustentáveis ao sistema de produção de mudas.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, Carlos Eduardo David. **Potencial de fungos *Trichoderma* para engenharia da rizosfera e para a agricultura sustentável: uma revisão de literatura.** 2024. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2024.
- AZEVEDO, Gileno Brito de et al., Efeito de *trichoderma* ssp. no crescimento de mudas clonais de *Eucalyptus camaldulensis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba-SP, v.45, n.114, p.343-52, jun. 2017. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr114/cap10.pdf>. Acesso em: 01 out. 2025.
- CAMILO, Cícera Janaine et al., Interferência do extrato de *Hymenaea courbaril* L. (jatobá) na atividade antibacteriana de aminoglicosídeos. **Revista Interfaces: Saúde, Humanas e Tecnologia**, v. 8, n. 1, p. 372–379, 2020. Disponível em: <https://interfaces.unileao.edu.br/index.php/revista-interfaces/article/view/605>. Acesso em: 6 out. 2025.
- CHAGAS-JÚNIOR, Aloísio Freitas. Bioinoculantes e restauração ecológica: aplicabilidade de *Bacillus subtilis* em viveiros de mudas nativas do Cerrado. **Cadernos de Agroecologia**, v. 14, n. 1, p. 77–89, 2019.
- CHAGAS-JÚNIOR, Aloísio Freitas et al., *Trichoderma asperellum* (Samuels, Lieckf & Nirenberg) como promotor de crescimento em *Enterolobium contortisiliquum* (Vell) Morong. **Ciência Florestal**, v. 34, n. 2, p. 1–17, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/CcrbWKgdwGS8fDGF7HYNXtw/?format=html&lang=en>. Acesso em: 04 out. 2025.
- CHAGAS-JÚNIOR, Aloísio Freitas et al., *Trichoderma* como promotor de crescimento de mudas de eucaliptos. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 9, p. 60–72, 2021. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/JBB/article/view/10149>. Acesso em: 03 out. 2025.
- CHAUHAN, Anjali et al., Plant growth promoting rhizobacteria and their biological properties for soil enrichment and growth promotion. **Taylor e Francis**, v.45, n.2, p.273-99, 2022. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904167.2021.1952221>. Acesso em: 02 out. 2025.
- FIGUEIRA, Eliana Pelicon Pereira. **Alterações fisiológicas, anatômicas e produtivas do feijoeiro induzidas por *Trichoderma* spp.** E fosfito de potássio em resposta ao ataque de *Colletotrichum lindemuthianum*. 2018. 118 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2018.
- FRANÇA, Danilo Vieira Cardozo et al., Isolados de *Trichoderma* ssp. com potencial de solubilização de fosfato e promoção de crescimento em tomateiro cereja. **Pesqui agropecu trop**, v.47, n.4, out/dez. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/mT84hTcvxfq3qz7K6NKsXCP/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 02 out. 2025.
- HOYOS-CARVAJAL, Lilliana; ORDUZ, Sergio; BJØNRLUND, L. *Trichoderma* spp. as biocontrol agents and their mechanisms of action. **Crop Protection**, v. 28, n. 6, p. 513–523, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.01.008>. Acesso em: 04 out. 2025.
- KLOPPER, J. W. et al. Plant growth promotion mediated by bacterial volatiles. **Advances in**

Applied Microbiology, v. 54, p. 81–113, 2004. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/322956451_Plant_Growth_Promotion_and_Biocontrol_Mediated_by_Plant-Associated_Bacteria. Acesso em: 03 out. 2025.

KRAEMER, Ana Paula Neres. **Avaliação do potencial de isolados de *Trichoderma ssp.* no biocontrole de doenças da soja e no tratamento de sementes.** 2022. 75f. Dissertação (Mestre em Proteção de Plantas) – Instituto Federal Goiano, Urutaí, 2022.

JOSÉ, Marcelo Brandão. **Viabilidade econômica e ecológica dos modelos sucessionais de restauração florestal nos serviços ambientais na Mata Atlântica brasileira.** 2023. 76 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2023.

LIMA, Isamara Oliveira; PINTO, Jailson Mauricio; SILVA, Marcelo Barreto da. A espécie *Bacillus subtilis* e suas aplicações na agricultura. **Agriculturae, [S. l.]**, v. 5, n. 1, p. 40–46, 2023. DOI: 10.6008/CBPC2674-645X.2023.001.0005. Disponível em: <https://www.cognitionis.inf.br/index.php/agriculturae/article/view/258>. Acesso em: 6 out. 2025.

LIMA, Gabriel Pereira et al., **Uso de bactérias promotoras de crescimento em forrageiras.** In: MENEZES, Fredson Gomes de; MOREIRA, Márcia Bento; SILVA, Alineaurea Florentino. (Org.). **Desenvolvimento rural sustentável: novas perspectivas.** 1 ed. Editora Científica, 2024. p. 190–196. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/books/978-65-5360-829-0.pdf>. Acesso em: 04 out. 2025.

LUCON, Cleusa Maria Mantovanello. Promoção de crescimento de plantas com o uso de *Trichoderma spp.* *InfoBibos*, 2017. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2009_1/trichoderma/index.htm. Acesso em: 03 out. 2025.

MACIEL, Caciara Gonzatto et al., Open-access Antagonismo de *Trichoderma SPP.* E *Bacillus subtilis* (UFV3918) a *Fusarium sambucinum* em *Pinus elliotii* engelm. **Rev Árvore**, v.38, n.3, jun. 2014.

MEIRELES, Gabriel Barreto. **Relações entre a abordagem da ecologia da restauração e ODS 15:** um estudo sobre os impactos antrópicos da Mata Atlântica. 2021. 111f. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu, Campinas-SP, 2021.

MELO, Laryssa da Silva. **Identificação molecular e produção de enzimas celulolíticas por *Trichoderma spp.*** 2009. 60 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2009.

NASCIMENTO, V.C et al., *Trichoderma*: eficiência no controle biológico e perspectivas para os estados do Centro-Oeste brasileiro e Tocantins. **Brazilian Journal of Biology**, v.82, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjb/a/GgZC6GMMpPb8tdhZKrQPg4v/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 03 out. 2025.

PEREZ, Walmor Moya. **Uso de *Trichoderma atroviride* na cultura do feijoeiro.** 2022. 101f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira-SP, 2022.

RIBEIRO, Ana Paula Monteiro da Silva et al., Use of *Trichoderma* in promoting the growth of forest

seedlings. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 1, p. e19712139138, 2023. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/39138>. Acesso em: 02 out. 2025.

RUDRAPPA, Thimmaraju. et al. Root-secreted malic acid recruits beneficial soil bacteria. **Plant Physiology**, v. 148, n. 3, p. 1547–1556, 2008. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18820082/>. Acesso em: 02 out. 2025.

SANTOS, João Victor Gomes dos. **Bacillus subtilis**: a utilização de bioinsumos como recurso potencializador de produção de pastagem no cerrado. 2024. 30f. Monografia (Bacharel em Zootecnia) – Instituto Federal Goiano, Ceres-GO, 2024.

SILVA, Dheyson Prates da et al., Uso de esterco bovino proporciona melhores mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). **Agrarian Academy**, v. 10, n. 19, p. 50–61, 2023. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/agrarian/article/view/5668>. Acesso em: 04 out. 2025

SILVA, R. F. da et al. Potencial de *Bacillus subtilis* como bioestimulante em mudas de espécies nativas do Cerrado. **Revista Brasileira de Biotecnologia Aplicada**, v. 5, n. 1, p. 15–23, 2021.

SILVA, Ila Nayara Bezerra da. **Produção de mudas florestais, uma descrição de Fava-Tamboril**. 2022. 13f. Artigo (Especialização em Agronomia), Editora Científica Digital, São Paulo, 2022.

SOUZA, Sara Lorena de Pádua. **Uso de marcadores moleculares para a avaliação de matrizes e melhoria na produção de mudas de *Hancornia speciosa* com bioinsumos**. 2024. 62f. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Biodiversidade) – Universidade Federal de Sergipe, 2024.

TAVARES, Rafael Castro. **Sistemas agrícolas sustentáveis: manejo por produtores de soja de Rio Verde, Goiás**. 2023. 118f. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) – Universidade de Brasília, Brasília, 2023.

VIGNA, Fernando Bellesini. **Biological control in peanut crop: the potential of *Trichoderma* spp. and entomopathogenic fungi for pest and disease management**. 2023. 185 f. Tese (Doutorado em Microbiologia Agropecuária) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2023.

5 CAPÍTULO I: EFICIÊNCIA DE *TRICHODERMA* COMO PROMOTOR DE CRESCIMENTO EM TAMBORIL E JATOBÁ

RESUMO

A utilização de espécies florestais é frequente para diversos propósitos, como a fabricação de móveis e subprodutos. Nesse contexto, microrganismos emergem como alternativas promissoras para otimizar a produção de mudas. Assim, este estudo avaliou a eficiência de inoculantes de *Trichoderma* como promotores de crescimento em Fava-tamboril (*Enterolobium maximum*) e Jatobá (*Hymenaea courbaril*). Os isolados *T. harzianum* (UFT-25), *T. pinnatum* (UFT-37), *T. virens* (UFT-57), *T. asperelloides* (UFT-201) e *T. longibrachiatum* (UFT-204) foram cultivados em placas de Petri com meio BDA e incubados a 27 ± 2 °C por sete dias. As suspensões inoculadas ($1,8 \times 10^8$ UFC/mL) foram aplicadas nos tubetes antes da semeadura. Avaliaram-se altura (ALT), diâmetro do caule (DC), centímetro de raiz (CmR), volume radicular (VR), massa secas da parte aérea (MSPA), da raiz (MSR) e total (MST) e índice de qualidade de Dickson (IQD) aos 30 e 60 dias (Fava-tamboril) e 60 e 120 dias (Jatobá). Nos resultados para Fava-tamboril, observou-se que todos os isolados de *Trichoderma* proporcionaram incrementos significativos ($p < 0,05$) em comparação à testemunha. Aos 30 DAE, o isolado *T. asperelloides* (UFT-201) apresentou altura média de 12,3 cm e volume radicular de 6,15 mL, enquanto *T. virens* (UFT-57) atingiu 13 cm de altura e 4,97 mL de volume radicular. Aos 60 DAE, *T. harzianum* (UFT-25) obteve os melhores resultados, com MST de 11,9 g e DC de 13,2 mm, superando a testemunha (MST = 6,89 g; DC = 7,7 mm). O IQD médio aumentou de 0,05 (testemunha) para até 0,12 nas mudas inoculadas, representando melhora de 140% na qualidade. Para o Jatobá, os resultados mostraram efeitos ainda mais expressivos. Aos 60 DAE, o tratamento com *T. virens* (UFT-57) resultou em altura média de 88,7 cm e massa seca total de 10,4 g, contrastando com 75 cm e 6,7 g na testemunha — um aumento de 55% na biomassa total. Aos 120 DAE, *T. virens* manteve desempenho superior, com 93,7 cm de altura e 15,2 g de massa total, enquanto *T. asperelloides* (UFT-201) atingiu 83,7 cm e 18,2 g. O IQD do *T. virens* subiu de 0,05 (testemunha) para 0,18, e o de *T. asperelloides* para 0,22, indicando mudas de qualidade significativamente superior. Esses resultados confirmam que *T. virens* (UFT-57) foi o isolado mais eficiente para ambas as espécies, proporcionando incrementos notáveis em altura, diâmetro, biomassa e qualidade morfológica. *T. asperelloides* (UFT-201) também se destacou, embora com efeito ligeiramente menor. As diferenças entre isolados e espécies evidenciam que a resposta ao *Trichoderma* é dependente da interação entre cepa e planta hospedeira.

Conclui-se que o uso de *Trichoderma*, especialmente *T. virens* e *T. asperelloides*, é uma alternativa biotecnológica sustentável para a produção de mudas de espécies nativas do Cerrado, proporcionando ganhos de até 60% em crescimento e qualidade em comparação às plantas não inoculadas. Esses resultados reforçam o potencial do gênero *Trichoderma* como promotor de crescimento vegetal e sua aplicabilidade em programas de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas.

Palavras-chave: Fungo, Promotor de crescimento vegetal, *Enterolobium maximum*, *Hymenaea courbaril*.

ABSTRACT

Forest species are frequently used for various purposes, such as furniture and byproduct manufacturing. In this context, microorganisms emerge as promising alternatives for optimizing seedling production. Therefore, this study evaluated the efficiency of *Trichoderma* inoculants as growth promoters in monkfruit (*Enterolobium maximun*) and jatobá (*Hymenaea courbaril*). The isolates *T. harzianum* (UFT-25), *T. pinnatum* (UFT-37), *T. virens* (UFT-57), *T. asperelloides* (UFT-201), and *T. longibrachiatum* (UFT-204) were grown in Petri dishes with PDA medium and incubated at $27 \pm 2^\circ\text{C}$ for seven days. The inoculated suspensions (1.8×10^8 CFU/mL) were applied to the tubes before sowing. Height (ALT), stem diameter (DC), root centimeter (CmR), root volume (VR), dry mass of the aerial part (MSPA), root (MSR) and total (MST) and Dickson quality index (IQD) were evaluated at 30 and 60 days (Monkfish Fava) and 60 and 120 days (Jatobá). In the results for Monkfish Fava, it was observed that all *Trichoderma* isolates provided significant increases ($p < 0.05$) compared to the control. At 30 DAE, the isolate *T. asperelloides* (UFT-201) presented an average height of 12.3 cm and root volume of 6.15 mL, while *T. virens* (UFT-57) reached 13 cm in height and 4.97 mL of root volume. At 60 DAE, *T. harzianum* (UFT-25) obtained the best results, with a MST of 11.9 g and DC of 13.2 mm, surpassing the control (MST = 6.89 g; DC = 7.7 mm). The average IQD increased from 0.05 (control) to 0.12 in the inoculated seedlings, representing a 140% improvement in quality. For Jatobá, the results showed even more significant effects. At 60 DAE, the treatment with *T. virens* (UFT-57) resulted in an average height of 88.7 cm and total dry mass of 10.4 g, contrasting with 75 cm and 6.7 g in the control—an increase of approximately 55% in total biomass. At 120 DAE, *T. virens* maintained superior performance, reaching 93.7 cm in height and 15.2 g in total mass, while *T. asperelloides* (UFT-201) reached 83.7 cm and 18.2 g. The DQI of *T. virens* increased from 0.05 (control) to 0.18, and that of *T. asperelloides* to 0.22, indicating significantly higher quality seedlings. These results confirm that *T. virens* (UFT-57) was the most efficient isolate for both species, providing notable increases in height, diameter, biomass, and morphological quality. *T. asperelloides* (UFT-201) also stood out, although with a slightly smaller effect. The differences between isolates and species demonstrate that the response to *Trichoderma* is dependent on the interaction between the strain and the host plant. The conclusion is that the use of *Trichoderma*, especially *T. virens* and *T. asperelloides*, is a sustainable biotechnological alternative for the production of seedlings of native Cerrado species, providing gains of up to 60% in growth and quality compared to uninoculated plants. These results reinforce the potential of the *Trichoderma* genus as a plant growth promoter and its applicability in reforestation and recovery programs for degraded areas.

Keywords: Fungus, Plant growth promoter, *Enterolobium maximun*, *Hymenaea courbaril*.

6 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por madeira e subprodutos florestais ressalta a importância da silvicultura na produção sustentável de mudas de alta qualidade. No entanto, a eficiência desse setor está diretamente relacionada ao manejo adequado das mudas na fase de viveiro, garantindo seu desenvolvimento e sobrevivência no campo. Diante desse desafio, a utilização de microrganismos benéficos surge como uma estratégia promissora para potencializar o crescimento vegetal e fortalecer a adaptação das plantas ao ambiente de plantio (Rezende; Borém e Leite, 2023).

O gênero *Trichoderma* tem sido amplamente estudado devido ao seu potencial como agente de biocontrole e promotor de crescimento de plantas. Algumas espécies desse fungo possuem capacidade de estimular o desenvolvimento radicular, aumentar a absorção de nutrientes e induzir resistência a estresses ambientais, tornando-se aliados valiosos na produção de mudas florestais (Chagas-Júnior et al., 2024). No entanto, diferentes isolados de *Trichoderma* podem apresentar efeitos distintos dependendo da espécie vegetal e das condições de cultivo, o que reforça a necessidade de estudos que avaliem sua eficácia em diferentes contextos.

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo principal avaliar a eficácia de diferentes cepas de *Trichoderma* na promoção do crescimento de mudas de Fava-tamboril (*Enterolobium maximun*) e Jatobá (*Hymenaea courbaril*). Para tanto, foram utilizados os isolados *T. harzianum* (UFT-25), *T. pinnatum* (UFT-37), *T. virens* (UFT-57), *T. asperelloides* (UFT-201) e *T. longibrachiatum* (UFT-204), com o intuito de identificar aqueles com maior potencial para otimizar o desenvolvimento das espécies em estudo.

Diante disso, os parâmetros analisados compreenderam altura, diâmetro do caule, crescimento e volume radicular, biomassa seca e índice de qualidade de Dickson, os quais permitem avaliar, de forma integrada, o desempenho morfofisiológico das mudas submetidas aos tratamentos. Logo, a relevância desta pesquisa reside na possibilidade de contribuir para o aprimoramento das práticas de produção de mudas florestais, por meio da seleção de inoculantes microbianos eficientes e ambientalmente sustentáveis.

Espera-se que os resultados obtidos forneçam subsídios técnicos para a adoção de estratégias que promovam o desenvolvimento vigoroso das mudas e elevem as taxas de sobrevivência e adaptação em campo, favorecendo tanto a implantação de florestas comerciais quanto as ações de conservação e recuperação ambiental. Por fim, este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência de diferentes isolados de *Trichoderma* na promoção do crescimento

e na melhoria da qualidade de mudas de Fava-tamboril (*Enterolobium maximun*) e Jatobá (*Hymenaea courbaril*), com base em parâmetros biométricos e índices de qualidade.

Especificamente, busca-se: **(i)** comparar os efeitos dos isolados *T. harzianum* (UFT-25), *T. pinnatum* (UFT-37), *T. virens* (UFT-57), *T. asperelloides* (UFT-201) e *T. longibrachiatum* (UFT-204) sobre o crescimento das mudas das espécies avaliadas; **(ii)** analisar o impacto desses isolados sobre a altura, o diâmetro do caule, o crescimento e o volume radicular, a biomassa seca e o índice de qualidade de Dickson; e **(iii)** identificar as cepas com maior potencial para otimizar o desenvolvimento das mudas, contribuindo, assim, para a seleção de inoculantes microbianos eficazes e sustentáveis aplicáveis à silvicultura.

7 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no viveiro de produção de mudas localizado na Estação Experimental da Universidade Federal do Tocantins (UFT) – Campus Gurupi, situada na região sul do estado do Tocantins (10°11'04" S, 48°20'01" O, 280 m de altitude). O clima predominante, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, caracterizado como tropical semiúmido, com estação chuvosa de outubro a abril e estação seca de maio a setembro, período em que a umidade relativa do ar atinge níveis críticos. O índice pluviométrico anual é de 1.750 mm, e a precipitação média anual registrada é de 1.749,6 mm, conforme dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Os ensaios experimentais foram realizados entre os meses de novembro de 2023 e março de 2024, período que abrange parte da estação chuvosa, favorecendo o desenvolvimento inicial das mudas e permitindo condições ideais de temperatura e umidade para o crescimento vegetal e a atuação dos microrganismos inoculados. Durante o experimento, as condições ambientais foram monitoradas diariamente, com temperatura média de 27 ± 2 °C e irrigação controlada para manter o substrato próximo a 60% da capacidade de campo.

Neste contexto, os isolados de *Trichoderma* foram adquiridos do banco de fungos do Laboratório de Agromicrobiologia Aplicada e Biotecnologia da UFT (PPGPV). Inicialmente os isolados foram repicados em placa de petri com meio BDA (batata, dextrose e ágar) e incubados em câmara B.O.D., a 27 ± 2 °C, por 12 horas com luz, por sete dias, tempo de crescimento dos fungos de *Trichoderma*. Foram utilizados cinco isolados de *Trichoderma*. Os isolados foram caracterizados pelo sequenciamento da região TEF (translation elongation fator) e identificados pelos códigos de acesso no GenBank realizado pelo Instituto Biológico de São Paulo, segundo trazem os dados da Tabela 1:

Tabela 1 - Códigos de acesso no GenBank para os isolados de *Trichoderma* (Região TEF– Translation Elongation Factor) utilizados neste estudo

Isolados	Identificação das espécies	Acesso GenBank	Referências
UFT-57	<i>T. virens</i> CIBT147	EU280060	Hoyos-Carvajal et al., (2009)
UFT-201	<i>T. asperelloides</i> GJS 04-217	DQ381958	Samuels et al., (2010)
UFT- 37	<i>T. pinnatum</i> GJS 02-120	JN175572	Druzhinina et al. (2012)
UFT-25	<i>T. harzianum</i> CIB T131	EU279988	Hoyos-Carvajal et al. (2009)
UFT-204	<i>T. longibrachiatum</i> DAOM 167674	EU280046	Hoyos-Carvajal et al. (2009)

Fonte: Autores

As sementes de Fava-tamboril coletadas tiveram um tratamento cuidadoso para otimizar seu potencial de germinação. Inicialmente, as sementes foram homogeneizadas manualmente e, em seguida, submetidas a uma seleção rigorosa, que priorizou aquelas que apresentavam características visuais de vigor. Na visão de Silva et al., (2025), esse processo de seleção é crucial, pois sementes mais vigorosas tendem a ter taxas de germinação mais altas e melhor desempenho no desenvolvimento inicial.

Após a seleção, as sementes passaram por uma escarificação mecânica, um procedimento essencial para superar a dormência das sementes. Embasada nos métodos de Almeida (2023), a escarificação foi realizada com uma lixa d'água 220, focando na área oposta ao hilo, onde foi feito um pequeno furo no tegumento. Essa técnica é importante, pois permite a entrada de água no endosperma, promovendo a hidratação e, assim, facilitando a germinação.

Após a escarificação, as sementes de Fava-tamboril e as sementes de Jatobá foram semeadas em tubetes de 290 mL, utilizando-se duas sementes por tubete. Foi empregado um substrato comercial Plantmax, misturado com areia na proporção de 1:1, o que conforme Almeida (2023), proporciona um ambiente favorável ao crescimento das raízes, garantindo boa drenagem e aeração, essenciais para a saúde das plantas. Após sete dias da semeadura, foi realizado o desbaste, mantendo-se apenas uma planta por tubete.

Foram realizados dois experimentos independentes, um para cada espécie florestal, conduzidos em Delineamentos Inteiramente Casualizados, cada um composto por seis tratamentos e dez repetições. Os tratamentos utilizados foram a inoculação de cinco cepas de *Trichoderma*, com a utilização de 1 mL da solução de cada cepa, e uma testemunha apenas com água, utilizando pipeta graduada. A concentração dos isolados de *Trichoderma* foi determinada e apresentando em média $1,2 \times 10^8$ UFC mL⁻¹. Segundo os metodos de Chagas-Júnior et al., (2021), a inoculação foi realizada no momento do plantio, com a perfuração do substrato para a colocação das sementes. Em seguida, foi adicionado 1 mL do inoculante e o substrato foi cuidadosamente coberto. As sementes foram plantadas a uma profundidade de 2 cm e mantidas a 60% da capacidade de campo, com irrigação diária.

As avaliações foram executadas aos 30, 60 e 120 dias após a emergência das plantas. Foi utilizada uma régua milimétrica para a medida da altura da planta desde a região do colo até a inserção da última folha, enquanto o diâmetro do colo foi determinado com um paquímetro. Posteriormente, as mudas foram seccionadas na base do caule para separar o sistema radicular da parte aérea. Ao basear-se no estudo de Chagas-Júnior et al., (2017), entende-se que as raízes e as partes aéreas das plantas devem ser lavadas em água corrente.

Neste caso, as mudas foram colocadas em sacos de papel identificados e, em seguida, foram levadas para uma estufa com circulação forçada a 65 °C, onde foram secas por 72 horas.

Após o período de secagem, foram realizadas medições precisas da massa seca da parte aérea (MSPA) e da massa seca da raiz (MSR) utilizando uma balança de precisão com sensibilidade de 0,0001 g, assim como, a massa fresca da parte aérea (MFPA), a qual indicou a fluidez do material. Este processo durou 10 minutos e foi expressa por gramas, a depender da temperatura e pressão aplicadas. Para avaliar a qualidade do crescimento das plantas, foi calculado o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), que envolve a relação entre a massa seca total (MST) e a soma das relações da altura (H) e do diâmetro do caule (DC), além da relação entre a massa seca da parte aérea (MSPA) e a massa seca da raiz (MSR), conforme a fórmula proposta por Dickson et al. (1960):

$$\text{IQD} = \frac{\text{MST(g)}}{\frac{\text{H(cm)}}{\text{DC(mm)}} + \frac{\text{MSPA(g)}}{\text{MSR(g)}}}$$

Além disso, foram determinadas a relação altura e diâmetro (RAD) e a relação entre a massa seca da parte aérea e a massa seca da raiz (RPAR). Para a análise dos dados, foi utilizado o método de ANOVA (Análise de Variância), seguido do teste de comparação de médias Scott-Knott, considerando um nível de erro de 5%. As análises foram realizadas com o software Rstudio, permitindo uma avaliação rigorosa das diferenças significativas entre os tratamentos e contribuindo para uma interpretação precisa dos resultados obtidos.

8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

8.1 Experimento 1 – Fava-tamboril

Para as mudas de Fava-tamboril a inoculação com os isolados de *Trichoderma* foram superiores ($p < 0,05$) para todas as características avaliadas em relação a testemunha (Tabela 2), aos 30 e 60 DAE.

A inoculação de *T. virens* e *T. asperelloides* produziram mudas de Fava-tamboril com melhores índices de relação altura-diâmetro (RAD). Para os demais indicadores de qualidade, IQD, RPAR não foi observada diferença significativa entre as cepas inoculadas (*T. virens* e *T. asperelloides*), no entanto houve diferenças significativas ($p > 0,05$) em relação a testemunha (Tabela 3).

Tabela 2 Altura (ALT), diâmetro do caule (DC), centímetro da raiz (CmR), volume radicular (VR), massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca total (MST) de mudas de Fava-tamboril (*Enterolobium maximum*), inoculadas com *Trichoderma*, aos 30 e 60 dias após a emergência.¹

Tratamentos	Alt (cm)	DC (cm)	CmR (cm)	VR (ml)	MSR (g)	MSPA (g)	MST (g)
30 DAE							
UFT-201	12,8 b	11,6 a	72,8 b	6,15 b	0,90 a	123,80 a	11,60 b
UFT-204	11,5 a	11,9 a	65,8 b	3,85 b	0,87 a	3,10 a	3,97 a
UFT-25	12,5 a	69,5 b	6,5,0 b	4,48 a	3,58 b	4,57 b	12,50 a
UFT-37	12,7 a	70,0 b	6,7,0 a	5,74 a	4,07 b	5,20 b	12,70 a
UFT-57	13,0 b	74,0 b	6,4 b	4,97 b	3,94 b	4,88 a	13,00 b
Testemunha	12,8 a	11,6 a	72,8 a	6,15 a	0,90 a	3,65 a	4,56 a
CV (%)	5,6	4,4	2,5	3,4	6,9	1,3	0,7
60 DAE							
UFT-201	12,6 a	7,5 b	6,6 b	13,3 b	4,0 a	4,39 b	8,40 a
UFT-204	12,9 b	10,3 b	70,6 a	11,9 a	3,8 a	5,25 b	9,00 b
UFT-25	1,4 a	13,2 a	7,5 a	17,2 a	5,5 b	6,30 b	11,90 b
UFT-37	1,3 a	9,9 a	72,3 a	10,5 a	4,1 a	5,00 b	9,20 a
UFT-57	12,3 b	8,0 a	67,1 b	10,2 b	3,5 a	5,20 a	8,70 a
Testemunha	11,4 a	7,7 a	63,9 a	8,2 a	2,9 a	4,00 a	6,89 a
CV (%)	1,8	6,7	4,9	1,5	4,0	2,8	4,3

¹Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$). ²C.V.

= Coeficiente de variação. Fonte: Autores.

Tabela 3 - Relação Altura-Diâmetro (RAD), Índice de Qualidade de Dickson (IQD) e Relação parte seca da parte aérea e parte seca da raiz (RPAR) de mudas de Fava-tamboril (*Enterolobium maximum*) cultivadas em substrato, aos 30 e 60 dias após a emergência, inoculadas com *Trichoderma*.¹

Tratamentos	RAD	IQD	RPAR
30 DAE			
UFT-201	50,20 b	0,07 a	1,52 b

UFT-204	50,54 a	0,06 a	1,48 b
UFT-25	49,80 a	0,06a	1,46 b
UFT-37	50,20 b	0,07 a	1,50 b
UFT-57	50,70 a	0,06 a	1,48 b
Testemunha	44,60 a	0,05 a	2,27 a
CV (%)	4,62	9,2	26,4
60 DAE			
UFT-201	55,78 a	0,12 a	0,94 b
UFT-204	55,74 a	0,11 b	0,92 b
UFT-25	57,20 a	0,10 a	0,98 b
UFT-37	52,60 b	0,09 a	1,10 b
UFT-57	51,70 a	0,08 a	1,60 b
Testemunha	49,00 a	0,10 a	1,30 a
CV (%)	4,87	7,2	1,48

¹Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$). ²C.V.

= Coeficiente de variação. Fonte: Autores.

A Figura 3 apresenta mudas de Fava-tamboril cultivadas em substrato e inoculadas com diferentes isolados de *Trichoderma*, aos 60 dias após a emergência. As imagens ilustram as diferenças no desenvolvimento das mudas entre os tratamentos, permitindo visualizar os efeitos positivos da inoculação de *Trichoderma* no crescimento vegetal.

Figura 3 - Mudas de Fava-tamboril (*Enterolobium maximum*) cultivadas em substrato inoculado com *Trichoderma*. A, testemunha sem inoculação; B, UFT-57; C, UFT-25; D, UFT-37; E, UFT-204; F, UFT-201, aos 60 dias após a emergência:



Fonte: Autores

8.2 Experimento 2 - Jatobá

Os resultados encontrados no estudo sobre a inoculação dos isolados de *Trichoderma* na espécie Jatobá destacam a importância desses fungos como promotores de crescimento. A evidência de que a inoculação influenciou positivamente parâmetros morfológicos e de qualidade das mudas, tanto aos 60 quanto aos 120 dias após a emergência, sugere que esses isolados têm um papel significativo no desenvolvimento das plantas (Tabela 5, Figura 4).

Tabela 4 - Altura (ALT), diâmetro do caule (DC), centímetro da raiz (CmR), volume radicular (VR), massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca total (MST) de mudas de Jatobá (*Hymenaea courbaril*), inoculadas com *Trichoderma*, aos 60 e 120 dias após a emergência.¹

Tratamentos	Alt (cm)	DC (cm)	CmR (cm)	VR (ml)	MSR (g)	MSPA (g)	MST (g)
60 DAE							
UFT-201	7,6 b	7,1 a	74,2 b	7,1 b	3,43 a	7,22 a	10,6 b
UFT-204	77,4 a	4,0 a	68,8 b	6,5 b	2,70 a	6,50 a	9,2 a
UFT-25	85,3 a	8,0 b	71,9 b	8,5 a	3,10 b	6,90 b	10,0 a
UFT- 37	77,5 a	4,0 b	72,0 a	7,1 a	2,57 b	6,57 b	9,14 a
UFT-57	88,7 b	9,0 b	74,0 b	9,0 b	3,00 b	7,30 a	10,4 b
Testemunha	75,0 a	4,25 a	62,0 a	4,0 a	1,70 a	5,00 a	6,7 a
CV (%)	4,8	4,0	6,2	6,0	3,2	2,5	5,2
120 DAE							
UFT-201	83,7 a	10 b	71,0 b	13 b	8,90 a	9,30 b	18,2a
UFT-204	82,5 b	8,0 b	70,0 a	13,1 a	7,30 a	8,20 b	15,5 b
UFT-25	95,5 a	8,0 a	71,7 a	13,5 a	6,30 a	8,14 b	14,45a
UFT- 37	1,07 b	12 a	74,0 b	12,3 b	6,60 a	12,60 a	19,2 a
UFT-57	93,7 a	9,0 a	74,5 a	12,8 a	6,11 a	9,13 a	15,2 a
Testemunha	65,0 a	8,0 a	70,5 a	9,5 a	5,18 a	5,99 a	11,1 a
CV (%)	5,6	4,0	3,5	7,5	3,7	6,3	5,5

¹Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$). ²C.V.

= Coeficiente de variação. Fonte: Autores.

Figura 4 - Mudas de Jatobá (*Hymenaea courbaril*), cultivadas em substrato inoculado com *Trichoderma*. A, testemunha sem inoculação; B, UFT-25; C, UFT-201; D, UFT-57; E, UFT-37; F, UFT-204, aos 120 dias após a emergência



Fonte: Autores (2024)

Especificamente, a aplicação do *Trichoerma virens* mostrou-se mais eficaz, levando a aumentos consideráveis nos índices de altura, diâmetro do caule, volume radicular, e nas massas secas da parte aérea e da raiz. Esses resultados são indicativos de que o *Trichoerma virens* pode

estar promovendo um ambiente benéfico para as mudas de Jatobá, possivelmente através da melhoria da disponibilidade de nutrientes ou do aumento da resistência a patógenos.

Por outro lado, a inoculação com *T. asperelloides* também gerou resultados positivos, embora com diferenças significativas apenas em comparação ao tratamento testemunha. Essa variação nos efeitos entre os dois isolados de *Trichoderma* indica que a resposta das mudas pode depender do tipo específico de fungo utilizado, ressaltando a necessidade de se considerar diferentes cepas em estudos futuros para potencializar o crescimento das mudas de espécies florestais.

Para os índices de qualidade RAD e IQD observou-se que a utilização do *Trichoderma* proporcionou aumento nos indicadores de qualidade (Tabela 5). Para o RAD, o tratamento com *T. virens* foi superior ($p < 0,05$), seguido de *T. asperelloides* também superior a testemunha, aos 60 e 120 DAE. Para o IQD, aos 30 DAE os tratamentos com *T. virens* e *T. asperelloides* foram superiores ($p < 0,05$) em relação a testemunha. Aos 60 DAE o tratamento com *T. asperelloides* foi superior ($p < 0,05$), seguido do tratamento com *T. virens*, também superior a testemunha (Tabela 5). Para RPAR não houve diferença significativa.

Tabela 5 - Relação altura-diâmetro (RAD), Índice de Qualidade de Dickson (IQD), Relação parte seca da parte aérea e parte seca da raiz (RPAR) de mudas de Jatobá (*Hymenaea courbaril*), cultivadas em substrato, aos 60 e 120 dias após a emergência inoculado com *Trichoderma*.¹

Tratamentos	RAD	IQD	RPAR
60 DAE			
<i>T. virens</i>	60,30 a	0,06 a	2,12 a
<i>T. asperelloides</i>	62,08 b	0,06 a	2,00 a
<i>T. pinnatum</i>	61,50 c	0,06 a	1,46 b
<i>T. harzianum</i>	59,20 c	0,07 b	1,72 b
<i>T. longibrachiatum</i>	55,50 c	0,06 b	1,61 b
Testemunha	56,50 c	0,05 b	2,20 b
CV (%)	55,78	0,06	2,00
120 DAE			
<i>T. virens</i>	32,40 a	0,18 b	1,68 a
<i>T. asperelloides</i>	29,32 b	0,22 a	1,65 a
<i>T. pinnatum</i>	29,54 c	0,20 a	1,63 b
<i>T. harzianum</i>	28,33 c	0,18 b	1,62 b
<i>T. longibrachiatum</i>	30,35 c	0,19 b	1,67 b
Testemunha	28,20 c	0,18 c	1,88 a
CV (%)	3,23	0,9	2,40

¹Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$). ²C.V.

= Coeficiente de variação. Fonte: Autores.

Os resultados observados em concordância com os achados de Chagas-Júnior *et al.* (2019) podem ser compreendidos à luz das interações benéficas entre os fungos do gênero *Trichoderma* e as raízes das plantas. Ao colonizarem as raízes, tanto *Trichoderma asperelloides* quanto *Trichoderma virens* não apenas promovem o desenvolvimento da parte aérea e radicular das plantas, mas também desempenham papéis cruciais na nutrição e proteção das mesmas. A capacidade desses fungos de solubilizar fósforo e produzir sideróforos é fundamental, uma vez que o fósforo é um nutriente essencial para o crescimento vegetal, atuando em processos como a fotossíntese e transferência de energia (Peres, 2022).

Além disso, Hoyos-Carvajal *et al.* (2009) destacam que a simbiose entre *Trichoderma* e as raízes resulta na secreção de metabólitos secundários, que são importantes na defesa da planta contra patógenos, aumentando sua resistência e, conseqüentemente, sua produtividade. Estudos indicam que esses fungos podem sintetizar auxinas, fitormônios que desempenham papéis vitais na regulação do crescimento vegetal, promovendo o alongamento do caule, a formação de raízes laterais e influenciando a dominância apical.

A Figura 2 apresenta mudas de Jatobá cultivadas em substrato e inoculadas com diferentes isolados de *Trichoderma*, avaliadas aos 120 dias após a emergência. A imagem permite visualizar as diferenças no crescimento das mudas, destacando o impacto positivo da inoculação com *Trichoderma* na promoção do desenvolvimento vegetal.

Essa interação simbiótica, portanto, não só melhora a absorção de nutrientes, mas também regula processos de desenvolvimento importantes para a saúde e vigor das plantas, conforme evidenciado por diversas pesquisas (Zhao *et al.*, 2015; Chagas-Júnior *et al.*, 2019; Chagas-Júnior *et al.*, 2021 e Chagas-Júnior *et al.*, 2024). Dessa forma, a atuação dos fungos *Trichoderma* pode ser vista como uma estratégia sustentável para otimizar o crescimento das plantas em sistemas agrícolas.

A inoculação de *Trichoderma* em substratos para mudas florestais tem se mostrado uma prática eficaz na promoção do crescimento e qualidade das plantas. Conforme relatado por Ribeiro *et al.* (2023), a utilização de inóculo de *Trichoderma* em substrato para mudas de espécies como Paricá (*Shizolobium amazonicum*), Fava-tamboril (*Entererolobium maximun*) e Amarelão (*Apuleia leiocarpa*). resultou em melhores índices de qualidade após 60 dias de semeadura. Esse efeito positivo pode ser atribuído à produção de auxinas e giberelinas pela espécie, que são hormônios importantes no processo de germinação e crescimento das plantas.

Alguns trabalhos adicionais, como o de Chagas-Júnior *et al.* (2024), corroboraram esses achados, demonstrando resultados semelhantes em mudas de eucalipto, avaliadas a partir dos 25 dias de semeadura. Esses estudos evidenciam a importância da inoculação de *Trichoderma*

como uma estratégia promissora para a melhoria da qualidade de mudas florestais, contribuindo para o desenvolvimento sustentável da reflorestação e manejo florestal.

Os estudos mencionados destacam a relevância da inoculação de *Trichoderma* como uma abordagem inovadora para a melhoria das mudas florestais, fundamental para práticas de reflorestação e manejo florestal sustentáveis. A utilização de *Trichoderma* demonstrou efeitos positivos no crescimento de mudas de espécies como a *Hancornia speciosa*, conforme apontado por Souza (2024).

O aumento da massa seca observado pode ser atribuído à melhoria na absorção de nutrientes, especialmente nitrogênio, que é crucial para a formação de biomassa vegetal, conforme discutido por Chagas-Júnior *et al.* (2021). Essa maior eficiência na nutrição das plantas não só favorece o crescimento saudável das mudas, mas também contribui para a resiliência do ecossistema florestal.

De modo geral, a inoculação de *Trichoderma* se apresenta como uma estratégia promissora para potencializar a qualidade das mudas e, conseqüentemente, o sucesso das iniciativas de replantio e conservação florestal. Essas inovações, entre outras, têm o potencial de aumentar a resiliência das mudas florestais, contribuindo para a restauração de ecossistemas e a sustentabilidade ambiental. A combinação de ciência e tecnologia é, portanto, fundamental para enfrentar os desafios do reflorestamento e garantir que as mudas possam prosperar em condições adversas.

No entanto, a transposição dos resultados obtidos em condições de laboratório ou em viveiros para o campo apresenta desafios. Segundo Chagas-Júnior *et al.*, (2017), a eficácia dos inoculados de *Trichoderma* pode variar devido a fatores ambientais, como solo, clima, competição com outros microrganismos e interação com outros organismos do ecossistema. Portanto, é fundamental realizar mais estudos em condições de campo para validar a eficiência desses fungos em promover o crescimento e a saúde das mudas, além de investigar como esses fungos interagem com o solo e as plantas em um ambiente natural.

Dessa forma, a utilização de *Trichoderma* como inoculante apresenta-se como uma estratégia promissora para a produção de mudas de Jatobá, onde segundo Carvalho (2021), contribui para um desenvolvimento mais robusto e saudável das plantas, tornando-se essencial para a restauração e conservação de ecossistemas. Em razão disso, a realização de experimentos de campo não apenas confirma os resultados preliminares, mas fornece informações valiosas sobre a aplicação prática do *Trichoderma* no reflorestamento e na agricultura, contribuindo para práticas mais sustentáveis e eficazes na produção de mudas florestais.

Neste ínterim, nota-se que o aumento dos índices de qualidade das mudas, particularmente aqueles relacionados ao Índice de Qualidade de Dickson (IQD) e à razão altura-diâmetro, implica que o uso de *Trichoderma* pode auxiliar na produção de mudas mais robustas com melhor capacidade de adaptação ao ambiente de plantio. Os efeitos positivos observados até agora ressaltam a necessidade de incluir diferentes isolados de *Trichoderma* em estudos futuros que visem otimizar suas aplicações para diferentes espécies e condições de cultivo (Ribeiro et al., 2023).

Portanto, compreende-se que a utilização de *Trichoderma* como promotor de crescimento vegetal oferece uma opção sustentável e viável para a produção de mudas de espécies nativas, apoiando práticas de reflorestamento e recuperação ambiental. Por outro lado, sugere-se que mais estudos sejam feitos em condições de campo para confirmar a eficácia desses microrganismos em massa, garantindo que os benefícios observados em viveiros se reflitam em desempenho satisfatório das mudas em seus habitats naturais (Ribeiro et al., 2023).

9 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos em conformidade com os objetivos, pode-se concluir que a inoculação de *Trichoderma* tem efeitos positivos no crescimento de mudas de Fava-Tamboril (*Enterolobium maximum*) e Jatobá (*Hymenaea courbaril*). Dos isolados testados, *T. virens* (UFT-57) e *T. asperelloides* (UFT-201) apresentaram maior eficiência na promoção do crescimento das plantas. Tais achados reforçam o potencial desses microrganismos como bioestimulantes para espécies florestais durante seus estágios iniciais de desenvolvimento.

Desse modo, ao realizar um apanhado geral dos resultados, evidenciou-se que a inoculação com isolados de *Trichoderma* apresentou efeitos diferenciados conforme a espécie florestal avaliada, o isolado utilizado e o tempo de crescimento das mudas. Para a Fava-tamboril (*Enterolobium maximum*), observou-se que aos 30 e 60 dias após a emergência a inoculação com *T. virens* (UFT-57) e *T. asperelloides* (UFT-201) resultou em incrementos significativos em altura, diâmetro do caule, volume radicular e biomassa, quando comparados à testemunha. Embora ambos os isolados tenham promovido ganhos expressivos, o isolado *T. virens* demonstrou tendência de maior eficiência em alguns parâmetros, sugerindo potencial mais consistente para o desenvolvimento inicial dessa espécie.

O estudo demonstrou que a inoculação de mudas de Fava-tamboril (*Enterolobium maximum*) e Jatobá (*Hymenaea courbaril*) com isolados de *Trichoderma* proporcionou melhorias significativas no crescimento e na qualidade morfológica das plantas. Para o Fava-tamboril, aos 30 dias após a emergência (DAE), *T. asperelloides* (UFT-201) apresentou altura média de 12,3 cm e volume radicular de 6,15 mL, enquanto *T. virens* (UFT-57) atingiu 13 cm de altura e 4,97 mL de volume radicular. Aos 60 DAE, *T. harzianum* (UFT-25) destacou-se com massa seca total (MST) de 11,9 g e diâmetro do caule (DC) de 13,2 mm, superando a testemunha (MST = 6,89 g; DC = 7,7 mm). O índice de qualidade de Dickson (IQD) aumentou de 0,05 na testemunha para até 0,12 nas mudas inoculadas, representando melhora de 140% na qualidade.

Para o Jatobá, aos 60 DAE, *T. virens* (UFT-57) alcançou altura média de 88,7 cm e MST de 10,4 g, enquanto a testemunha apresentou 75 cm e 6,7 g, um aumento de 55% na biomassa total. Aos 120 DAE, *T. virens* manteve desempenho superior (93,7 cm e 15,2 g), e *T. asperelloides* (UFT-201) atingiu 83,7 cm de altura e 18,2 g de massa total. O IQD subiu para 0,18 com *T. virens* e 0,22 com *T. asperelloides*, evidenciando mudas de qualidade significativamente superior.

Esses resultados indicam que *T. virens* (UFT-57) foi o isolado mais eficiente para ambas as espécies, promovendo incrementos notáveis em altura, diâmetro, biomassa e qualidade morfológica. *T. asperelloides* (UFT-201) também se destacou, embora com efeito ligeiramente menor. A resposta diferenciada entre isolados e espécies evidencia que a eficácia do *Trichoderma* depende da interação específica entre a cepa e a planta hospedeira. Portanto, os inoculantes de *Trichoderma* representam uma estratégia promissora para a produção de mudas florestais de qualidade superior, contribuindo para a otimização de processos silviculturais e a sustentabilidade de programas de reflorestamento.

No caso do Jatobá (*Hymenaea courbaril*), avaliado aos 60 e 120 dias após a emergência, verificou-se desempenho superior do isolado *T. virens* (UFT-57), que se destacou em praticamente todas as variáveis analisadas, incluindo altura, diâmetro, biomassa da parte aérea e radicular e volume de raízes. O isolado *T. asperelloides* (UFT-201) também promoveu efeitos positivos, porém em intensidade inferior. Esses resultados indicam que o Jatobá responde de forma mais significativa a períodos mais longos de crescimento e que a eficiência da inoculação depende de forma mais acentuada da seleção da cepa, sendo *T. virens* o isolado de maior destaque.

Assim sendo, conclui-se que a interação entre espécie, fungo e tempo de avaliação é determinante para o sucesso da inoculação. A Fava-tamboril apresentou respostas favoráveis a *T. virens* e *T. asperelloides* já nas fases iniciais de desenvolvimento, enquanto o Jatobá respondeu de forma mais expressiva em avaliações posteriores, sobretudo com *T. virens*, que se consolidou como a cepa preliminar mais promissora. Esses achados confirmam o potencial do gênero *Trichoderma* como promotor de crescimento vegetal em espécies nativas do Cerrado e reforçam sua aplicabilidade como alternativa sustentável para a produção de mudas florestais de maior qualidade.

10 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Isabelle Bitencourt de. **Promoção de crescimento por *Bacillus subtilis* e *Trichoderma harzianum* em alface crespa (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*)**. 2025, 54f - Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2025.

ALMEIDA, Gustavo Regis de. **Quebra de dormência em sementes de *Hymenaea martiana* e *Senna spectabilis*, espécies nativas da caatinga com potencial uso para restauração**. 2023. 41f. Monografia (Graduação em Ecologia) – Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.

AMARAL, Patrícia Pinheiro et al. Promotores de crescimento na propagação de caroba. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S. l.], v. 37, n. 90, p. 149–157, 2017. Disponível em: <https://pfb.sede.embrapa.br/pfb/article/view/1402>. Acesso em: 02 out. 2025.

CAMILO, C. J. et al. Interferência do extrato de *Hymenaea courbaril* L. (Jatobá) na atividade antibacteriana de aminoglicosídeos. **Revista Interfaces: Saúde, Humanas e Tecnologia**, v. 8, n. 1, p. 372–379, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.16891/605>. Acesso em: 03 out. 2025.

CARVALHO, Luiz Guilherme Vieira de. **Mudas de jatobazeiro (*Hymenaea courbaril* L.) associadas a fungos micorrízicos arbusculares e fósforo**. 2021. 45 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2021.

CHAGAS JUNIOR, Aloísio Freitas et al. Efficiency of *Trichoderma asperellum* UFT 201 as plant growth promoter in soybean. **African Journal of Agricultural Research**, v. 14, p. 263-271, 2019. Disponível em: <https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-full-text-pdf/355EBBC60090>. Acesso em: 04 out. 2025.

CHAGAS JUNIOR, Aloísio Freitas et al. *Trichoderma* como promotor de crescimento de mudas de eucaliptos. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 9, p. 060-072, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v9n1.chagasjunior>. Acesso em: 05 out. 2025.

CHAGAS-JÚNIOR, Aloísio Freitas et al. *Trichoderma asperellum* (Samuels, Lieckf & Nirenberg) como promotor de crescimento em *Enterolobium contortisiliquum* (Vell) Morong. **Ciência Florestal**, v. 34, n. 2, p. 1-17, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/CcrbWKgdwGS8fDGF7HYNXtw/?format=html&lang=en>. Acesso em: 03 out. 2025.

DIAS, Vinicius Santos. **Agricultura regenerativa: estudo de caso em lavoura comercial de soja no município de Rosário do Sul, Rio Grande do Sul**. 2023. 127 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2023

DICKSON, Alexander; LEAF, Albert L; HOSNER, John F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, v. 36, p. 10-13, 1960. Disponível em: <https://pubs.cif-ifc.org/doi/pdf/10.5558/tfc36010-1?src=recsys>. Acesso em: 05 out. 2025.

DRUZHININA, Irina S. *et al.* Trichoderma: the genomics of opportunistic success. **Nature Reviews Microbiology**, v. 9, n. 10, p. 749–759, 2011. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21921934/>. Acesso em: 04 out. 2025.

HOYOS-CARVAJAL, Liliana *et al.*, Genetic and metabolic biodiversity of *Trichoderma* from Colombia and adjacent neotropic regions. **Fungal Genetics and Biology**, v. 46, n. 9, p. 615–631, 2009. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19439189/>. Acesso em: 04 out. 2025.

LUCON, Cleusa Maria Mantovanello. Promoção de crescimento de plantas com o uso de *Trichoderma spp.* **InfoBibos**, 2017. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2009_1/trichoderma/index.htm. Acesso em: 02 out. 2025.

MEIRELES, Gabriel Barreto. **Relações entre a abordagem da ecologia da restauração e o ODS 15: um estudo sobre os impactos antrópicos na Mata Atlântica**. 2021. 11 f. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2021.

OLIVEIRA, Ana Carolina Cardoso de. **Produção e plantio de mudas de gramíneas nativas para restauração de fisionomias abertas do Cerrado**. 2023. 72f. Tese (Doutora em Ciências), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2023.

PERES, Walmer Moya. **Uso de trichoderma atroviride na cultura do feijoeiro**. 2022. 101f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2022.

RESENDE, Rafael Tassinari; BORÉM, Aluízio; LEITE, Helio Garcia. **Pinus: do plantio à colheita**. São Paulo: Oficina de Textos, 2023. 160 p.

RIBEIRO, Adriana Santos Neves *et al.* *Efficiency of Trichoderma and Bacillus subtilis as growth promoters in Eucalyptus Corymbia citriodora*. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 21, n. 11, p. 20380–20397, 2023. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/1410>. Acesso em: 03 out. 2025.

RIBEIRO, Ana Paula Monteiro da Silva *et al.* *Use of trichoderma in promoting the growth of forest seedlings*. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 1, p. e19712139138, 2023. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/39138>. Acesso em: 03 out. 2025.

SAMUELS, G. J. *et al.* *Trichoderma asperelloides sp. nov., a new species with biocontrol potential*. **Mycologia**, v. 102, n. 2, p. 347–365, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.3852/09-211>. Acesso em: 02 out. 2025.

SILVA, Dheyson Prates da *et al.* Uso de esterco bovino proporciona melhores mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril L.*). **Agrarian Academy**, v. 10, n. 19, p. 50-61, 2023. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/Agrarian%20Academy/2023A/uso.pdf>. Acesso em: 04 out. 2025.

SOUZA, Sara Lorena de Pádua. **Uso de marcadores moleculares para a avaliação de matrizes e melhoria na produção de mudas de *Hancornia speciosa* com bioinsumos**. 2024.

62 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Biodiversidade) – Universidade Federal de Sergipe, 2024.

TAVARES, Rafael Castro. **Sistemas agrícolas sustentáveis: manejo por produtores de soja de Rio Verde, Goiás**. 2023. 118 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) – Universidade de Brasília, Brasília, 2023.

VIGNA, Fernando Belessini. **Biological control in peanut crop: the potential of *Trichoderma spp.* and entomopathogenic fungi for pest and disease management**. 2023. 185 f. Tese (Doutorado em Microbiologia Agropecuária) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2023.

ZHAO, R. *et al.* Identification and characterization of *Trichoderma* isolates for biocontrol potential and stress tolerance. **African Journal of Microbiology Research**, v. 9, n. 19, p. 1324–1332, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5897/AJMR2015.7483>.

11 CAPÍTULO II: *BACILLUS SUBTILLIS* COMO PROMOTOR DE CRESCIMENTO DE FAVA TAMBORIL (*ENTERLOBIUM MAXIMUM*), JATOBÁ (*HYMENAEA COURBARIL*) E EUCALIPTO (*EUCALYPTUS* SSP)

RESUMO

Rizobactérias do gênero *Bacillus*, presentes na rizosfera, formam colônias que favorecem o crescimento vegetal e possuem potencial para o controle de fitopatógenos. O objetivo deste estudo foi avaliar a eficácia de *Bacillus subtilis* na promoção do crescimento de plantas nativas do Cerrado, como *Enterolobium maximum* (Fava Tamboril), *Hymenaea courbaril* (Jatobá) e *Eucalyptus* spp. (Eucalipto). O experimento foi conduzido em bandejas com 25 plantas por tratamento. Foram utilizadas três tratamentos, sendo duas cepas de *B. subtilis* (UFT-Bs10 e BsPanta) e uma testemunha sem inoculação, em delineamento experimental inteiramente casualizado. A inoculação dos *B. subtilis* foi realizada no momento do plantio, utilizando 1 mL de suspensão em cada célula. As avaliações foram feitas 30 dias após a germinação, nas quais foram determinadas as seguintes variáveis: altura (Alt), diâmetro da raiz (DR), comprimento da raiz (Cmr), volume da raiz (VR), massa fresca da raiz (MFR), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca total (MST). A inoculação de *B. subtilis* UFT-Bs10 demonstrou efeitos positivos no crescimento de espécies Fava tamboril, Jatobá e Eucalipto. Os resultados demonstraram efeitos significativos da inoculação sobre o crescimento das plantas. Em *E. maximum*, a cepa Bs Panta promoveu incremento de 9,85% na altura e 59,38% no diâmetro do caule aos 60 DAE, enquanto UFT-Bs10 aumentou o volume de raiz em 86,20% e a massa seca total em quase 100%. Em *H. courbaril*, aos 120 DAE, Bs Panta apresentou massa seca total de 4,36 g contra 2,78 g da testemunha, representando aumento de 33,7%. Já em *E. citriodora*, UFT-Bs10 proporcionou ganhos de até 44,78% em altura e 420% na taxa de fluxo de massa de raiz em relação ao controle. Os isolados Bs Panta e UFT-Bs10 demonstraram comportamentos distintos, mas ambos eficazes na promoção de crescimento e vigor das mudas. Conclui-se que a inoculação com *Bacillus subtilis* representa uma tecnologia sustentável e eficiente para o desenvolvimento de mudas florestais e a restauração ecológica do Cerrado. Portanto, o uso de *B. subtilis* UFT-Bs10 como inoculante biológico apresenta-se como uma estratégia sustentável e eficaz para o crescimento vegetal e a recuperação de áreas degradadas no Cerrado.

Palavras-chaves: *Bacillus*; Plantas nativas do Cerrado; Fava Tamboril; Jatobá; Eucalipto.

ABSTRACT

Rhizobacteria of the genus *Bacillus*, present in the rhizosphere, form colonies that promote plant growth and have the potential to control phytopathogens. The objective of this study was to evaluate the efficacy of *Bacillus subtilis* in promoting the growth of native Cerrado plants, such as *Enterolobium maximum* (Tamboril Fava), *Hymenaea stigonocarpa* (Jatobá), and *Eucalyptus* spp. (*Eucalyptus*). The experiment was conducted in trays with 25 plants per treatment. Three treatments were used: two *B. subtilis* strains (UFT-Bs10 and BsPanta) and an uninoculated control, in a completely randomized experimental design. *B. subtilis* was inoculated at the time of planting, using 1 mL of suspension in each cell. Evaluations were performed 30 days after germination, during which the following variables were determined: height (Alt), root diameter (RD), root length (Cmr), root volume (VR), fresh root mass (MFR), fresh shoot mass (MFPa), root dry mass (MSR), shoot dry mass (MSPA), and total dry mass (MST). Inoculation with *B. subtilis* UFT-Bs10 showed positive effects on the growth of the species tamboril fava, jatobá, and eucalyptus. The results demonstrated significant effects of inoculation on plant growth. In *E. maximum*, the Bs Panta strain promoted an increase of 9.85% in height and 59.38% in stem diameter at 60 DAE, while UFT-Bs10 increased root volume by 86.20% and total dry mass by almost 100%. In *H. courbaril*, at 120 DAE, Bs Panta presented a total dry mass of 4.36 g compared to 2.78 g for the control, representing a 33.7% increase. In *E. citriodora*, UFT-Bs10 provided gains of up to 44.78% in height and 420% in root mass flow rate compared to the control. The isolates Bs Panta and UFT-Bs10 demonstrated distinct behaviors, but both were effective in promoting seedling growth and vigor. We conclude that inoculation with *Bacillus subtilis* represents a sustainable and efficient technology for the development of forest seedlings and the ecological restoration of the Cerrado. Therefore, the use of *B. subtilis* UFT-Bs10 as a biological inoculant presents a sustainable and effective strategy for plant growth and the recovery of degraded areas in the Cerrado.

Keywords: *Bacillus*; Native plants of the Cerrado; *Enterolobium maximum*; *Hymenaea courbaril*; *Eucalyptus* spp;

12 INTRODUÇÃO

O uso de microorganismos benéficos podem ser uma opção ambientalmente saudável para elevar a produtividade de culturas e a diminuição da incidência de fitopatologias. Estes microorganismos são os responsáveis por várias modificações químicas envolvidas no processo de ciclagem de nutrientes para as plantas. Assim, rizobactérias promotoras do crescimento de plantas (RPCP) colonizam as raízes das plantas e estimulam um aumento no crescimento vegetal. Neste viés, estirpes do gênero *Bacillus subtilis* estão entre as mais comumente estudadas como RPCP. Logo, algumas espécies deste gênero vêm apresentando a capacidade para a produção de metabólitos secundários com atividade antifúngica e antimicrobiana contra microorganismos fitopatogênicos (Morais, 2021)

A Fava-Tamboril (*Enterolobium maximum*), uma árvore notável da família Fabaceae, especificamente da subfamília Mimosoideae, destaca-se não apenas pela sua utilidade, mas também pela sua ampla distribuição geográfica no Brasil. Conhecida por diversos nomes populares, como timbaúva e orelha-de-macaco, essa espécie se adapta bem a diferentes formações florestais (Ribeiro *et al.* (2023). Sua presença em diferentes biomas no Brasil evidencia a importância ecológica e econômica que pode ser utilizado em projetos de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas, além de fornecer sombra e habitat para diversas espécies. A versatilidade do tamboril, aliada à sua resistência e capacidade de se estabelecer em diversas condições ambientais, faz dela uma escolha valiosa para iniciativas de sustentabilidade e conservação (Ribeiro *et al.*, 2023).

Jatobá (*Hymenaea courbaril*) é uma espécie pertencente à família Fabaceae, que é a mesma família das leguminosas. Essa árvore é conhecida por sua madeira de alta qualidade e por produzir frutos que são utilizados na alimentação e na medicina tradicional em várias regiões da América Latina, de grande importância ecológica e econômica, reconhecida por suas propriedades medicinais e pelo valor de sua madeira. Além disso, os autores enfatizam a necessidade de preservação desse recurso natural, considerando seu papel fundamental na manutenção da biodiversidade e na sustentabilidade das práticas culturais locais (Silva, 2022).

Eucalyptus ganhou destaque em relação a área plantada em todo o território brasileiro e, de certo modo, no cerrado tocantintense. Este sistema de clonagem favorece a duplicação e conserva a homogeneidade nos plantios. Algumas empresas de pesquisas vêm auxiliando neste manejo, com tecnologias e condições climáticas favoráveis para o desenvolvido do *Eucalyptus* (Raasch *et al.*, 2013). Mudanças com excelente padrão de qualidade são primordiais para conseguir ganhos no desenvolvimento e elevada porcentagem tratando-se de sobrevivência (Oliveira-

Luciano et al., 2023).

Neste sentido, a inoculação com microrganismos promotores de crescimento vegetal tem se destacado como uma alternativa sustentável para a agricultura. Esses microrganismos, como bactérias do gênero *Bacillus subtilis*, promovem o crescimento das plantas por diversos mecanismos, como a fixação biológica de nitrogênio, a solubilização de fosfatos e a produção de fitormônios. Além de reduzir a necessidade de fertilizantes químicos e agroquímicos, essa prática melhora a saúde do solo e a resiliência das plantas contra estresses bióticos e abióticos. (Chagas et al., 2017; Chagas et al., 2023).

A utilização de tecnologias mais sustentáveis, eficientes e econômicas, que minimizem impactos ambientais e promovam maior produtividade, tornou-se essencial para os agricultores. Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar a eficácia de *Bacillus subtilis* na promoção do crescimento de espécies nativas do Cerrado tocantinense, com o intuito de desenvolver inoculantes para essas culturas.

13 MATERIAL E MÉTODOS

13.1 Local do Experimento

Foram realizados três experimentos independentes, sendo cada espécie florestal um experimento, conduzido em viveiro florestal e no laboratório de Agromicrobiologia Aplicada a Biotecnologia da Universidade Federal do Tocantins (UFT/PPGPV), *campus* de Gurupi, localizada nas coordenadas 11°43'45" S e 49°04'07" N e 280 m de altitude. A caracterização climática local é de clima predominantemente tropical úmido com classificação do tipo pequena deficiência hídrica (B1wA'a') e vegetação do tipo Cerrado, conforme descreve Koppen-Geiger (Peel et al., 2007).

13.2 Identificação e características

Foram utilizadas duas cepas *Bacillus subtilis*, a UFT-Bs10 e Bs Panta, visando seu potencial como promotor de crescimento vegetal, proveniente da coleção do Laboratório de Microbiologia da UFT, obtida de solo do cerrado em áreas de cultivo no Estado do Tocantins. As cepas foram mantidas em crescimento e repicada em meio LB (Luria- Bertani).

Foi realizada uma identificação preliminar das cepas com base em suas características morfológicas, estruturais e bioquímicas, seguindo a metodologia descrita no Manual de Bacteriologia Determinativa de Bergey (Rabinovitch; Oliveira, 2015), além da capacidade de solubilização de fosfato e produção de ácido indol acético (AIA). Em seguida, a caracterização genética foi conduzida por meio do sequenciamento da região 16S rRNA, utilizando a técnica de Sanger, em parceria com a Helixxa Genomic Services. A determinação do gênero e da espécie bacteriana foi realizada comparando-se a sequência de consenso obtida com o banco de dados do NCBI (2017), por meio da ferramenta BLAST (Morgulis et al., 2008).

13.3 Inoculação

As sementes de Fava-tamboril (*Enterolobium maximum*) foram selecionadas e passaram por uma escarificação mecânica, para a quebra de dormência das sementes. A escarificação foi realizada com uma lixa d'água 220, focando na área oposta ao hilo, onde foi feito um pequeno furo no tegumento.

Na sequência, após a escarificação das sementes de Fava-tamboril e as sementes de Jatobá foram semeadas em tubetes de 290 mL, utilizando um substrato adequado para a produção de mudas, utilizando-se duas sementes por tubete. A mistura de Plantmax e areia na proporção de 1:1 proporciona um ambiente favorável ao crescimento das raízes, garantindo boa

drenagem e aeração. Após sete dias da semeadura, foi realizado o desbaste, onde se manteve apenas uma planta por tubete.

As sementes de *E. Citriodra* foram semeadas em tubetes com 13 cm de altura, diâmetro superior de 2,8 cm, diâmetro inferior de 1,0 cm, contendo um volume cúbico de até 55 cm, totalizando ao todo 30 tubetes. O substrato utilizado foi o Troprasto florestal, a base de um mix com fibra de coco e casca de arroz.

Foram aplicados 1 mL de suspensão por tubete, diretamente nas sementes das espécies florestais durante a semeadura, sendo utilizadas quatro sementes por tubete e após a germinação, realizado o desbaste e deixada uma planta por tubete.

Para obter a suspensão do *Bacillus subtilis*, os isolados foram cultivados pelo método LB por dois dias, sendo determinada a concentração das colônias em uma unidade formadora de colônia (UFC) diante do processo de diluição em série, demonstrando a concentração de 1×10^9 UFC por mL de suspensão, sendo utilizado também 1mL de suspensão por tubete.

13.4 Avaliações e análise

As avaliações foram realizadas aos 30, 60 e 120 dias após a emergência das sementes. Utilizando uma régua milimétrica, foi medida a altura da planta desde a região do colo até a inserção da última folha, enquanto o diâmetro do colo foi determinado com um paquímetro. Posteriormente, as mudas foram seccionadas na base do caule para separar o sistema radicular da parte aérea. As raízes e as partes aéreas das plantas foram lavadas em água corrente, colocadas em sacos de papel identificados e, em seguida, levadas para uma estufa com circulação forçada a 65 °C, onde foram secas por 72 horas.

Após o período de secagem, foram realizadas medições da massa seca da parte aérea (MSPA) e da massa seca da raiz (MSR) utilizando uma balança de precisão com sensibilidade de 0,0001 g, assim como, a massa fresca da parte aérea (MFPA), a qual indicou a fluidez do material. Este processo durou 10 minutos e foi expressa por gramas, a depender da temperatura e pressão aplicadas. Para avaliar a qualidade do crescimento das plantas, foi calculado o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), que envolve a relação entre a massa seca total (MST) e a soma das relações da altura (ALT) e do diâmetro do caule (DC), além da relação entre a massa seca da parte aérea (MSPA) e a massa seca da raiz (MSR), considerando um nível de erro de 5%.

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software RStudio, uma plataforma amplamente utilizada para processamento e análise de dados estatísticos. Para verificar diferenças significativas entre os grupos analisados, foi aplicado o teste de média apropriado, de acordo com a natureza e a distribuição dos dados. O nível de significância

adotado foi de 5% ($p < 0,05$), sendo consideradas estatisticamente significativas as comparações que apresentaram valores de p inferiores a esse limite.

14 RESULTADOS

14.1 Fava Tamboril - *Enterolobium maximum* (30 e 60 dias)

Todos os tratamentos com a utilização de microorganismos promotores de crescimento, quando comparados ao tratamento controle, obtiveram resultados satisfatórios na primeira e segunda avaliação. O acréscimo dos microorganismos ao substrato de cultivo favoreceu para um maior crescimento das mudas, quando comparados com o tratamento de controle ($p \leq 0,05$).

Nas avaliações após, 60 e 120 dias de cultivo, a utilização de *B. subtilis* Bs10 e BsPanta, afetaram o crescimento inicial das mudas de Fava tamboril, Jatobá e Eucalipto respectivamente. No caso da Fava tamboril, foi possível constatar que para a altura (Alt) das plantas, os tratamentos com Bs10 e BsPanta foram superiores a testemunha sem inoculação após 60 dias de cultivo (Tabela 6).

Para o comprimento da raiz (DC), na avaliação de 30 DAE, o tratamento com inoculação de Bs10 e BsPanta foram superiores a testemunha, enquanto nos 60 DAE o BsPanta foi superior ao Bs10 e a testemunha (Tabela 6). Referente ao comprimento de raiz (CmR), aos 30 DAE o Bs10 foi superior ao BsPanta e a testemunha. Em contrapartida, aos 60 DAE, o CmR foi maior para o BsPanta, quando comparado ao Bs10 e a testemunha. Quanto ao volume da raiz (VR), aos 30 DAE o BsPanta foi maior que o Bs10 e a testemunha. Na sequência, aos 60 DAE, o Bs10 foi muito superior ao BsPanta e a testemunha. De modo geral, ao analisar as variáveis citadas, percebe-se que apenas após 60 DAE a inoculação com *B. subtilis* se mostrou eficaz para o crescimento de Fava tamboril (Tabela 1).

Tabela 6 – Altura de plantas, diâmetro da raiz, comprimento da raiz e volume da Raiz de Fava-Tamboril (*Enterolobium maximum*) inoculadas com *bacillus subtilis* – Bs10

Tratamento	Altura (cm)	DC (cm)	CmR (cm)	VR (ml)
30 DAE				
UFT-Bs10	30,25 a	3,25 a	17,50 a	0,99 a
BsPanta	34,70 a	3,10 a	17,45 a	1,40 a
Testemunha	34,70 c	2,70 c	17,00 c	0,83 c
CV (%)	33,22	3,02	17,32	1,07
60 DAE				
UFT-Bs10	34,70 b	2,21 b	16,90 b	3,78 b
BsPanta	3,06 b	3,06 b	17,18 b	3,37 b
Testemunha	33,50 c	1,92 c	15,97 c	2,03 c
CV (%)	35,00	2,40	16,68	3,06

Fonte: Autores (2024)

Aos 30 DAE, as alturas das mudas inoculadas com BsPanta (34,70 cm) e da testemunha (34,70 cm) foram iguais, enquanto UFT-Bs10 apresentou uma média menor (30,25 cm). Apesar

disso, os valores não apresentaram diferença estatística significativa (letra "a" para todos), indicando que a inoculação com *Bacillus subtilis* ainda não influenciava de forma expressiva esse parâmetro no estágio inicial.

Já aos 60 DAE, observa-se que Bs Panta (36,80 cm) foi o tratamento com maior altura média, seguido por UFT-Bs10 (34,70 cm) e testemunha (33,50 cm). A diferença entre Bs Panta e testemunha representa um incremento de 9,85% na altura. Isso demonstra que, com o avanço do tempo, os efeitos promotores de crescimento da inoculação com *B. subtilis* tornam-se mais expressivos.

Quanto ao diâmetro, no estágio inicial (30 DAE), os tratamentos inoculados (UFT-Bs10 e BsPanta) apresentaram diâmetros superiores (3,25 cm e 3,10 cm) em relação à testemunha (2,70 cm), o que representa um ganho de até 20,37% com UFT-Bs10. Isso indica que os inoculantes atuam positivamente no engrossamento do caule, fator importante para sustentação e transporte de seiva. Aos 60 DAE, Bs Panta se destacou (3,06 cm), superando tanto UFT-Bs10 (2,21 cm) quanto a testemunha (1,92 cm), com ganho de 59,38% em relação ao controle. Isso sugere um efeito contínuo e crescente do Bs Panta na promoção do crescimento em espessura do caule, fortalecendo a estrutura da planta.

No que diz respeito ao comprimento da raiz, este foi o parâmetro menos sensível aos efeitos da inoculação. Tanto aos 30 quanto aos 60 DAE, os valores se mantiveram semelhantes entre os tratamentos, com pequenas variações (17,50 cm a 15,97 cm). A diferença percentual entre o maior (Bs Panta: 17,18 cm) e o menor valor (Testemunha: 15,97 cm) aos 60 DAE foi de apenas 7,57%. Isso indica que o comprimento radicular foi menos influenciado pela microbiota inoculada, possivelmente por limitação genética ou por condições ambientais estáveis.

Por fim, quanto ao volume da raiz, esse parâmetro apresentou diferenças marcantes com o avanço do tempo. Aos 30 DAE, BsPanta apresentou o maior volume radicular (1,40 mL), com ganho de 68,67% sobre a testemunha (0,83 mL), embora sem diferença estatística significativa. Aos 60 DAE, a atuação dos inoculantes se acentuou: UFT-Bs10 (3,78 mL) e BsPanta (3,37 mL) superaram amplamente a testemunha (2,03 mL). O ganho de UFT-Bs10 foi de 86,20%, indicando elevada capacidade de estímulo à formação de massa radicular, essencial para absorção hídrica e nutricional.

Os resultados indicam que a inoculação com *Bacillus subtilis*, tanto com o isolado UFT-Bs10 quanto com BsPanta, promove efeitos positivos no crescimento inicial de *Enterolobium maximum*, principalmente no volume da raiz e na estrutura do coleto. Esses benefícios estão provavelmente associados à produção de fitormônios como ácido indolacético (AIA), à

solubilização de fosfatos e à indução de resistência sistêmica promovida por *B. subtilis* (MELO et al., 2016; LUGTENBERG & KAMILOVA, 2009).

A inoculação melhora o aproveitamento de nutrientes e aumenta o desenvolvimento do sistema radicular, o que pode refletir em maior resiliência a estresses abióticos e melhor performance em campo. A superioridade de Bs Panta no diâmetro do coleto e altura da planta aos 60 DAE sugere que este isolado possui maior capacidade de promoção de crescimento em longo prazo, enquanto o UFT-Bs10 destaca-se no estímulo ao volume radicular.

Tabela 7 –Taxa de massa de fluxo de raiz, taxa de fluxo fundida, massa seca da raiz, massa seca da parte aérea e massa seca total de Fava-Tamboril (*Enterolobium maximum*) inoculadas com *bacillus subtilis* – Bs10

Tratamento	MFR (g)	MFPA (g)	MSR (g)	MSPA (g)	MST (g)
30 DAE					
UFT-Bs10	1,09 a	2,80 a	0,20 a	0,92 a	1,13 a
BsPanta	1,05 a	2,91 a	0,89 a	0,89 a	1,10 a
Testemunha	0,68 a	2,42 a	0,75 a	0,75 a	0,96 a
CV (%)	0,94	2,71	0,61	0,85	1,06
60 DAE					
UFT-Bs10	3,35 b	3,14 b	0,82 b	1,22 b	2,05 b
BsPanta	4,04 a	3,51 a	1,00 b	1,32 b	2,33 b
Testemunha	2,09 b	2,08 c	0,72 b	1,00 b	1,72 b
CV (%)	3,16	2,91	0,84	1,18	2,03

Fonte: Autores (2024)

De acordo com a Tabela 7, aos 30 DAE, a taxa média de massa de fresca de raiz (MFR) foi de 0,94 g, indicando uma atividade radicular moderada nas fases iniciais do desenvolvimento das plântulas. Os tratamentos inoculados com *Bacillus subtilis* apresentaram valores superiores à testemunha, o que sugere que os microrganismos promotores de crescimento atuaram positivamente já nesse estágio, promovendo maior eficiência no transporte de água e nutrientes pelas raízes.

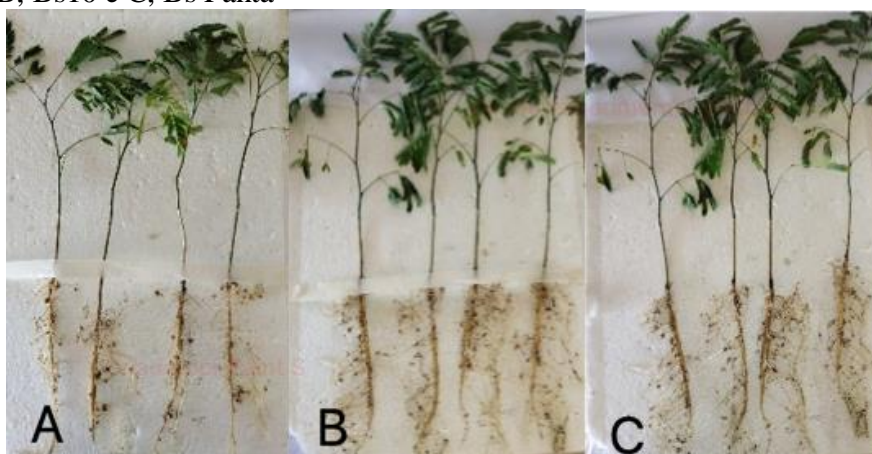
A massa fresca parte área (MFPA) apresentou uma média de 2,71 g aos 30 dias, sendo este um dos primeiros parâmetros a responder à inoculação. Isso mostra que os tratamentos com Bs Panta e UFT-Bs10 favoreceram o acúmulo de biomassa funcional nas plântulas, com leve superioridade do Bs Panta. Já a massa seca da raiz (MSR), com média de 0,61 g, demonstrou relativa uniformidade entre os tratamentos, com pouca variação entre os valores observados, o que sugere que o acúmulo de biomassa radicular ainda não estava plenamente consolidado nessa fase inicial.

No que diz respeito à massa seca da parte aérea (MSPA), observou-se uma média de 0,85 g, com destaque para os tratamentos com inoculantes, que apresentaram valores superiores à testemunha. Isso indica que a inoculação pode ter promovido uma melhor formação foliar e, conseqüentemente, maior capacidade fotossintética nas plântulas. A massa seca total (MST) apresentou média de 1,06 g aos 30 dias, evidenciando o início da resposta das mudas aos estímulos microbianos, com tendência de maior vigor geral nos tratamentos inoculados.

Aos 60 DAE, todas as variáveis apresentaram aumento em relação à primeira avaliação, o que indica um desenvolvimento contínuo e expressivo das plantas ao longo do tempo. A média da MFR aumentou significativamente para 3,16 g, mais do que triplicando em relação aos 30 DAE. Esse resultado reforça a eficiência dos inoculantes em estimular a atividade radicular ao longo do tempo, especialmente o Bs Panta, que foi o tratamento com maior taxa individual.

A MFPA também teve aumento, atingindo 2,91 g de média geral aos 60 dias, consolidando o benefício da inoculação sobre a produção de biomassa útil. Os valores foram especialmente altos nos tratamentos inoculados, enquanto a testemunha permaneceu com média inferior. No caso da MSR, a média foi de 0,84 g, mostrando um crescimento contínuo da raiz ao longo do tempo, embora a diferença entre os tratamentos tenha sido mais sutil, o que pode indicar um limite fisiológico do acúmulo de massa nessa parte da planta.

Figura 5 - Mudanças de Tamboril com e sem inoculação com *Bacillus subtilis* A, testemunha sem inoculação B, Bs10 e C, Bs Panta



Fonte: Autores (2024)

A MSPA, por sua vez, apresentou média de 1,18 g, indicando um desenvolvimento expressivo da parte aérea, que é crucial para o estabelecimento da planta em campo. Esse dado confirma que os inoculantes promovem não apenas o crescimento radicular, mas

também refletem diretamente em um maior desenvolvimento vegetativo. Por fim, a MST atingiu 2,03 g de média geral aos 60 DAE, um aumento de quase 100% em relação à média dos 30 dias. Esse dado consolida a eficácia da inoculação com *Bacillus subtilis*, principalmente com a estirpe Bs Panta, como estratégia eficiente para promover maior acúmulo de biomassa e vigor em plântulas de fava-tamboril.

De modo geral, os resultados obtidos ao longo das avaliações demonstram de forma consistente o potencial da inoculação com *Bacillus subtilis*, especialmente com as cepas Bs Panta e UFT-Bs10, como tecnologia eficaz na promoção do crescimento inicial de *Enterolobium maximum* (fava-tamboril). Os efeitos benéficos foram evidentes tanto em características morfológicas como altura, diâmetro do caule e volume radicular quanto nos parâmetros biométricos como massa seca total e volume radicular, sendo mais expressivos a partir dos 60 dias de cultivo. Esses efeitos podem estar associados à capacidade das bactérias de estimular a produção de fitormônios, melhorar a absorção de nutrientes e induzir maior atividade fisiológica nas plantas. A superioridade de Bs Panta em diversos aspectos evidencia seu potencial como bioinoculante promissor para programas de produção de mudas florestais, contribuindo não apenas para o vigor das plantas em viveiro, mas também para a sustentabilidade e eficiência no uso de recursos naturais.

14.2 Jatobá (60 e 120 dias) - *Hymenaea courbaril*

Segundo os dados da Tabela 8, esses demonstram o desenvolvimento das plantas de jatobá (*Hymenaea courbaril*) inoculadas com *Bacillus subtilis* em dois momentos, 30 e 60 dias após a emergência (DAE). Aos 30 DAE, a altura das plantas inoculadas com UFT-Bs10 foi a maior, com 22,40 cm, seguida pelo tratamento Bs Panta com 20,50 cm e pela testemunha com 18,75 cm, embora não tenha havido diferença estatística significativa entre os tratamentos. Já aos 60 DAE, o tratamento Bs Panta apresentou a maior altura média, com 23,12 cm, enquanto a altura das plantas submetidas a UFT-Bs10 foi de 19,75 cm e a testemunha 16,25 cm, mantendo-se também sem diferenças estatísticas significativas entre eles.

Tabela 8 – Altura de plantas, diâmetro da raiz, comprimento da raiz e volume da raiz de jatobá (*Hymenaea courbaril*) inoculadas com *bacillus subtilis* – Bs10 e Bs Panta

Tratamento	Altura (cm)	DC (cm)	CmR (cm)	VR (ml)
60 DAE				
UFT-Bs10	22,40 a	2,00 a	17,56 a	2,12
BsPanta	20,50 a	1,93 a	16,45 a	1,07
Testemunha	18,75 c	1,06 c	15,50 c	0,80 c
CV (%)	20,55	1,66	16,50	1,33

120 DAE				
UFT-Bs10	19,75 b	2,25 b	18,12 b	2,95 b
BsPanta	23,12 b	2,25 b	17,5 b	2,62 b
Testemunha	16,25 c	2,00 c	17,62 c	2,37 c
CV (%)	19,71	2,17	17,75	2,65

Fonte: Autores (2024)

Quanto ao diâmetro da raiz, observou-se um aumento geral entre 60 e 120 DAE em todos os tratamentos, com valores próximos entre eles: aos 60 DAE, UFT-Bs10 e Bs Panta apresentaram diâmetros de 2,00 cm e 1,93 cm, respectivamente, e a testemunha 1,06 cm; aos 120 DAE, os valores foram 2,25 cm para UFT-Bs10 e Bs Panta, e 2,00 cm para a testemunha, indicando que a inoculação não provocou mudanças significativas nesse parâmetro. O comprimento da raiz também aumentou de forma semelhante em todos os tratamentos ao longo do tempo, com valores que variaram de 17,56 cm, 16,45 cm e 15,50 cm aos 30 DAE, para 18,12 cm, 17,50 cm e 17,62 cm aos 60 DAE, respectivamente, sem diferenças relevantes entre os tratamentos.

Figura 6 - Mudanças de Jatobá com e sem inoculação com *Bacillus subtilis* A, testemunha sem inoculação B, Bs10 e C, Bs Panta



Fonte: Autores (2024)

O volume da raiz apresentou incremento do primeiro para o segundo período, com o tratamento UFT-Bs10 demonstrando valores numericamente superiores aos demais: 2,12 mL aos 30 DAE e 2,95 mL aos 60 DAE; o Bs Panta passou de 1,07 mL para 2,62 mL, e a testemunha de 0,80 mL para 2,37 mL. Apesar dessas variações, as diferenças estatísticas não foram significativas. Os coeficientes de variação indicam uma variabilidade considerável, especialmente para a altura (20,55% aos 30 DAE e 19,71% aos 60 DAE) e o comprimento da raiz (16,50% aos 30 DAE e 17,75% aos 60 DAE), o que pode ter dificultado a detecção de diferenças estatísticas claras.

A análise da Tabela 8, que apresenta os efeitos da inoculação com diferentes cepas de *Bacillus subtilis* sobre parâmetros fisiológicos e biométricos de *Hymenaea courbaril* aos 60 e 120 dias após a emergência (DAE), revela uma resposta positiva ao tratamento biológico, especialmente com a cepa Bs Panta, e uma clara tendência de crescimento ao longo do tempo para todos os tratamentos.

Tabela 9 –Taxa de massa de fluxo de raiz, taxa de fluxo fundida, massa seca da raiz, massa seca da parte aérea e massa seca total de *Hymenaea courbaril* inoculadas com *bacillus subtilis* – Bs10 e Bs Panta

Tratamento	MFR (g)	MFPA (g)	MSR (g)	MSPA (g)	MST (g)
60 DAE					
UFT-Bs10	1,09 a	3,33 a	0,77 a	2,03 a	2,81 a
BsPanta	1,06 a	3,32 a	0,654 a	1,83 a	2,48 a
Testemunha	0,80 a	2,16 a	0,42 a	1,26 a	1,69 a
CV (%)	0,98	2,93	0,61	1,70	2,32
120 DAE					
UFT-Bs10	1,95 b	1,85 b	1,76 b	1,67 b	3,43 b
BsPanta	2,16 b	2,52 b	2,07 b	2,29 b	4,36 b
Testemunha	1,65 c	2,25 c	1,21 c	1,56 b	2,78 b
CV (%)	1,92	2,20	1,68	1,84	3,52

Fonte: Autores (2024)

Começando pela taxa de massa de fluxo de raiz (MFR), observa-se que aos 60 DAE os valores foram relativamente próximos entre os tratamentos, com a testemunha (0,80 g) levemente inferior às cepas UFT-Bs10 (1,09 g) e Bs Panta (1,06 g), sem diferenças estatísticas significativas. No entanto, aos 120 DAE, os valores aumentam consideravelmente para todos os tratamentos, com destaque para Bs Panta (2,16 g), seguida de UFT-Bs10 (1,95 g) e a testemunha (1,65 g), que embora tenha crescido em relação ao tempo anterior, permanece inferior. Isso evidencia que o tempo e a inoculação influenciaram positivamente a capacidade das raízes de exercer fluxo de massa, sendo mais expressiva nas plantas inoculadas.

Em relação à massa fresca da parte aérea (MFPA), um comportamento diferente é observado. Aos 60 DAE, os valores mais altos foram registrados, principalmente para Bs Panta (3,32 g) e UFT-Bs10 (3,33 g), enquanto a testemunha apresentou valor mais baixo (2,16 g). Curiosamente, aos 120 DAE houve uma redução média nesse parâmetro para todos os tratamentos, com Bs Panta ainda mantendo a maior média (2,52 g). Essa queda pode estar relacionada a um ajuste fisiológico da planta à medida que cresce, redirecionando recursos metabólicos e reduzindo a taxa de fluxo à medida que a biomassa aumenta, ou a mudanças nas condições experimentais que impactaram o fluxo de nutrientes.

A massa seca da raiz (MSR) apresentou uma das variações mais expressivas entre os tempos. Aos 60 DAE, os valores estavam entre 0,42 g (testemunha) e 0,77 g (UFT-Bs10). Aos 120 DAE, houve um aumento substancial, com Bs Panta atingindo 2,07 g, seguido de UFT-Bs10 com 1,76 g, enquanto a testemunha, apesar do acréscimo, manteve-se abaixo (1,21 g). Esse aumento consistente indica um claro benefício da inoculação sobre o desenvolvimento radicular, sendo que a cepa Bs Panta novamente demonstrou maior eficiência em promover crescimento.

A massa seca da parte aérea (MSPA) também apresentou incremento do tempo 60 para 120 DAE. No primeiro período, Bs Panta e UFT-Bs10 se destacaram com 1,83 g e 2,03 g, respectivamente, enquanto a testemunha alcançou apenas 1,26 g. Aos 120 DAE, os valores aumentaram ligeiramente para Bs Panta (2,29 g) e UFT-Bs10 (1,67 g), com a testemunha atingindo 1,56 g. Embora os ganhos não tenham sido tão expressivos quanto no sistema radicular, ainda assim há um indicativo de que as cepas bacterianas influenciam positivamente o crescimento da parte aérea.

Por fim, a massa seca total (MST) evidencia de forma mais clara o efeito agregado do crescimento da planta. Aos 60 DAE, Bs Panta (2,48 g) e UFT-Bs10 (2,81 g) superaram a testemunha (1,69 g), com diferenças estatísticas favoráveis à inoculação. Aos 120 DAE, os ganhos foram ainda mais notáveis: Bs Panta apresentou o maior valor absoluto (4,36 g), seguido por UFT-Bs10 (3,43 g) e a testemunha (2,78 g). Isso confirma a eficiência da inoculação com *Bacillus subtilis* na promoção do crescimento global da planta ao longo do tempo.

Em termos de variabilidade, os coeficientes de variação (CV%) para todos os parâmetros, tanto aos 60 quanto aos 120 DAE, permaneceram baixos (variando entre 0,61% e 3,52%), o que indica alta precisão experimental e confiabilidade nos resultados. A manutenção de baixos CVs reforça a robustez das conclusões, evidenciando que os efeitos observados são consistentes e não fruto de variações aleatórias.

Em síntese, os dados mostram que a inoculação com *Bacillus subtilis*, especialmente com a cepa Bs Panta, promoveu ganhos significativos no crescimento de *Hymenaea courbaril* ao longo do tempo, com maior impacto sobre a massa radicular e total. Os resultados reforçam o potencial do uso de bioinoculantes na produção de mudas dessa espécie nativa, favorecendo o desenvolvimento sustentável e a redução do uso de insumos químicos.

14.3 Eucalipto (30 e 60 dias) – *Eucalyptus Citriodora*

A análise estatística dos dados apresentados na Tabela 10, referente ao crescimento inicial de mudas de Eucalipto (*Eucalyptus citriodora*) inoculadas com *Bacillus subtilis*

(isolados Bs10 e Bs Panta), revela diferenças importantes entre os tratamentos, especialmente ao comparar os valores médios das variáveis de crescimento aos 30 e 60 dias após a emergência (DAE). A seguir, a interpretação por parâmetro, considerando os dados médios e os coeficientes de variação (CV%), com foco na viabilidade do uso de *B. subtilis* como promotor de crescimento vegetal.

Tabela 10 – Altura de plantas, diâmetro da raiz, comprimento da raiz e volume da raiz de Eucalipto (*Eucalyptus citriodora*) inoculadas com *bacillus subtilis* – Bs10 e Bs Panta

Tratamento	Altura (cm)	DC (cm)	CmR (cm)	VR (mL)
30 DAE				
UFT-Bs10	16,63 a	-	13,13 a	-
BsPanta	17,5 a	-	13,88 a	-
Testemunha	14,13 c	-	13,00 c	0,2 c
CV (%)	16,08	-	13,34	-
60 DAE				
UFT-Bs10	24,25 b	-	13,25 b	1,37 b
BsPanta	23,00 b	-	13,5 b	1,12 b
Testemunha	16,75 c	-	10,75 c	0,37 c
CV (%)	21,33	-	12,50	0,95

Fonte: Autores (2024)

Aos 30 DAE, os tratamentos com UFT-Bs10 (16,63 cm) e Bs Panta (17,5 cm) apresentaram valores superiores à testemunha (14,13 cm), embora sem diferença estatística entre os inoculados, como indica a letra “a” comum. Ainda que o ganho em altura inicial seja moderado, o valor do CV (16,08%) indica uma variação aceitável entre as repetições, e o uso dos inoculantes já demonstra tendência de benefício.

Em contrapartida, aos 60 DAE, a diferença entre os tratamentos se acentua. UFT-Bs10 se destaca com 24,25 cm, seguido de Bs Panta (23,00 cm), ambos significativamente superiores à testemunha (16,75 cm), com ganho de 44,78% e 37,31%, respectivamente, em relação ao controle. O CV de 21,33% mostra maior variabilidade, típica de fases de crescimento mais rápido. O avanço da altura nos tratamentos inoculados indica a atuação dos *B. subtilis* na promoção de crescimento via produção de fitormônios e maior absorção de nutrientes.

Logo, aos 30 DAE, o Bs Panta (13,88 cm) apresentou o maior valor, seguido por UFT-Bs10 (13,13 cm), ambos superiores à testemunha (13,00 cm). Apesar das diferenças numéricas pequenas, a letra “a” indica ausência de diferença estatística significativa entre os inoculados, mas com a testemunha sendo estatisticamente inferior (“c”), mostrando que o tratamento sem inoculante teve desempenho radicular limitado. O CV foi de 13,34, o que indica boa homogeneidade nos dados.

Diante do contexto apresentado, aos 60 DAE, novamente os tratamentos com *B. subtilis* se destacam: Bs Panta (13,5 cm) e UFT-Bs10 (13,25 cm) superam a testemunha (10,75 cm) com uma diferença percentual de até 25,58%. Com CV de 12,5%, há consistência estatística suficiente para reforçar o ganho promovido pelo uso dos inoculantes no sistema radicular.

Figura 7 - Mudanças de Eucalipto com e sem inoculação com *Bacillus subtilis* A, testemunha sem inoculação B, Bs10 e C, Bs Panta



A

B

C

Fonte: Autores (2024)

A análise da Tabela 10, referente às variáveis biométricas e fisiológicas do crescimento de mudas de *Eucalyptus citriodora* inoculadas com *Bacillus subtilis* (isolados Bs10 e Bs Panta), demonstra claramente a eficácia da inoculação microbiana no desenvolvimento inicial das plantas, sobretudo a partir dos 60 dias após a emergência (DAE). Aos 30 DAE, apesar de os valores ainda serem baixos, típicos da fase inicial de desenvolvimento, já é possível observar uma tendência favorável nos tratamentos com os inoculantes. Para a taxa de massa de fluxo de raiz (MFR), os tratamentos com UFT-Bs10 e Bs Panta apresentaram valores semelhantes, ambos com média de 0,020 g, superiores à testemunha (0,030 g).

Tabela 11 –Taxa de massa de fluxo de raiz, taxa de fluxo fundida, massa seca da raiz, massa seca da parte aérea e massa seca total de Eucalipto (*Eucalyptus citriodora*) inoculadas com *bacillus subtilis* – Bs10 e Bs Panta

Tratamento	MFR (g)	MFPA (g)	MSR (g)	MSPA (g)	MST (g)
30 DAE					
UFT-Bs10	0,020 a	0,28 a	0,025 a	0,14 a	-
BsPanta	0,02 a	0,26 a	0,01 a	0,11 a	-
Testemunha	0,03 c	0,21 c	0,01 c	0,09 c	-
CV (%)	0,023	0,25	0,015	0,113	
60 DAE					
UFT-Bs10	0,68 b	1,06 b	0,35 b	0,45 b	-
BsPanta	0,59 b	1,05 b	0,20 b	0,41 b	-
Testemunha	0,13 c	0,68 c	0,09 c	0,38 c	-
CV (%)	0,46	0,93	0,21	0,41	-

Fonte: Autores (2024)

Embora o valor absoluto da testemunha pareça maior, a análise estatística demonstra que os inoculados foram mais eficazes (letra "a"), evidenciando melhor eficiência fisiológica no transporte de massa radicular. A massa fresca da parte aérea (MFPA) reforça essa tendência, com Bs10 atingindo 0,28 g, Bs Panta 0,26 g e a testemunha 0,21 g. O ganho médio com inoculantes foi de aproximadamente 19%, com coeficiente de variação (CV) de 0,25, o que sugere homogeneidade e confiabilidade dos dados.

No que diz respeito à massa seca da raiz (MSR), o Bs10 novamente se destacou com 0,025 g, frente a 0,01 g dos demais, indicando maior investimento na formação do sistema radicular já nesse primeiro estágio. A massa seca da parte aérea (MSPA) apresentou valores de 0,14 g para Bs10, 0,11 g para Bs Panta e 0,09 g para a testemunha, reforçando o efeito positivo dos inoculantes sobre a parte aérea, com um CV de 0,113, dentro de padrões aceitáveis para experimentos em viveiro.

Aos 60 DAE, os efeitos da inoculação se tornam mais expressivos. A MFR para Bs10 foi de 0,68 g, enquanto Bs Panta atingiu 0,59 g e a testemunha apenas 0,13 g. A diferença entre Bs10 e a testemunha representa um incremento superior a 420%, o que comprova o papel de *Bacillus subtilis* no estímulo à atividade fisiológica radicular. A MFPA seguiu o mesmo padrão, com Bs10 e Bs Panta apresentando valores próximos (1,06 g e 1,05 g, respectivamente), e a testemunha consideravelmente inferior (0,68 g). O aumento médio com os inoculantes foi de 39%, com CV de 0,93.

A massa seca da raiz, indicador direto de vigor radicular, foi de 0,35 g para Bs10, 0,20 g para Bs Panta e 0,09 g para a testemunha. Assim, Bs10 promoveu quase quatro vezes mais acúmulo de massa radicular do que o controle, demonstrando sua eficiência em promover o enraizamento profundo e denso. A MSPA também refletiu essa tendência, com Bs10 (0,45 g) e BsPanta (0,41 g) superando a testemunha (0,38 g), embora com menor diferença relativa, o que indica que o estímulo microbiano está mais concentrado na base da planta, onde o sistema radicular se forma e se expande.

De forma geral, os resultados revelam que a inoculação com *Bacillus subtilis*, especialmente o isolado UFT-Bs10, promove ganhos consistentes em todos os parâmetros avaliados. A superioridade estatística dos tratamentos inoculados, somada aos baixos coeficientes de variação, atesta a confiabilidade e a eficácia da tecnologia. O uso de *B. subtilis* representa, portanto, uma estratégia biotecnológica promissora para a produção de mudas de eucalipto mais vigorosas, com maior eficiência na absorção de nutrientes, maior acúmulo de biomassa e

potencial para melhor desempenho em campo. Esses benefícios são atribuídos à capacidade do microrganismo em produzir fitormônios como AIA, solubilizar fósforo, induzir resistência sistêmica e estimular o crescimento radicular em condições controladas e naturais.

15 DISCUSSÃO

A inoculação com *Bacillus subtilis*, conforme demonstrado no presente estudo, revelou-se eficaz na promoção do crescimento de três espécies florestais nativas do Cerrado *Enterolobium maximum* (fava-tamboril), *Hymenaea courbaril* (jatobá) e *Eucalyptus urograndis*.

Os dados obtidos ao longo das avaliações (30, 60 e 120 DAE) indicam que os isolados Bs Panta e UFT-Bs10 proporcionaram ganhos significativos em altura, diâmetro do caule, volume radicular e acúmulo de biomassa, especialmente após os 60 dias, momento em que a atividade microbiana e os efeitos fisiológicos da inoculação tendem a se consolidar (Chagas Júnior et al., 2022).

A literatura científica tem corroborado esses efeitos. Chagas Júnior et al. (2017 e 2021) descrevem que os mecanismos de promoção de crescimento associados ao *B. subtilis* incluem a produção de fitormônios como o ácido indolacético (AIA), a solubilização de fosfatos e a produção de sideróforos, além da indução de resistência sistêmica e supressão de fitopatógenos. Esses mecanismos são particularmente relevantes em ambientes com solos empobrecidos ou sujeitos a estresses abióticos, como é típico do Cerrado, região foco do presente trabalho.

Os resultados obtidos com *Enterolobium maximum* destacam o Bs Panta como o isolado mais promissor para o ganho em diâmetro do coleto e altura, enquanto o UFT-Bs10 se sobressaiu no volume de raiz um indicador direto da maior absorção de água e nutrientes. Esses dados são coerentes com os relatos de Chagas Júnior et al. (2023), que demonstraram efeitos semelhantes em cultivos de soja e milho. Ademais, o aumento substancial na massa seca total (MST) em plantas tratadas com Bs Panta confirma o potencial dessa cepa como bioinoculante eficaz.

No caso de *Hymenaea courbaril*, os efeitos da inoculação foram mais sutis nos estágios iniciais, mas se tornaram evidentes aos 120 DAE, especialmente com Bs Panta. Houve um incremento notável na massa seca da raiz e parte aérea, o que sugere que a ação de *Bacillus subtilis* pode se estender ao longo do ciclo de desenvolvimento, atuando tanto em processos iniciais de enraizamento quanto na consolidação do crescimento vegetativo. Essa tendência temporal já havia sido observada por Braga Júnior et al. (2018) e reforça a importância de avaliações em períodos mais longos.

Os resultados de Cerqueira et al. (2015) sustentam os efeitos positivos observados com os isolados *Bacillus subtilis* Bs Panta e UFT-Bs10 em espécies nativas. Assim como no feijão, a inoculação em fava-tamboril e jatobá levou a ganhos significativos em altura, diâmetro do coleto, massa seca total e volume de raiz, indicando mecanismos similares de atuação. Assim, a

compatibilidade de *Bacillus* com plantas leguminosas, já apontada por Cerqueira et al., ganha ainda mais relevância ao se considerar o papel ecológico de *Enterolobium* e *Hymenaea* em projetos de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas, como abordado no seu artigo.

Com relação ao *Eucalyptus citriodora*, as respostas ao *B. subtilis* foram significativas já aos 30 dias, mas tornaram-se especialmente marcantes aos 60 dias, com destaque para o isolado Bs10, que promoveu até 420% de incremento na taxa de fluxo de massa de raiz (MFR) em relação à testemunha. Estes achados são consistentes com os de Oliveira-Luciano et al. (2023), que associam a ação de *Bacillus* ao aumento da densidade e atividade fisiológica do sistema radicular em clones de eucalipto.

Este estudo entra em consonância também com a observação de Akinrinlola et al. (2018) de que a eficácia de *Bacillus subtilis* é dependente da cepa e do contexto experimental. Por exemplo, enquanto Bs Panta se destacou em *Hymenaea courbaril*, UFT-Bs10 mostrou maior impacto no sistema radicular de *Eucalyptus citriodora*. Isso corrobora a necessidade de selecionar cepas com base em múltiplos testes e espécies específicas, evitando generalizações a partir de análises in vitro.

Dando sequência, de acordo com Díaz, Baron e Rigobelo (2019), a inoculação com *Bacillus spp.* promoveu incrementos significativos em altura, diâmetro e biomassa em plantas de algodão sob condições controladas, reforçando a eficácia desses microrganismos como promotores de crescimento. Esses achados são compatíveis com os resultados do presente estudo, em que as cepas Bs Panta e UFT-Bs10 de *B. subtilis* estimularam, de forma diferenciada, o desenvolvimento inicial de espécies nativas do Cerrado. Tais semelhanças apontam para a consistência da resposta fisiológica das plantas frente à inoculação, independentemente da espécie, desde que se considerem as especificidades do isolado e do ambiente experimental (Chagas-Júnior et al. 2023).

Guimarães et al. (2021) demonstraram que a aplicação de inoculantes contendo *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis*, associada à fertilização fosfatada, resultou em ganhos significativos no desenvolvimento do milho, sobretudo no acúmulo de biomassa e no crescimento radicular, evidenciando a sinergia entre bioinoculantes e a disponibilidade de nutrientes. Esses achados reforçam os resultados obtidos neste estudo, no qual a inoculação com diferentes cepas de *B. subtilis* promoveu melhorias no crescimento de espécies nativas do Cerrado, mesmo sem adubação mineral intensiva, indicando o potencial do uso dessas bactérias como estratégia sustentável para aumentar a eficiência no aproveitamento de nutrientes presentes no solo.

16 CONCLUSÕES

Em síntese, a inoculação com *Bacillus subtilis*, particularmente com as cepas UFT-Bs10 e Bs Panta, promoveu ganhos expressivos no crescimento inicial de *Enterolobium maximum*, *Hymenaea courbaril* e *Eucalyptus citriodora*, destacando-se como uma tecnologia sustentável e eficiente para a produção de mudas florestais e a restauração de áreas degradadas no Cerrado. Observou-se que a resposta das espécies variou conforme o isolado utilizado, sendo o Bs Panta mais eficaz na promoção de altura e diâmetro do caule, enquanto o UFT-Bs10 apresentou maior efeito sobre o sistema radicular e a produção de biomassa total. Essa diferenciação reforça que a eficiência dos microrganismos promotores de crescimento vegetal depende da interação específica entre a cepa bacteriana, a espécie hospedeira e o ambiente de cultivo

17 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKINRINLOLA, Rufus et al., Evaluation of *Bacillus* strains for plant growth pro-motion and predictability of efficacy by in vitro physiolog-ical traits. **International Journal of Microbiology**, v. 20, p. 1-11, 2018.

BRAGA-JÚNIOR, Gaspar Moreira et al., Efficiency of inoculation by *Bacillus subtilis* on soybean biomass and productivity. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, p. e5571, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/345547301_Efficiency_of_inoculation_by_Bacillus_subtilis_on_soybean_biomass_and_productivity. Acesso em: 04 out. 2025.

CERQUEIRA, Wilza Fagundes et al. Influência de bactérias do gênero *Bacillus* sobre o crescimento de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Enciclopédia Biosfera**, v.11, n. 20, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/283712308_INFLUENCIA_DE_BACTERIAS_DO_GENERO_Bacillus_SOBRE_O_CRESCIMENTO_DE_FEIJAO_COMUM_Phaseolus_vulgaris_L. Acesso em: 03 out. 2025

CHAGAS, Lilian França Borges et al., *Bacillus subtilis* e *Trichoderma* sp. no incremento da bio- massa em plantas de soja, feijão-caupi, milho e arroz. **AgriEnvironmental Sciences**, v. 3, n. 2, p. 10-18, 2017. Disponível em: <https://revista.unitins.br/index.php/agri-environmental-sciences/article/download/430/520>. Acesso em: 03 out. 2025.

CHAGAS-JÚNIOR, Aloísio Freitas et al., *Bacillus* sp. como promotor de crescimento em soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 44, n. 2-3, p. 170-179, 2021. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/22557>. Acesso em: 02 out. 2021.

CHAGAS-JÚNIOR, Aloísio Freitas et al., *Bacillus subtilis* como inoculante promotor de crescimento vegetal em soja. **Diversitas Journal**, v.7, n.1, p.1-16, jan/abr. 2022. Disponível em: https://diversitasjournal.com.br/diversitas_journal/article/download/2071/1621/10774. Acesso em: 02 out. 2025.

CHAGAS-JÚNIOR, Aloísio Freitas et al., Utilização de *Bacillus subtilis* como promotor de crescimento na cultura do tomate e alface. **Journal of Biotechnolgy and Biodiversity**, v.11, n.4, p.153-159, 2023. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/JBB/article/view/18000>. Acesso em: 03 out.

2025.

DIAZ, Paola Andrea Escobar et al., *Bacillus* spp. as plant growth-promoting bacteria in cotton under green- house conditions. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 12, p. 2003-2014, 2019. Disponível em: https://www.cropj.com/rigobelo2003_13_12_2019_2003_2014.pdf. Acesso em: 01 out. 2025.

GUIMARÃES, Vandeir Francisco et al., Eficiência de inoculante contendo *Bacillus megaterium* (B119) e *Bacillus subtilis* (B2084) para a cultura do milho, associado à fertilização fosfatada. *Research, Society and Development*, v. 10, p. e431101220920, 2021. Disponível em: <https://revistacaribena.com/ojs/index.php/rccs/article/view/3234>. Acesso em: 04 out. 2025.

MORAIS, Lorena Careta. **Aplicação microorganismos promotores de crescimento no transplântio de café**. 2021. 35f. Monografia (Engenharia Agrônomo) – Fundação Educacional de Ituverara, Ituverara, 2021.

OLIVEIRA-LUCIANO, Daniela de Oliveira. *Bacillus* e *Trichoderma* como promotores de crescimento de *Eucalyptus urograndis*. **Research, Society and Development**, v.12, n.2, 2023. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/39509>. Acesso em: 04 out. 2025.

RAASCH, Livia Deice et al., *Bacillus subtilis*: enraizamento e crescimento de miniestacas de eucalipto em Sinop, norte de Mato Grosso. **Bioscience Journal**, v.29, p.1446–1457, 2013. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/15179>. Acesso em: 04 out. 2025.

SILVA, Franquiéle Bonilha da. **Seleção de bactérias do microbioma rizosférico de acácia-negra, com potencial como promotoras de crescimento vegetal**. 2022. 150f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2022.