

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

IRWING CARLO NERES DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE INÓCULOS DE FUNGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES NO CONTROLE DA FUSARIOSE NO FEIJÃO-FAVA (*Phaseolus
lunatus* L.).**



IRWING CARLO NERES DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE INÓCULOS DE FUNGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES NO CONTROLE DA FUSARIOSE NO FEIJÃO-FAVA (*Phaseolus
lunatus L.*).**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro de Ciências Exatas,
Naturais e Tecnológicas – CCENT, da
Universidade Estadual da Região
Tocantina do Maranhão – UEMASUL,
como requisito parcial para obtenção do
grau de Licenciatura em Ciências
Biológicas.

Orientador(a): Prof^ª. Dra. Ivaneide de Oliveira
Nascimento

Imperatriz – MA

2025





S586a

Silva, Irwing Carlo Neres da

Avaliação do potencial de inóculos de fungos micorrízicos arbusculares no controle da fusariose no feijão-fava (*Phaseolus lunatus L.*). / Irwing Carlo Neres da Silva. – Imperatriz, MA, 2025.

36 f.; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências Biológicas) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Imperatriz, MA, 2025.

1. Micorrízicos arbusculares. 2. Fusariose. 3. Feijão fava. 4. Imperatriz - MA.
I. Título.

CDU 632:582.28

Ficha elaborada pelo Bibliotecário: **Mateus de Araújo Souza CRB13/955**





IRWING CARLO NERES DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE INÓCULOS DE FUNGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES NO CONTROLE DA FUSARIOSE NO FEIJÃO-FAVA (*Phaseolus
lunatus L.*).**

Aprovada em: 17/07/2025

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
IVANEIDE DE OLIVEIRA NASCIMENTO
Data: 29/07/2025 17:47:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Ivaneide de Oliveira Nascimento

Doutora em Agroecologia

Universidade Estadual da Região Tocantina Do Maranhão

Niara Porto de Carvalho

Prof. Dra. Niara Porto de Carvalho

Doutorado em Produtos Naturais e Sintéticos Bioativos

Universidade Estadual da Região Tocantina Do Maranhão



Documento assinado digitalmente
SILVIO CORTEZ E SILVA
Data: 29/07/2025 18:47:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Silvio Cortez e Silva

Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal)

Universidade Estadual da Região Tocantina Do Maranhão





DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, meus progenitores, irmãos que ainda estão e os que já se foram, amigos próximos e aquela que alimenta a pequena chama no meu coração.





AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha Orientadora, Dra Ivaneide de Oliveira Nascimento, por ter me dado a oportunidade de fazer parte do seu laboratório e compartilhar comigo tantos conhecimentos e experiências sobre microbiologia e sobre a vida acadêmica.

A minha madrinha Marenilde Gomes de Albuquerque por todo o seu suporte afetivo e financeiro e pela motivação diária para prosseguir e concluir a graduação, foi um dos reforços mais importantes nessa árdua jornada.

Agradeço às Professoras Sheila Elke Araujo Nunes, Niara Porto de Carvalho e Regiane Saturnino Ferreira, pelo apoio, incentivo e por toda a ajuda em outras demandas da graduação.

Agradeço a equipe do Laboratório de Microbiologia e Saúde pela troca de experiências, pelos momentos de descontração, pela amizade de cada um e pelo apoio na execução deste trabalho. Agradeço especialmente a Júlia Silva Nepomuceno e a Laiara Carneiro de Sousa pela paciência, contribuição, pelos conhecimentos e momentos compartilhados comigo.

Agradeço a todos os amigos de longa data, da graduação, do trabalho e de outros momentos da vida, especialmente Alana Laisa Moura Silva, Laryssa Stefâny de Azevedo Santos amigas e colegas de turma que sempre me auxiliaram, Ludmila Ferreira, Maria Eduarda Cavalcante Gomes, Ketlen de Lourdes Morais da Silva e Isabela Nycole Abreu Lima pessoas especiais que me ajudaram numa fase de readaptação ao ambiente universitário, por quem tenho muita estima e carinho e espero fazer parte da vida delas acompanhando o crescimento e partilhando do sucesso de cada uma.

Aos meus amigos voluntários Sthefany Sousa e Souza, Lázaro Raelson Alexandre Santos, Sara Stella Rodrigues Lucema, Alanna Kaliny Silva Arrais, Ana Letícia Sousa Sodré, Iury Kauã Sa Mota e Victor Moises Batista Gomes que contribuíram com os projetos posteriores e paralelos a este ajudando, compartilhando momentos e desventuras, crescendo e construindo conhecimento e laços que espero que perdurem por muito tempo.

A minha família, minha fonte de força, inspiração e meu refúgio nas horas difíceis, em especial minha mãe e minhas irmãs Elane Regina da Silva Barros e Josy Neres da Silva que me acompanham desde que nos conhecemos e já compartilhamos tantos momentos que essa conquista é delas tanto quanto minha.





À Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL) que se tornou minha segunda casa durante os anos de graduação e a todos os profissionais vinculados que, direta ou indiretamente, corroboraram para a materialização deste estudo, propiciando um ambiente oportuno ao desenvolvimento acadêmico e científico.





EPÍGRAFE

“Sejais nobre como o sol, que tem a humildade
de emprestar a sua luz para que outros possam
brilhar também”

Augusto Branco





RESUMO

O crescente aumento da população mundial tem exigido o aumento da produtividade em diversas culturas agrícolas de potencial econômico. Dentre a família Fabaceae, o gênero *Phaseolus* é o que apresenta maior importância agrícola, por apresentar grande distribuição e adaptação a diferentes regiões, onde é cultivado principalmente em regime sequeiro. A inoculação de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) vem mostrando-se um método promissor no controle biológico da fusariose. Geralmente o controle dessa doença é feito com o emprego de agroquímicos, porém, estes são prejudiciais tanto ao meio ambiente quanto aos seres humanos. O uso de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) pode representar uma alternativa viável aos fungicidas químicos para o controle da fusariose e sua utilização pode promover o crescimento da planta, aumentar sua resistência e melhorar a qualidade dos frutos, além de possibilitar uma maior resiliência do solo em resposta ao cultivar. Dessa forma, objetiva-se avaliar o potencial de inóculos de FMAs do Parque Nacional da Chapada das Mesas, Ma, no controle da fusariose e crescimento do feijão-fava (*Phaseolus lunatus*). Implantou-se Bioensaio em casa de vegetação com cultivo de feijão-fava com inóculos de FMA no solo para avaliação do desenvolvimento das plantas e inoculação do fungo *F. oxysporum* na raiz para avaliar se os FMAs associados às raízes podem controlar a doença. As plantas inoculadas com FMAs tiveram um crescimento vertical e aumento da massa fresca maior que a testemunha sem inóculos e muito próxima ou superior ao tratamento com adubação fosfatada. Os fungos micorrízicos arbusculares fazem associações naturalmente e proporcionam crescimento e aumento da eficiência de absorção de nutrientes e água, podendo ser uma opção mais barata que defensivos químicos.

Palavras chaves : micorrízicos arbusculares; fusariose; feijão fava.





ABSTRACT

The growing global population has required increased productivity in several crops with economic potential. Among the Fabaceae family, the Phaseolus genus is the most important agriculturally, due to its wide distribution and adaptation to different regions, where it is grown primarily in rainfed conditions. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) has proven to be a promising method for the biological control of fusariosis. This disease is typically controlled using agrochemicals, but these are harmful to both the environment and humans. The use of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) may represent a viable alternative to chemical fungicides for controlling fusariosis. Their use can promote plant growth, increase plant resistance, and improve fruit quality, in addition to enabling greater soil resilience in response to the cultivar. Therefore, the objective here is to evaluate the potential of AMF inoculations from Chapada das Mesas National Park, MA, for controlling fusariosis and the growth of lima beans (*Phaseolus lunatus*). A greenhouse bioassay was implemented with lima bean crops inoculated with AMF in the soil to evaluate plant development and inoculated with the fungus *F. oxysporum* in the roots to determine whether AMF associated with the roots can control the disease. Plants inoculated with AMF showed greater vertical growth and fresh weight gain than the control without inoculants, and very similar to or greater than the treatment with phosphate fertilizer. Arbuscular mycorrhizal fungi form natural associations and promote growth and increased nutrient and water absorption efficiency, potentially representing a cheaper alternative to chemical pesticides.

Keywords: arbuscular mycorrhizal; fusariosis; fava bean.





LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização do Parque	18
Figura 2. Distribuição dos pontos de coleta.	18





LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Avaliação do índice de clorofila em folha de feijão-fava (<i>Phaseolus lunatus L.</i>) cultivada em associação com FMA (fungos micorrízicos arbusculares)	22
Tabela 2. Avaliação do número de folhas no feijão-fava (<i>Phaseolus lunatus L.</i>) cultivada em associação com FMA (fungos micorrízicos arbusculares).....	23
Tabela 3. Avaliação da altura média nas plantas de feijão-fava (<i>Phaseolus lunatus L.</i>) cultivada em associação com FMA (fungos micorrízicos arbusculares)	23
Tabela 4. Avaliação da variação do peso da massa fresca e massa seca da parte aérea e da raiz das plantas de feijão-fava (<i>Phaseolus lunatus L.</i>) cultivada em associação com FMA (fungos micorrízicos arbusculares).....	24
Tabela 5. Avaliação da taxa de colonização das raízes das plantas de feijão-fava (<i>Phaseolus lunatus L.</i>) cultivada em associação com FMA (fungos micorrízicos arbusculares)	24
Tabela 6. Avaliação da incidência de escurecimento do sistema vascular do caule de feijão-fava (<i>Phaseolus lunatus L.</i>) cultivada em associação com FMA (fungos micorrízicos arbusculares)	25





SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1. Fungos Micorrízicos Arbusculares	15
2.2. <i>Fusarium oxysporum</i>	16
2.3. Feijão - Fava	16
3. OBJETIVOS	17
3.1. Objetivo Geral	17
3.2. Objetivos Específicos	17
4. MATERIAIS E MÉTODOS	18
4.1. Área de estudo	18
4.2. Isolamento de esporos para a produção de inóculos	19
4.3. Produção de inóculos	20
4.4. Implantação do experimento	20
4.5. Produção e aplicação de <i>F. oxysporum</i>	21
4.6. Avaliação das plantas	21
4.7. Coloração das raízes	21
4.8. Contagem da colonização das raízes	22
4.9. Análise estatística	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
6. CONCLUSÃO	32
REFERÊNCIAS	34





1. INTRODUÇÃO

O Crescente aumento mundial da produção tem exigido o aumento constante da produtividade em diversas culturas agrícolas de potencial econômico. Dentre as famílias Fabaceae, o gênero *Phaseolus* é o que apresenta maior importância agrícola, por apresentar grande distribuição e adaptação a diferentes regiões, onde é cultivado principalmente em regime sequeiro (Leite, 2021). O feijão-fava (*Phaseolus lunatus L.*) é uma das cinco espécies do gênero e apresenta elevado potencial de produção, ficando atrás somente do feijão comum (*Phaseolus vulgaris L.*) em importância econômica. Além disso, a cultura do feijão-fava, também conhecida por feijão-de-lima, fava-de-lima ou simplesmente fava, é uma das alternativas de renda e alimento para a agricultura familiar da região nordeste do Brasil (Moreira, 2022), representando uma espécie econômica e socialmente importante, devido à sua capacidade de tolerar condições áridas, altas temperaturas, chuvas baixas e erráticas, solo de baixa fertilidade e alta salinidade (Sá et al., 2021).

Não obstante, o feijão-fava se destaca como uma das culturas da região nordeste do Brasil com adoção de pouco uso de tecnologias por agricultores familiares, resultando em baixos índices de produtividade e grande oscilação na produção (Oliveira et al., 2014).

Barreto (2018) ressalta ainda que por receber pouca atenção por parte dos órgãos de pesquisa e extensão, somado ao conhecimento limitado a respeito do seu manejo nos mais diferentes aspectos, resulta em um fator limitante na adoção de tecnologias que aumentem os índices produtivos dessa leguminosa. Um dos fatores que contribui para isso é a utilização de sementes com baixa qualidade sanitária pelos produtores, resultando no baixo índice de produção decorrente da presença de fitopatógenos que acometem essa cultura (Da costa, 2023). Esta Fabaceae apresenta baixa produtividade, atribuída ao fato de ser cultivada em propriedades onde tecnologias adequadas não são adotadas, fazem com que doenças ocorram, e afetam o cultivo e a qualidade dos grãos (Barreto, 2017).

A falta de estudos no que se refere ao manejo adequado contribui fortemente para o agravamento desse fator. Segundo Vieira Junior et al. (2010) a fusariose (*Fusarium oxysporum f. sp. Tracheiphilum*) é uma das mais importantes doenças que acometem esta família, resultando em grandes perdas na produtividade desta cultivar. Destaca ainda que não existem cultivares resistentes, o que dificulta ainda mais o controle da doença. O uso intensivo de agrotóxicos para o controle de doenças das lavouras e pragas tem demandado a atenção de instituições de pesquisa e organismos da sociedade civil que se debruçam em busca de uma alternativa economicamente viável e ambientalmente sustentável para essa atividade (Castro et al., 2019).





Rodrigues e Limeira (2023) salientam que a produção de alimentos de maneira ecológica e ambientalmente sustentável está em crescimento no mercado mundial, pois apresenta-se como uma maneira para substituir o uso de defensivos. A agricultura sustentável é um modo de produção que atua de forma equilibrada para garantir a viabilidade econômica da produção, respeitando os princípios do desenvolvimento sustentável, a fim de produzir e preservar o meio ambiente (Celestrino et al., 2017 apud Limeira; Rodrigues, 2023). A inoculação de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) vem mostrando-se um método promissor no controle da fusariose, além de caracterizar-se com uma estratégia que aumenta a capacidade de resistência da planta ao ataque de patógenos radiculares que cause o desequilíbrio do solo e influência à saúde humana (Pereira, 2006).

2.REFERENCIAL TEÓRICO

2.1.Fungos Micorrízicos Arbusculares

Os Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA), Filo Glomeromycota, classe Glomeromycetes são importantes microrganismos do solo que formam simbiose mutualista, com raízes da maioria das espécies de plantas. Dentre os sete tipos de micorrizas conhecidas (arbuscular, ectomicorriza, ectotedomycorriza, arbutoides, antropeide, ericoide e orquidoide) as micorrizas arbusculares são as mais comuns nos ecossistemas terrestres sendo a simbiose terrestre mais difundida e mais importante entre os organismos e as plantas (Novais et al., 2017).

Os Fungos Micorrízicos Arbusculares ocorrem em muitas espécies de grande valor econômico e em praticamente todos os ecossistemas terrestres, desde os polares até os tropicais úmidos ou desérticos (Smith; Read, 2008). São biotróficos obrigatórios, cujo crescimento e desenvolvimento das hifas dependem da associação simbiótica com as raízes vivas. A associação com as plantas é caracterizada pela penetração inter e intra celular do micélio fúngico nas raízes do hospedeiro sem causar alterações morfológicas macroscópicas (Novais et al., 2017).

Os efeitos benéficos dessa associação para as plantas são bem documentados e geralmente atribuídos, principalmente à melhora da capacidade de absorção de nutrientes. Esse efeito é particularmente observado com aqueles nutrientes de baixa mobilidade no solo, como Fósforo (P), Zinco (Zn), Cobre (Cu) (Smith; Read, 2008). A simbiose dos fungos micorrízicos arbusculares também tem capacidade de reduzir danos causados por patógenos nas raízes (De La Peña et al., 2005) além de aumentar a tolerância das plantas a vários tipos de estresses.





Os FMA contribuem para a agregação do solo tanto pela ação física das hifas, que promovem a aproximação das partículas do solo, quanto pela ação química, uma vez que a parede das hifas dos FMA possui, entre seus componentes, uma glicoproteína denominada glomalina, que é acumulada no solo após a decomposição das hifas e devido ao seu efeito cimentante promove a união das partículas do solo (Novais et al., 2017). A produção de quantidades consideráveis de glomalina, glicoproteína produzida pelas hifas e esporos de FMA, pode contribuir para a hidrofobicidade das partículas do solo, permitindo a penetração do ar e drenagem da água.

2.2. *Fusarium oxysporum*

O ascomiceto *Fusarium oxysporum* f. sp. *tracheiphilum* é um fungo cosmopolita que causa escurecimento vascular de várias plantas e em muitos casos é responsável pela destruição de diversas culturas, entre elas, do feijão-fava (Barreto, 2018). Em um estudo realizado por Gomes (2016) foram identificados os fungos associados às sementes de feijão-fava: *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Rhizopus* sp., *Periconia* sp., *Cladosporium* sp., *Chaetomium* sp., *Fusarium* sp., *Botrytis* sp., e *Colletotrichum* sp. Entre eles, o de maior importância está o *Fusarium* sp. que causa podridão radicular e murcha, provocando grandes perdas anuais, e influenciando diretamente na produtividade desta cultura. Os principais sintomas presentes em uma planta acometida pela fusariose são o escurecimento do feixe vascular, murcha, desfolhação, tombamento e morte da planta (Dean et al., 2012).

2.3. Feijão - Fava

O gênero *Phaseolus* L. (Leguminosae) possui 75 espécies de origem Mesoamericana. O feijão-fava é a segunda espécie mais estudada devido à sua importância alimentar, social e econômica para populações da América do Sul e África. No Brasil, o feijão-fava é preferencialmente cultivado no Nordeste, onde é amplamente consumido. Estudos de caracterização que visam à discriminação e classificação de acessos de feijão-fava pertencentes a diferentes centros de domesticação têm sido importantes para a conservação e caracterização da sua biodiversidade (Lopes et al., 2024).

O feijão-fava se destaca pela capacidade de adaptação a diferentes condições edafoclimáticas, sendo considerado por muitos estudiosos uma espécie mais tolerante à seca do que o feijão-comum. Devido à sua ampla diversidade genética, possui genótipos com boa adaptação às condições adversas do semiárido brasileiro, possibilitando uma prolongada colheita dos grãos





durante o período mais seco, adequando-se bem ao sistema da agricultura familiar (Soares et al., 2022).

3.OBJETIVOS

3.1.Objetivo Geral

Avaliar o potencial de inóculos de FMAs, do Parque Nacional da Chapada das Mesas, MA, no controle da fusariose e crescimento do feijão-fava (*Phaseolus lunatus L.*).

3.2.Objetivos Específicos

- Instalar culturas armadilhas para a multiplicação das espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), provenientes do Parque Nacional da Chapada das Mesas para a produção de inóculos;
- Avaliar crescimento e a incidência da fusariose, no feijão-fava com diferentes culturas de inóculos de FMA, em casa de vegetação;
- Determinar a efetividade da colonização radicular na cultura do feijão-fava associado aos fungos micorrízicos;



4. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, na cidade de Imperatriz - MA, realizado no Período de Novembro de 2023 a agosto de 2024.

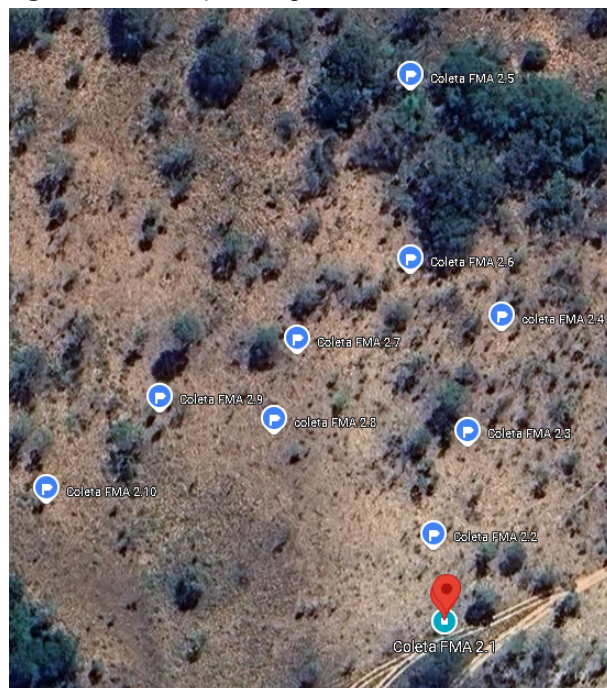
4.1. Área de estudo

As amostras foram coletadas no Parque Nacional da Chapada das Mesas, Carolina - MA, Brasil ($7^{\circ}08'44.5''S$ $47^{\circ}08'40.9''W$), em 10 pontos de vegetação de cerrado aberto nas coordenadas: (P1: $7^{\circ}06'33.9''S$ $47^{\circ}21'16.9''W$; P2: $7^{\circ}06'33.3''S$ $47^{\circ}21'17.0''W$; P3: $7^{\circ}06'32.4''S$ $47^{\circ}21'16.7''W$; P4: $7^{\circ}06'31.4''S$ $47^{\circ}21'16.4''W$; P5: $7^{\circ}06'29.3''S$ $47^{\circ}21'17.2''W$; P6: $7^{\circ}06'30.9''S$ $47^{\circ}21'17.2''W$; P7: $7^{\circ}06'31.6''S$ $47^{\circ}21'18.2''W$; P8: $7^{\circ}06'32.3''S$ $47^{\circ}21'18.4''W$; P9: $7^{\circ}06'32.1''S$ $47^{\circ}21'19.4''W$; P10: $7^{\circ}06'32.9''S$ $47^{\circ}21'20.4''W$) (Figura 1 e 2).

Figura 1: Mapa de localização do parque.



Figura 2: distribuição dos pontos de coleta



Fotos via satélite retiradas do Google Earth, obtidas em 08.09.2024. Fonte: Autor, 2024.

As amostras de solo para a avaliação da comunidade nativa de FMA foram coletadas na profundidade de 0 a 20 cm, com auxílio de um trado. De cada área coletou-se cinco amostras





compostas formadas por cinco sub-amostras, retiradas em pontos aleatórios da área. Cada amostra de solo composta foi homogeneizada, o processo de secagem à sombra, peneirada e individualmente acondicionada em saco plástico e mantida refrigerada a 5° C até o momento da extração de esporos.

4.2. Isolamento de esporos para a produção de inóculos

Os esporos de FMA foram extraídos do solo segundo metodologia de peneiramento úmido (Gerdemann; Nicolson, 1963) e centrifugação com sacarose (Jenkins, 1964), para executá-la: Duas peneiras, de 800 µm e 45 µm, foram acopladas em ordem decrescente.

A amostra de solo foi homogeneizada com aproximadamente 1000 ml de água comum dentro de um balde comum e aguardou-se por 1 min para que a parte mais pesada decantasse, verteu-se o sobrenadante nas peneiras (o processo foi repetido 3x), com o auxílio de uma pisseta, o material retido na peneira de malha de 45 µm foi transferido para um tubo de falcon, depois acrescentou-se água destilada no tubo de falcon até a marca de 30ml, depois de pesar os tubos para balancear o peso.

A amostra foi para a primeira centrifugação à uma rotação de 3000 rpm por três minutos para decantar o material mais pesado do solo, o sobrenadante foi descartado com cuidado para não agitar a amostra, adicionou-se a solução de sacarose até chegar na marca de 40 ml no tubo de falcon.

Após o balanceamento dos tubos com o auxílio da balança, os tubos foram agitados suspendeu-se o precipitado na sacarose homogeneizando a amostra, foram levados para a segunda centrifugação à uma rotação de 1000 rpm por um minuto, o sobrenadante da sacarose foi vertido na peneira de malha 45 µm, e a amostra foi lavada em água corrente por 2 minutos para remover a sacarose, com o auxílio de pisseta.

Os esporos foram resgatados da peneira e guardados em tubos de Falcon e foi acrescentada água destilada até a marca de 25 ml e guardados na geladeira por um período de no máximo 48 hs (é a janela em que eles ficam viáveis para inoculação nas plantas armadilhas).

A seleção dos esporos foi feita vertendo a água dos tubos de falcon em uma placa de Petri e observando ela no microscópio estereoscópico, com o auxílio das mini-lanças, separou-se os esporos da matéria orgânica, os esporos foram selecionados por semelhanças morfológicas, resgatados com a micropipeta e armazenados em microtubos e transportados para os vasos contendo as plantas armadilhas.





4.3. Produção de inóculos

O solo para a produção de inóculos foi esterilizado a vapor na autoclave com dois ciclos de 1 hora com intervalos de 24 horas entre eles, logo após o segundo ciclo o solo ficou reservado por 7 dias em repouso, o substrato foi colocado em vasos com capacidade de 1Kg semeando-se gramínea *Brachiaria* como planta isca, segundo metodologia descrita por Colozzi-Filho e Balota (1994).

As sementes foram desinfestadas superficialmente com álcool 70% (3 minutos), seguido de hipoclorito de sódio a 1% (3 minutos) e água destilada (3 minutos), as sementes foram semeadas nos vasos armadilhas e 10 dias após a germinação foram inoculadas com esporos de três gêneros de FMA (*Gigaspora sp.*, *Glomus sp.* e *Acaulospora sp.*). As plantas foram cultivadas por um período de 4 meses, ao final desse período as plantas tiveram a irrigação suspensa por duas semanas, logo em seguida eliminadas (Miranda, 2008) e o substrato recolhido e guardado na geladeira para ser usado no cultivo do feijão fava.

4.4. Implantação do experimento

O solo para o experimento foi selecionado e uma pequena porção foi separada para análise química, o experimento utilizou vasos com capacidade de 3kg dos quais foram preenchidos com 2Kg de solo misturados com 1Kg de areia para proporcionar uma boa drenagem. O solo e a areia foram esterilizados (separadamente) a vapor na autoclave com dois ciclos de 1 hora cada com intervalo de 24 horas entre os ciclos, após o segundo ciclo os solos e a areia descansaram por 7 dias antes da implementação do experimento. As sementes foram desinfetadas superficialmente com álcool 70% (3 minutos), seguido de hipoclorito de sódio a 1% (3 minutos) e água destilada (3 minutos).

A semeadura foi realizada no fim do dia com os vasos tendo sido irrigados um dia anterior para ter um grau razoável de hidratação, cada um dos 20 vasos recebeu 10 sementes dos quais os 12 vasos que teriam inóculos de micorrizas, foram etiquetados e o do solo com esporos foram pesados 50 g das quais 30 g foram depositadas com o auxílio de um colher descartável na cova sob as sementes e 20g em volta delas e cobertas com uma camada de 5 cm do solo esterilizado do vaso, os 4 vasos com a correção de adubação receberam 0,34g de adubo inorgânico a base de fósforo depositados em volta da cova com cuidado para não entrar em contato com as sementes





para evitar prejudicar a integridade física das sementes, sendo absorvido conforme for diluído pela água das irrigações e os quatro vasos de testemunha receberam apenas as sementes. As plantas foram irrigadas todos os dias durante a fase de germinação preferencialmente pelo período da manhã após os 20 dias depois da germinação foram regadas de segunda a sábado e alguns domingos.

4.5. Produção e aplicação de *F. oxysporum*

O isolado foi incubado em meio BDA (Batata-Dextrose-Ágar) sólido, à temperatura de 26°C com 12 horas de luz, durante 7 dias. O inóculo foi obtido pela adição de 20 ml de água destilada às placas de Petri (10 placas), com o auxílio de uma lâmina foi feita a raspagem da colônia fúngica com cuidado para não trazer parte do meio de cultura, após a filtração, foi realizado o ajuste na concentração do inóculo com auxílio de uma câmara de Neubauer, para obter suspensão de 10^6 conídios.mL⁻¹. Foi possível produzir 217 ml de solução de *F. oxysporum* o que representa metade da solução descrita na metodologia, como já era a segunda reprodução do fungo e o cronograma estava apertado a solução foi dividida entre os 20 vasos, vertendo 10 ml de solução de esporos no solo e com uma lâmina esterilizada com álcool 70% foi realizado um pequeno corte em forma de lua rente ao solo para facilitar a colonização do fungo.

4.6. Avaliação das plantas

Foi realizada a quantificação do índice de clorofila em duas folhas do feijão fava por tratamento a partir do 23º dia com intervalos de 15 dias, nos horários entre 7:00hs às 10:00hs, a medição foi realizada através do aparelho SPAD (Soil Plant Analysis Development) - 502 plus, as leituras foram realizadas nas folhas mais verdes, limpas e secas para evitar interferência, cada folha teve quatro pontos lidos, e foi registrada a média de cada folha. As plantas foram coletadas aos 68 dias do experimento e avaliados os seguintes parâmetros: comprimento da parte aérea, número de folhas, massa fresca e seca da parte aérea e raízes e a colonização das raízes.

4.7. Coloração das raízes

As raízes foram separadas da parte aérea com cuidado, durante a peneiração do solo as raízes mais finas, lavadas e pesadas 1g de cada uma das 12 amostras com inóculos, foram guardadas em mini tubos de 20 ml e preservadas em álcool 70%. Para a coloração das raízes, a solução com álcool e as raízes foram peneiradas e lavadas com água corrente para retirada do álcool, coletadas da peneira com o auxílio de uma pinça, cada amostra foi armazenada em um tubo





de ensaio e recebeu 10 ml de solução de KOH 2,5% e colocadas em banho-maria a 90° C por 60 minutos (tempo máximo recomendado). Após verter a solução de KOH e lavar bem com água corrente, foi distribuído 10 ml da solução de HCl 1% e permaneceu nos frascos por 2 horas (tempo mínimo recomendado), após as 2 horas de espera a solução foi despejada na peneira para coleta das raízes e dessa vez não foi feita a lavagem com água corrente porque as raízes precisam estar acidificadas para a fixação do corante na faixa do espectro azul. Os tubos de ensaio foram envolvidos em papel alumínio etiquetados e cada um recebeu 10 ml da solução de azul de tripano 0,05 % em glicerol acidificado, tampados com papel alumínio e papel filme para ajudar a fixar e deixados em repouso por uma noite para avaliação da colonização das raízes no dia seguinte.

4.8. Contagem da colonização das raízes

A contagem foi feita utilizando o método Grid Line (Giovannetti e Mosse, 1980), que consiste na personalização de uma placa de Petri com uma tela quadriculada com grades de dimensões 1,27 cm x 1,27 cm colada na sua base, uma por uma as amostras foram distribuídas homogeneamente dentro da placa de Petri quadriculada com uma quantidade razoável de água evitando transbordar, distribuindo ela o mais uniforme possível, com o auxílio do microscópio estereoscópico fez-se a avaliação da presença ou ausência de colonização nos pontos de encontro entre os fragmentos de raízes e as linhas horizontais e verticais da grade colada na base da placa de petri. Nos pontos de interseção onde houver presença de colonização (presença de qualquer estrutura do fungo: hifa, esporo, vesícula, arbúsculo,) conta-se como “SIM”, se não houver nenhum indício de colonização conta-se como “NÃO”. Realizada a contagem total das intersecções das linhas horizontais e verticais foi calculada a porcentagem de colonização micorrízica (% CM) usando a fórmula: $\% \text{ CM} = \text{SIM} / (\text{SIM} + \text{NÃO}) \times 100$.

4.9. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$) no programa estatístico SISVAR.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos demonstram variações no índice de clorofila ao longo dos períodos analisados (23, 38, 53 e 68 dias) entre os diferentes tratamentos. De maneira geral, os tratamentos





com fungos micorrízicos (*Gigaspora sp.*, *Glomus sp.* e *Acaulospora sp.*) apresentaram médias superiores à testemunha, com destaque para *Glomus sp.* (35,05) e *Acaulospora sp.* (34,75) (Tabela 1), apontando um efeito positivo sobre a manutenção da clorofila nas folhas, corroborando com estudos que relacionam a inoculação com FMAs ao aumento da eficiência fotossintética e absorção de nutrientes (Moreira; Siqueira, 2006; Souza et al., 2019). O tratamento com adubação fosfatada apresentou queda acentuada no último período (5,19), o que impactou a média geral (32,60), apesar dos altos valores iniciais. A variabilidade dos dados aumentou nos tempos mais tardios, como indicado pelos coeficientes de variação elevados em 53D (26,13%) e 68D (24,11%) (Tabela 1). No entanto, os valores de p indicam ausência de significância estatística entre os tratamentos em todos os períodos ($p > 0,05$) (Tabela 1), indicando que as diferenças observadas podem estar relacionadas à variabilidade natural e não necessariamente ao efeito dos tratamentos.

A maior estabilidade dos índices de clorofila nos primeiros períodos (23D e 38D) pode estar associada à intensificação da simbiose micorrízica, favorecendo a absorção de fósforo, elemento essencial para o metabolismo vegetal (Smith; Read, 2008). Essa tendência foi observada por Oliveira et al. (2021), que verificaram maior conteúdo de clorofila em plantas de milho inoculadas com *Glomus glomerulatum*, especialmente nos estágios vegetativos iniciais.

Por outro lado, o tratamento com adubação fosfatada apresentou declínio acentuado no índice de clorofila aos 68 dias (5,19), possivelmente devido à saturação do fósforo no solo, o que pode inibir a colonização micorrízica (Aurelio et al., 1999). Tal efeito foi evidenciado por Rocha et al. (2006), que observaram interferência negativa da fertilização fosfatada sobre a simbiose micorrízica em *Cedrela fissilis*, impactando diretamente os parâmetros fisiológicos da planta.

Embora as médias entre os tratamentos indiquem tendências de aumento no índice de clorofila com o uso de FMAs, os valores de p ($> 0,05$) e os altos coeficientes de variação (CV%) em períodos tardios sugerem ausência de significância estatística, possivelmente decorrente da heterogeneidade nas respostas das plantas ou das condições ambientais (Cruz; Regazzi; Carneiro, 2012).

Isso evidencia a necessidade de estudos complementares com maior controle experimental e amostragens mais robustas.





TABELA 1 - Avaliação do índice de clorofila em folha de feijão-fava (*Phaseolus lunatus L.*) cultivada em associação com FMA (fungos micorrízicos arbusculares).

Tratamentos	ÍNDICE DE CLOROFILA				
	23D	38D	53D	68D	<u>X</u>
Testemunha	40,33a	36,00a	29,85a	19,33a	31,37a
<i>Gigaspora sp.</i>	39,60a	35,00a	32,20a	23,77a	32,65a
<i>Glomus sp.</i>	42,77a	42,10a	35,77a	19,80a	35,05a
<i>Acaulospora sp.</i>	44,87a	37,50a	34,97a	21,80a	34,75a
Adubação com fósforo	41,75a	44,93a	24,68a	5,19a	32,60a
CV (%)	9,04	15,40	26,13	24,11	0,33
p – valor	0,3450	0,1490	0,3588	0,6356	0,1180

Fonte: Autor, 2024.

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si, a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. **Testemunha**: sementes não inoculadas com FMA. Fonte: Autor, 2024.

Os resultados obtidos evidenciam variações significativas no número de folhas entre os tratamentos ao longo do tempo, especialmente aos 38 e 53 dias após o plantio, conforme indicado pelos valores de *p* inferiores a 0,05. A adubação fosfatada apresentou os maiores valores nesses períodos, atingindo 16,25 folhas (38D) e 18,75 folhas (53D) (Tabela 2), sugerindo um forte estímulo ao crescimento vegetativo. Esse resultado está de acordo com Bonfim-Silva et al. (2010), que observaram incremento no número de folhas de trigo em resposta a doses crescentes de fósforo.

O tratamento com *Acaulospora sp.* também se destacou, com aumento expressivo no número de folhas em 38 dias (11,75) (Tabela 2), possivelmente relacionado à eficiência dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) na absorção de fósforo e promoção do crescimento vegetal, como relatado por Moreira e Siqueira (2006). Em trabalhos com *Passiflora alata*, Riter Netto et al. (2014) demonstraram que a inoculação com FMAs elevou significativamente o número de folhas, mesmo em ausência de adubação fosfatada, destacando o potencial compensatório da simbiose micorrízica em solos com baixa disponibilidade de nutrientes.





Apesar dos resultados positivos nos estágios intermediários, observou-se uma queda geral no número de folhas aos 68 dias em todos os tratamentos, sem diferenças significativas ($p = 0,2175$). Isso pode ser atribuído à senescência natural ou ao estresse por excesso de nutrientes, especialmente fósforo, o que pode interferir negativamente na colonização micorrízica. Segundo Rocha et al. (2006), elevadas doses de fósforo reduzem a simbiose micorrízica em *Cedrela fissilis*, afetando negativamente o crescimento foliar.

A interação entre FMAs e fósforo é complexa. Embora o fósforo seja essencial para o metabolismo vegetal, seu excesso pode inibir a colonização micorrízica e anular os efeitos benéficos da inoculação, como relatado por Aguiar et al. (2004) em estudos com *Prosopis juliflora*. Portanto, o equilíbrio na adubação é fundamental para potencializar os efeitos da micorrização no desenvolvimento foliar.

Embora os valores médios indiquem tendências positivas, os altos coeficientes de variação (CV%) em alguns períodos e os valores de p não significativos em outros momentos apontam para uma elevada heterogeneidade nas respostas das plantas. Isso reforça a necessidade de estudos mais detalhados com maior controle experimental, além da análise da disponibilidade de fósforo no solo.

TABELA 2 - Avaliação do número de folhas no feijão-fava (*Phaseolus lunatus L.*) cultivada em associação com FMA (fungos micorrízicos arbusculares).

Tratamentos	NÚMERO DE FOLHAS				
	23D	38D	53D	68D	\bar{X}
Testemunha	5,75a	9,0a	12,00ab	3,03a	3,09a
<i>Gigaspora sp.</i>	5,25a	7,25a	8,00a	2,97a	2,84a
<i>Glomus sp.</i>	5,00a	10,50ab	14,00ab	3,74a	3,40a
<i>Acaulospora sp.</i>	6,50a	11,75ab	12,00ab	3,38a	3,92a
Adubação com fósforo	8,25a	16,25a	18,75ab	3,63a	3,84a
CV (%)	31,77	27,01	32,70	16,04	19,59
p - valor	0,1837	0,0072	0,0318	0,2175	0,1535

Fonte: Autor, 2024





Os resultados obtidos indicam que o tratamento com *Acaulospora* sp. promoveu os maiores valores de altura média das plantas ao longo dos períodos avaliados, com destaque para os 23 dias (90,00 cm) e a média geral (105,31 cm), sendo estatisticamente superior à testemunha ($p = 0,0085$ e $p = 0,0471$, respectivamente) (Tabela 3). Esse desempenho está alinhado com estudos que demonstram o potencial dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) em estimular o crescimento vegetal por meio da melhoria na absorção de nutrientes, especialmente fósforo, e da maior tolerância a estresses ambientais (Siqueira et al., 2007; Vergara et al., 2019).

O tratamento com *Glomus* sp. também apresentou resultados expressivos, com altura média de 86,56 cm, superando a testemunha em todos os períodos, embora sem significância estatística nos tempos intermediários (Tabela 3). Segundo Flores-Aylas et al. (2003), a inoculação com *Glomus etunicatum* contribui para o crescimento de mudas em solos degradados, reforçando seu papel na promoção do desenvolvimento vegetal.

A adubação fosfatada apresentou desempenho intermediário, com média de 81,25 cm, sendo estatisticamente semelhante aos tratamentos com FMAs (Tabela 3). Embora o fósforo seja essencial para o crescimento das plantas, sua aplicação isolada pode não ser tão eficiente quanto a simbiose micorrízica, que potencializa a absorção e o aproveitamento do nutriente (Bonfim-Silva et al., 2010; Duarte, 2025). Além disso, o excesso de fósforo pode inibir a colonização micorrízica, como observado por Rocha et al., (2006), o que pode explicar a estabilização dos valores nos períodos finais.

A ausência de significância estatística nos tempos de 38, 53 e 68 dias ($p > 0,05$) pode estar relacionada à alta variabilidade dos dados, como indicado pelos coeficientes de variação elevados ($CV > 24\%$) (Tabela 3), ou à adaptação das plantas às condições ambientais ao longo do tempo. Ainda assim, os tratamentos com FMAs mantiveram tendência de crescimento superior à testemunha, evidenciando seu potencial agrônomo.

Esses resultados corroboram com a literatura que destaca os FMAs como ferramentas promissoras para a agricultura sustentável, especialmente em solos tropicais com baixa disponibilidade de fósforo (Embrapa, 2019). A simbiose micorrízica não apenas melhora o crescimento das plantas, mas também contribui para a estruturação do solo e a resiliência das culturas frente a estresses bióticos e abióticos.





TABELA 3 - Avaliação da altura média nas plantas de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) cultivada em associação com FMA (fungos micorrízicos arbusculares).

Tratamentos	ALTURA MÉDIA				
	23D	38D	53D	68D	\bar{X}
Testemunha	46,00a	65,00a	69,00a	73,00a	61,25a
<i>Gigaspora</i> sp.	70,75ab	76,00a	83,25a	80,00a	77,50ab
<i>Glomus</i> sp.	80,00b	84,00a	93,25a	92,00a	86,56ab
<i>Acaulospora</i> sp.	90,00b	104,00a	109,50a	117,50a	105,31b
Adubação com fósforo	74,00ab	86,50a	82,50a	82,00a	81,25ab
CV (%)	20,07	24,65	25,01	28,78	21,91
p - valor	0,0085	0,1473	0,1657	0,1730	0,0471

Fonte: Autor, 2024.

A análise dos dados revela que os tratamentos com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), em especial *Acaulospora* sp. e *Glomus* sp., apresentaram os maiores valores absolutos para massa fresca e seca da parte aérea e das raízes. Embora não tenha havido diferença estatística significativa para a massa aérea ($p > 0,05$) (Tabela 4), observa-se uma tendência de crescimento superior nos tratamentos inoculados com FMAs quando comparados à testemunha, sugerindo efeitos fisiológicos positivos decorrentes da simbiose micorrízica, como aumento da absorção de nutrientes, especialmente fósforo (Moreira; Siqueira, 2006).

Na massa fresca da raiz, o tratamento com *Acaulospora* sp. apresentou resultado estatisticamente superior ($p = 0,0115$) à testemunha (Tabela 4), evidenciando a eficácia dessa espécie fúngica na promoção do crescimento radicular. Segundo Rodak et al. (2023) fungos micorrízicos favorecem o desenvolvimento radicular ao ampliar o volume de solo explorado, o que resulta em maior absorção de água e nutrientes.

A adubação fosfatada, por sua vez, apresentou desempenho semelhante ao dos FMAs na massa seca da parte aérea (2,23 g) (Tabela 4), porém inferior na massa radicular. Isso indica que, embora o fósforo seja um elemento essencial para o crescimento vegetal, sua aplicação isolada pode não promover o mesmo efeito que a simbiose micorrízica. Bonfim-Silva et al. (2017) ressaltam





que o excesso de fósforo pode inibir a colonização micorrízica, reduzindo os benefícios agrônômicos da interação planta-fungo.

Além disso, estudos como o de Embrapa (2019) demonstram que os FMAs podem aumentar a massa seca de plantas em até 75%, reforçando sua importância como biofertilizantes e agentes promotores de crescimento. A significativa variabilidade dos dados ($CV > 40\%$ em massa aérea) pode estar associada à heterogeneidade natural das plantas ou ao efeito combinado de fatores edáficos e ambientais, o que ressalta a necessidade de experimentações com maior número de repetições e controle dos fatores abióticos.

Portanto, os resultados obtidos corroboram com as evidências da literatura que indicam os FMAs como ferramentas promissoras para a agricultura sustentável, atuando não apenas na promoção do crescimento vegetal, mas também na melhoria da qualidade do solo e resiliência das culturas frente a estresses bióticos e abióticos.

TABELA 4 - Avaliação da variação do peso da massa fresca e massa seca da parte aérea e da raiz das plantas de feijão-fava (*Phaseolus lunatus L.*) cultivada em associação com FMA (fungos micorrízicos arbusculares).

Tratamentos	MASSA			
	AÉREA		RAIZ	
	Fresca	Seca	Fresca	Seca
Testemunha	4,64a	1,59a	3,58a	1,18a
<i>Gigaspora sp.</i>	6,19a	1,42a	6,15ab	1,23a
<i>Glomus sp.</i>	9,31a	2,27a	10,17ab	1,55a
<i>Acaulospora sp.</i>	8,98a	2,08a	12,21b	1,49a
Adubação com fósforo	6,91a	2,23a	9,43ab	1,41a
CV (%)	42,68	40,94	37,92	12,55
p - valor	0,2208	0,4419	0,0115	0,0628

Fonte: Autor, 2024.

Os resultados obtidos indicam que os tratamentos com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) promoveram diferentes níveis de colonização radicular, com destaque para *Glomus sp.*





(16,73%) e *Acaulospora sp.* (14,58%). Embora *Gigaspora sp.* tenha apresentado o menor valor (11,29%), não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos ($p = 0,3764$), o que pode estar relacionado à elevada variabilidade dos dados ($CV = 36,88\%$) (Tabela 5), o trabalho de Campus et al. (2011) apresenta variações de colonização de FMA que varia entre 3,4% e 62,1%.

A colonização micorrízica é uma característica que pode ser afetada por inúmeros fatores como a espécie vegetal, a idade da planta, a densidade de raízes, dos propágulos fúngicos no solo e do tipo de manejo empregado no solo na hora do plantio, dentre outros.

Segundo Moreira e Siqueira (2006), a colonização micorrízica é influenciada por diversos fatores, como espécie vegetal, tipo de fungo, condições edáficas e ambientais. A literatura aponta que *Glomus spp.* são altamente eficientes na colonização de raízes, especialmente em solos tropicais com baixa disponibilidade de fósforo, o que pode justificar seu desempenho superior neste estudo (Rodak et al., 2023).

A taxa de colonização das raízes é um fator importante para a afetividade da associação, a resistência ao patógeno pode ter sido afetada pela baixa taxa de colonização, porém, a transição da estação seca para chuvosa não afeta a colonização e esporulação dos Fungos Micorrízicos Arbusculares. Fato este que é possivelmente explicado porque os atributos físicos e químicos do solo pouco se alteram entre as duas épocas (Silva, 2017).

Estudos realizados por Oliveira et al. (2005) com cultivares de bananeira em Latossolo da Amazônia mostraram colonizações variando entre 44,7% e 54,9%, valores superiores aos observados neste experimento. Essa diferença pode ser atribuída à espécie vegetal utilizada, ao estágio de desenvolvimento das plantas e às condições ambientais específicas do experimento.

Além disso, a baixa porcentagem de colonização observada pode estar relacionada à presença de fósforo no solo, uma vez que doses elevadas desse nutriente são conhecidas por inibir a simbiose micorrízica (Júnior et al., 2022). Hippler et al. (2011) demonstraram que a maior eficiência micorrízica e colonização radicular ocorrem em doses moderadas de fósforo, sendo reduzidas em concentrações elevadas.

A ausência de significância estatística entre os tratamentos reforça a necessidade de estudos complementares com maior número de repetições, controle da disponibilidade de fósforo e avaliação da eficiência simbiótica dos FMAs utilizados. A caracterização morfológica das estruturas





micorrízicas (hifas, vesículas e arbúsculos) também pode contribuir para uma compreensão mais aprofundada da interação simbiótica.

TABELA 5 - Avaliação da taxa de colonização das raízes das plantas de feijão-fava (*Phaseolus lunatus L.*) cultivada em associação com FMA (fungos micorrízicos arbusculares).

Tratamentos	COLONIZAÇÃO DAS RAÍZES
	(Média)
<i>Gigaspora sp.</i>	11,29%
<i>Glomus sp.</i>	16,73%
<i>Acaulospora sp.</i>	14,58%
CV (%)	36,88
p – valor	0,3764

Fonte: Autor, 2024.

A incidência de escurecimento do sistema vascular do caule foi observada em todos as repetições (R1 a R4) no tratamento testemunha e em *Acaulospora sp.*, enquanto os tratamentos com *Gigaspora sp.* e *Glomus sp.* apresentaram ausência do sintoma em R4. O tratamento com adubação fosfatada foi o único que não apresentou escurecimento em nenhuma repetição, sugerindo possível efeito protetor ou supressivo sobre o agente causador do sintoma (Tabela 6).

O escurecimento vascular é frequentemente associado à presença de patógenos vasculares, como fungos do gênero *Fusarium* ou *Verticillium* que comprometem o transporte de água e nutrientes, levando à murcha e morte da planta (Quezado-Duval et al., 2022). A ausência do sintoma no tratamento com adubação fosfatada pode estar relacionada à melhoria da nutrição vegetal e ao fortalecimento das barreiras estruturais e bioquímicas da planta, como lignificação e produção de fitoalexinas (Silva et al., 2020).

Por outro lado, os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), embora reconhecidos por promoverem crescimento vegetal e tolerância a estresses abióticos (Wang et al., 2024) podem apresentar variações na eficácia contra patógenos dependendo da espécie fúngica, da planta hospedeira e das condições ambientais. Estudos indicam que *Glomus spp.* e *Gigaspora spp.* podem induzir resistência sistêmica adquirida (RSA) em algumas culturas, reduzindo a severidade de





doenças vasculares (Bonfim et al., 2016). A ausência de escurecimento em R4 nos tratamentos com *Glomus* e *Gigaspora* pode refletir essa indução parcial de resistência.

Entretanto, a persistência do sintoma em todas as repetições no tratamento com *Acaulospora sp.* sugere que essa espécie fúngica não conferiu proteção efetiva contra o agente causal do escurecimento vascular. Isso pode estar relacionado à menor capacidade de indução de resistência ou à competição por recursos na rizosfera, favorecendo o patógeno (Oliveira; Paixão; Amorim, 2009).

A literatura também aponta que o equilíbrio nutricional, especialmente o fornecimento adequado de fósforo, pode reduzir a suscetibilidade das plantas a doenças vasculares (Duarte, 2025). O fósforo está envolvido na síntese de compostos estruturais e metabólicos que fortalecem os tecidos vegetais e dificultam a colonização por patógenos (Embrapa, 2020).

Portanto, os resultados sugerem que a adubação fosfatada foi o tratamento mais eficaz na prevenção do escurecimento vascular, enquanto os FMAs apresentaram efeitos variáveis, com destaque para *Glomus* e *Gigaspora* como potenciais indutores de resistência parcial. A ausência de significância estatística não invalida a relevância biológica dos achados, que devem ser aprofundados em estudos com maior controle experimental e avaliação da presença de patógenos específicos.

Tabela 6 - Avaliação da incidência de escurecimento do sistema vascular do caule de feijão-fava (*Phaseolus lunatus L.*) cultivada em associação com FMA (fungos micorrízicos arbusculares).

Tratamentos	INCIDÊNCIA DE ESCURECIMENTO DO SISTEMA VASCULAR DO CAULE			
	R1	R2	R3	R4
Testemunha	Presente	presente	presente	Presente
<i>Gigaspora sp.</i>	Presente	presente	presente	Ausente
<i>Glomus sp.</i>	Presente	presente	presente	Ausente
<i>Acaulospora sp.</i>	Presente	presente	presente	Presente
Adubação com fósforo	Ausente	ausente	ausente	Ausente

Fonte: Autor, 2024.





O desempenho dos tratamentos com inóculos foram bem próximos e em alguns casos superior a adubação, as plantas do experimento apresentaram floração no 44º dia e o tratamento testemunha só a partir do 50º dia. Em trabalho realizado por Oliveira et al. (2014) foram observadas diferenças de até 20 dias para início do florescimento de feijão-fava entre 8 variedades estudadas, sendo que as mais precoces iniciaram a floração aos 49 dias, e as mais tardias aos 71 dias após a semeadura.

6. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos evidenciam o potencial dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), em especial *Acaulospora* sp. e *Glomus* sp., na promoção do crescimento vegetal, mesmo diante da ausência de significância estatística em diversos parâmetros avaliados. O tratamento com *Acaulospora* sp. destacou-se por proporcionar maior altura média das plantas e incremento da massa radicular fresca, enquanto *Glomus* sp. apresentou maior taxa de colonização micorrízica e contribuiu para a manutenção dos níveis de clorofila foliar ao longo dos períodos analisados. Por sua vez, a adubação fosfatada foi eficaz na estimulação do crescimento foliar nos estágios intermediários e na supressão do escurecimento vascular, embora tenha ocasionado declínio acentuado nos índices de clorofila em etapas posteriores do experimento, possivelmente devido à saturação de fósforo no solo. A elevada variabilidade dos dados, expressa pelos altos coeficientes de variação, comprometeu a obtenção de significância estatística em grande parte das análises, sugerindo heterogeneidade nas respostas das plantas às condições ambientais e aos tratamentos aplicados, apesar da grande variação do desempenho das plantas inoculadas com micorrizas os resultados foram positivos quando comparados com os resultados da adubação mineral e muito superiores aos resultados do controle. Assim, os achados ressaltam a relevância dos FMAs como alternativas sustentáveis para o manejo agrícola, sobretudo em ambientes tropicais com baixa disponibilidade de fósforo. Recomenda-se a realização de estudos complementares com maior rigor experimental, controle da fertilidade do solo e caracterização da eficiência simbiótica dos FMAs, visando consolidar os benefícios agrônômicos observados e aprimorar estratégias de manejo biológico.





REFERÊNCIAS

- AURÉLIO, M. et al. Efeitos Da Inoculação De Fungos Micorrízicos Arbusculares E Da Aplicação De Fósforo No Estabelecimento De Forrageiras Em Solo Degradado. **Solos • Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 34, n. 9, p. 1669–1677, 1 set. 1999.
- AGUIAR, R. L. F. DE et al. Interação Entre Fungos Micorrízicos Arbusculares E Fósforo No Desenvolvimento Da Algaroba [Prosopis Juliflora (Sw) DC]. **Revista Árvore**, v. 28, n. 4, p. 589–598, ago. 2004.
- BONFIM-SILVA, E. M. et al. Doses de fósforo no desenvolvimento e nutrição mineral de plantas de trigo submetidas a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 7, p. 695–700, 2010.
- BARRETO, G.G. **Caracterização morfológica de Fusarium spp. do feijão fava e controle biológico via sementes-plântulas**. Areia, 2018.
- BARRETO, G.G.; GOMES, R.S.S.; DO NASCIMENTO, L.C. Incidência de fitopatógenos associados ao feijão fava (*Phaseolus lunatus* L.). In: **II CONIDIS, Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido, Campina Grande, Resumo...** Campina Grande-PB. 2017.
- CAMPUS, D. T. DA S. et al. Colonização micorrízica em plantios de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 35, n. 5, p. 965–974, 1 out. 2011.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 4. ed. Viçosa: UFV, 2012.
- DA COSTA, M. M. L. et al. Influência de elicitores da qualidade sanitária de Feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 11, n.2, 2023.
- DEAN, R. et al. The top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. **Molecular Plant Pathology**. p. 414-430, 2012. Disponível em: <<https://bsppjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1364-3703.2011.00783.x>>. Acesso em: 24 de abril de 2023.
- DE LA PEÑA, E. et al. Mechanism of Control of Root-feeding Nematodes by Mycorrhizal Fungi in the Dune Grass *Ammophila arenaria*. **New Phytologist**, v. 169, n. 4, p. 829–840, 9 nov. 2005.
- DUARTE, G. R. B. **Como Fazer O Manejo Mais Adequado Dos Fertilizantes Fosfatados Na Sua Área**. Disponível em: <<https://blog.aegro.com.br/adubacao-fosfatada/>>. Acesso em 10 jul 2025.
- MARTINS, E. M.; GAROFOLO, A. C. S. G.; MATOS, B. DA C. DE. **RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DE TECNOLOGIAS GERADAS PELA EMBRAPA: Uso de Fungos Micorrízicos Arbusculares em Espécies Agrícolas e Florestais**. Seropédica - RJ: Embrapa Agrobiologia (CNPAB), dez. 2020.





MARTINS, E. **RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DE TECNOLOGIAS GERADAS PELA EMBRAPA: Uso de Fungos Micorrízicos Arbusculares para produção de mudas de espécies agrícolas e florestais**. Seropédica - RJ: Embrapa Agrobiologia (CNPAB), jan. 2020.

OLIVEIRA, A. A. R.; PAIXÃO, C. M. DA ; AMORIM, R. T. D. Interação Entre Fungos Micorrízicos Arbusculares E Patógenos Radiculares De Cítricos. **Temas Em Ciências Agrárias**, v. 1, 2009.

HIPPLER, F. W. R. et al. Fungos Micorrízicos Arbusculares Nativos E Doses De Fósforo No Desenvolvimento Do Amendoim RUNNER IAC 886. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 605–610, set. 2011.

RODAK¹, B. et al. **SIMBIOSE TRIPARTITE FAVA-RIZÓBIO-MICORRIZA EM SOLO TROPICAL DE BAIXA FERTILIDADE: EFEITO NO CRESCIMENTO VEGETAL** Unoeste. Presidente Prudente - SP: Unoeste, 2023. Disponível em: <
[LEITE, M. L. S. **Políticas públicas: Agricultura familiar e sustentabilidade**. 1 ed, 221 p. Foz do Iguaçu: CLAE e-books, 2021.](https://sites.unoeste.br/boletimppga/wp-content/uploads/2023/10/BoletimPPGA_2023-Vol-4-11-16.pdf#:~:text=As%20pr%C3%A1ticas%20de%20manejo%20nutricional%20s%C3%A3o%20essenciais,os%20macronutrientes%20f%C3%B3sforo%20(P)%20e%20nitrog%C3%AAnio%20(N).>. Acesso em: 08 de julho de 2025.</p></div><div data-bbox=)

FLORES-AYLAS, W. W. et al. Efeito De *Glomus Etunicatum* E Fósforo No Crescimento Inicial De Espécies Arbóreas Em Semeadura Direta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 2, p. 257–266, fev. 2003.

LOPES, Â. C. DE A. et al. **II - Artigos De Divulgação Científica Vinte Anos De Pesquisas Com O feijão-fava (*Phaseolus Lunatus* L.) Na Universidade Federal Do Piauí**. Brasília, DF: Revista RG News, 2024. Disponível em: <
https://recursosgeneticos.org/Recursos/Arquivos/II_Artigos_de_Divulgacao_Cientifica_4_Vinte_anos_de_pesquisas_com_o_feijao_fava_Phaseolus_lunatus_L_na_Universidade_Federal_do_Piaui.pdf>. Acesso em 11 jul 2025

MOREIRA, M. G. D. **Conhecimento comum e consumo de fava crioula (*Phaseolus* Federal de L.)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização Gestão em Recursos Ambientais de Semiárido), Instituto Federal de Educação Tecnológica da Paraíba, Campus Piauí, 2022.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia E Bioquímica Do Solo** www.esalq.usp.br. Lavras - MG: UFLA, 24 jul. 2006. Disponível em: <
https://www.esalq.usp.br/departamentos/iso/arquivos_aula/LSO_400%20Livro%20-%20Microbiologia%20e%20bioquimica%20do%20solo.pdf>. Acesso em 10 jul. 2025

JÚNIOR, O. J. S. et al. **Inoculação De Mudas De Espécies Florestais Com Fungos Micorrízicos Arbusculares: Avanços Na Produção E Legislação**. Rio de Janeiro - RJ: Embrapa Agroecologia, 2022.





WANG, Q. et al. The Role of Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis in Plant abiotic stress. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, 18 jan. 2024.

NOVAIS, C. B. DE et al. **Técnicas Básicas Em Micorrizas Arbusculares**. 1. ed. Lavras - MG: Editora UFLA, 2017.

OLIVEIRA, J. P. et al. Efeito de fungos micorrízicos arbusculares no índice de clorofila de plantas de milho cultivadas em solo do cerrado maranhense. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 11, n. 3, p. 118–124, 2021.

OLIVEIRA, E. DE et al. DESENVOLVIMENTO DO FEIJÃO-FAVA (*Phaseolus lunatus* L.) SOB DÉFICIT HÍDRICO CULTIVADO EM AMBIENTE PROTEGIDO. **Holos**, v. 1, n. 01, p. 143–151, 1 fev. 2014.

OLIVEIRA, A. N.; OLIVEIRA, L. A. DE. Colonização Por Fungos Micorrízicos Arbusculares E Teores De Nutrientes Em Cinco Cultivares De Bananeiras Em Um Latossolo Da Amazônia. **Revista Brasileira De Ciência Do Solo**, v. 29, n. 3, p. 481–488, 1 jun. 2005.

PEREIRA, F. et al. **Integração entre fungos Micorrízicos Arbusculares e Fusarium oxysporum f. sp herbemontis nos porta-enxertos de videira SO4, R-110 e 043-43** (Dissertação) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis - Santa Catarina, 2006.

QUEZADO-DUVAL, A. M. et al. Doenças E Seu controle. **Embrapa.br**, v. 1, p. p. 117-173., 2022.

ROCHA, F. S. et al. Dependência E Resposta De Mudanças De Cedro a Fungos Micorrízicos Arbusculares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 1, p. 77–84, 1 jan. 2006.

RODRIGUES, A. R. da S. P.; LIMEIRA, G. N. Uso de fungos na agricultura: Uma revisão com ênfase na aplicação em sistemas agroecológicos. **Revista Ambiental**, v.15, n.1, p. 1-12, 2023.

ROCHA, F. S. et al. Dependência E Resposta De Mudanças De Cedro a Fungos Micorrízicos Arbusculares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 1, p. 77–84, 1 jan. 2006.

SILVA, J. G. **Colonização E Esporulação De Fungos Micorrízicos Arbusculares Em Solos De Veredas Em Uberlândia, MG**. Trabalho de Conclusão de Curso—Universidade Federal de Uberlândia - MG: Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. 07 de Agosto de 2017. [s.n.].

SILVA, J. R. DA et al. Avaliação da população de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) na rizosfera de cafeeiros cultivados na região triângulo mineiro, Minas Gerais, Brasil. 1 jan. 2012.

SILVA, T. R. et al. Fósforo e resistência de plantas a doenças: uma revisão. **Revista Ceres**, v. 67, n. 1, p. 1–10, 2020.

SIQUEIRA, J. O. et al. Micorrizas arbusculares: importância na agricultura e potencial de uso. **Embrapa Agrobiologia**, 2007.





SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. London: Academic, 2008. 800p

SOARES, L. A. C. et al. On-farm conservation in *Phaseolus lunatus* L: an alternative for agricultural biodiversity. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, v. 46, n. 3, p. 392-409, 2022.

SOUZA, M. R. et al. Fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada: efeitos na clorofila e crescimento de rúcula. *Revista Ceres*, v. 66, n. 5, p. 346–353, 2019.

VALE, H. L. et al. Efeito de doses de fósforo sobre a colonização micorrízica e o desenvolvimento de mudas de tomateiro. *Ciência Rural*, v. 50, n. 4, p. e20190798, 2020.

VERGARA, C.; ARAUJO, K.E.C.; SOUZA, S.R. de; SCHULTZ, N.; SAGGIN JÚNIOR, O.J.; SPERANDIO, M.V.L.; ZILLI, J.É. Plant-mycorrhizal fungi interaction and response to inoculation with different growth-promoting fungi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.54, e25140, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921. Pab2019.v54.25140>.

VIEIRA JUNIOR, J. R. *et. al.* **Ocorrência da fusariose (*F. oxysporum f. sp. Tracheiphilum*) em feijão-caupi (*V. unguiculata L. Walp*) em Rondônia**. Comunicado Técnico, nº 355. Porto Velho - RO: EMBRAPA, 2010.

