



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

ALEX LIMA FONSECA

**SELEÇÃO DE INÓCULOS DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES
ORIUNDOS DE SOLOS DA CHAPADA DAS MESAS COM POTENCIAL PARA
PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO DE FEIJÃO-FAVA (*Phaseolus lunatus* L.)**

Imperatriz – MA

2024



ALEX LIMA FONSECA

**SELEÇÃO DE INÓCULOS DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES
ORIUNDOS DE SOLOS DA CHAPADA DAS MESAS COM POTENCIAL PARA
PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO DE 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 pré-requisito para conclusão do Curso de Ciências Biológicas.

Orientadora: IVANEIDE DE OLIVEIRA
NASCIMENTO

Imperatriz – MA

2024

F676s

Fonseca, Alex Lima

Seleção de inóculos de fungos micorrízicos arbusculares oriundos de solos da chapada das mesas com potencial para promoção de crescimento de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.). / Alex Lima Fonseca. – Imperatriz, MA, 2024.

44 f.; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências Biológicas) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Imperatriz, MA, 2024.

1. Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs). 2. Biodiversidade - Agroecossistema. 3. Biotecnologia – feijão-fava. 4. Imperatriz - MA. I. Título.

CDU 582.28:635.652

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

ALEX LIMA FONSECA

**SELEÇÃO DE INÓCULOS DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES
ORIUNDOS DE SOLOS DA CHAPADA DAS MESAS COM POTENCIAL PARA
PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO DO FEIJÃO-FAVA (*Phaseolus lunatus* L.).**

Aprovado em: 28 / 03 / 2024

Banca Examinadora:



Prof(a). Dr(a). IVANEIDE DE OLIVEIRA NASCIMENTO, Orientadora
DOUTORA EM AGROECOLOGIA
CCENT/UEMASUL *Campus Imperatriz*



Prof(a). Dr(a). REGIANE SATURNINO FERREIRA, Examinadora
DOUTORA EM ZOOLOGIA
CCENT/UEMASUL *Campus Imperatriz*



Prof. Me. ANTÔNIO EXPEDITO FERREIRA BARROSO CARVALHO, Examinador
MESTRE EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
CCENT/UEMASUL *Campus Imperatriz*



À minha família: meu pai, **Vanderley**, minha mãe **Jadete**, meus irmãos, **Ananda**, **Arilson**, **Vanderley Junior** e em especial ao **Marcos Apolo** que, apesar de não viver mais entre nós, sempre significou a força e motivação para todas as conquistas.

DEDICO



AGRADECIMENTOS

Principalmente aos meus pais e irmãos, por todo o apoio, amparo e investimento durante essa jornada, pois sei que sem vocês difícil seria alcançar essa conquista. Agradeço por toda a motivação a qual me trouxe até esta etapa da conclusão de um curso e a realização de um sonho, pelo carinho, compreensão e força durante os muitos momentos em que acreditei que não conseguiria. Obrigado por acreditarem!

À minha orientadora, Ivaneide de Oliveira Nascimento, que mesmo antes de aceitar a me orientar neste projeto sempre confiou e acreditou em um potencial que eu próprio não acreditei. Agradeço pela acolhida ao laboratório e principalmente pela oportunidade de me integrar à pesquisa científica e por todo auxílio e ensinamentos. Obrigado pela paciência, confiança e compreensão.

Aos amigos que sempre estiveram comigo, me apoiando e estendendo a mão nos momentos em que mais precisei, guardo todos em meu coração. Agradeço principalmente e especialmente à Brunna Almeida, a pessoa mais altruísta que conheço, por toda a força durante o desenvolvimento deste projeto, a responsável por essa realização. Houveram momentos em que eu não sabia a quem recorrer senão a ela. Ela que nunca mediu esforços para estar ali, me ajudando, orientando, passando algum ensinamento ou ainda apontando erros e apresentando soluções que só ela, com sua mente brilhante, poderia encontrar. Sou grato pelo convívio que tivemos como parceiros de laboratório e pela amizade que construímos nesse intervalo.

Aos colegas do laboratório, Petronilio Neto, Vanessa Barros, Silvana Mota e Irwing da Silva, Tauanny Reis e Júlia Passos e ao meu amigo Victor Ávila pela valiosa ajuda em um momento decisivo na conclusão do projeto. Separar esporos não é uma tarefa fácil, mas vocês aceitaram o desafio e se fizeram essenciais nesta etapa. E também ao Gabriel Guzzard, pela assistência em momentos de ausência.

Por fim, a todos que estiveram envolvidos nesta trajetória acadêmica, sei o quanto foram essenciais nessa conquista. Alguns dos nomes que guardo com amor: Renata Brenda, que foi minha primeira e maior amizade no curso e na vida, e que sempre esteve comigo do início ao fim. Samira Sousa, a quem sinto grande carinho e gratidão por sempre me fazer enxergar e por mostrar a realidade tal qual ela é. Isis Rocha, por me mostrar que a graduação vai muito além que cumprir horários de disciplinas. Wellington, que foi um amigo excepcional e verdadeiro, que me mostrou que há um mundo além da academia e que sempre foi luz em momentos obscuros. E à Ana Júlia, que foi uma pessoa extremamente importante no meu desenvolvimento pessoal e acadêmico e que esteve comigo em grandes desafios e aventuras, minha colega de congressos e parceira científica.



“Construa uma vida como os fungos, formando uma rede de conexão de simbiose mutualística, assim sempre terá alguém que te estenda a mão.”

Wanderson Lima Cunha (2021)



RESUMO

A utilização de Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs) pode contribuir para a nutrição das plantas, reduzir o uso de fertilizantes minerais e ajudar a maximizar o equilíbrio ecológico das culturas agrícolas. A pesquisa objetivou investigar a ocorrência e riqueza de espécies de fungos micorrízicos arbusculares em solos de Cerrado do PARNA Chapada das Mesas e selecionar espécies capazes de estabelecer associação com raízes de feijão-fava. Foram coletadas amostras de solo de um transecto curvo de aproximadamente 11,33 km contendo quatro áreas de coleta. Estabeleceu-se culturas de FMAs utilizando amostras de solo esterilizadas e capim *Brachiaria* sp. como isca. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com seis tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos incluíram solo sem inóculo de FMAs (testemunha), solo com *Glomus* spp., solo com *Rhizophagus* sp., solo de todas as áreas coletadas no PARNA Chapada das Mesas, solo com inóculo comercial Roottela BR® e solo com concentração corrigida de fósforo. A avaliação da diversidade constatou que a área de pastagem apresentou maior diversidade de espécies de FMAs, com maior índice de diversidade de Shannon e distribuição mais uniforme das espécies, conforme indicado pelo índice de equitabilidade de Pielou. Não foi possível encontrar impacto significativo da inoculação de FMAs no crescimento e produtividade das plantas de feijão-fava. O estudo destaca a importância de mais pesquisas para determinar o tempo necessário para que os FMA se estabeleçam nas raízes de feijão-fava e para avaliar a eficácia da inoculação dos FMA na promoção do crescimento e da produtividade das plantas em diferentes culturas e substratos.

Palavras-chave: Biotecnologia; Agroecossistema; Biodiversidade.



ABSTRACT

The use of arbuscular mycorrhizal fungi (AMFs) can contribute to plant nutrition, reduce mineral fertilizer use, and help maximize the ecological balance of agricultural crops. The research aimed to investigate the occurrence and wealth of AMF species in soils of the Cerrado of the PARNA Chapada das Mesas and select species capable of establishing association with broad bean roots. Soil samples were collected from a curved transect of approximately 11.33 km containing four collection areas. AMF cultures were established using sterilized soil samples and *Brachiaria* sp. grass as bait. The experiment was conducted in a greenhouse, with six treatments and five replications. The treatments included soil without AMF inoculum (control), soil with *Glomus* spp., soil with *Rhizophagus* sp., soil from all areas collected at the PARNA Chapada das Mesas, soil with commercial inoculum Roottela BR®, and soil with corrected phosphorus concentration. The diversity assessment found that the pasture area had a higher diversity of AMF species, with a higher Shannon diversity index and more uniform species distribution, as indicated by the Pielou evenness index. It was not possible to find a significant impact of AMF inoculation on the growth and productivity of broad bean plants. The study highlights the importance of further research to determine the time necessary for AMF to establish in broad bean roots and to evaluate the effectiveness of AMF inoculation in promoting growth and productivity in different cultures and substrates.

Keywords: Biotechnology; Agroecosystem; Biodiversity.



LISTA DE FIGURAS

Figura 01 -	Ilustração da associação simbiótica de FMA através das estruturas das hifas intra-radiculares, arbúsculos e vesículas, e extra-radiculares.	19
Figura 02 -	Mapa com relevo padrão da localização dos pontos amostrais no PARNA Chapada das Mesas.	23
Figura 03-	Processo de extração dos esporos de FMAs do solo segundo metodologia de peneiramento úmido e centrifugação com sacarose.	24
Figura 04 -	Produção de inóculos de FMA de solos do PARNA Chapada das Mesas em casa de vegetação (3 meses).	25
Figura 05 -	Avaliação da promoção de crescimento e quantificação do índice de clorofila em feijão-fava (<i>Phaseolus lunatus</i> L.) cultivado em solo inoculado e não inoculado com FMA.	27
Figura 06 -	Avaliação da colonização radicular de feijão-fava (<i>Phaseolus lunatus</i> L.) cultivado em solo inoculado e não inoculado com FMA, através do estereomicroscópio.	28
Figura 07 -	A e B – filtragem e armazenamento do extrato digerido; C – composto de coloração azul resultante da reação de molibdênio em meio ácido; D – Solução padrão do Kit Labtest(r) para montagem da curva de calibração para determinação de fósforo.	29
Figura 08 -	Identificação de FMA de solos da Chapada das mesas a partir de caracteres morfológicos através do estereomicroscópio. A – <i>Glomus spp</i> , B – <i>Acaulospora spp</i> , C – <i>Rhizophagus sp</i> , D – <i>Gigaspora spp</i> , E – <i>Scutellospora sp.</i> .	30
Figura 09 -	Identificação morfológica de FMA do PARNA Chapada das Mesas. A- <i>Glomus sp.</i> B- <i>Glomus multicaule</i> ; C- <i>GLomus sp.</i> D; L- <i>Rhizophagus manihotis</i> ; E - Sem identificação; F- <i>Acaulospora morrowiae.</i> ; G- <i>Acaulospora sp.</i> ; H- <i>Acaulospora sp.</i> ; I- <i>Acaulospora sp.</i> ; J- <i>Acaulospora sp.</i> ; K- Não identificado; M- Não identificado; N; O- <i>Scutellospora scutata</i> ; P; Q- <i>Gigaspora rosea</i> ; R- <i>Gigaspora sp.</i> S- <i>Gigaspora gigantea</i> ; T- <i>Gigaspora margarita</i> .	31



LISTA DE TABELAS

Tabela 01-	Descrição dos tratamentos conduzidos no bioensaio em casa de vegetação.	26
Tabela 02 -	Análise química e física do solo utilizado no bioensaio da condução do experimento.	26
Tabela 03 -	Relação de glomerosporos/espores de FMA por gênero encontradas em duas diferentes fitofisionomias de Cerrado no PARNA Chapada das Mesas.	32
Tabela 04 -	Análise do número de folhas e altura das plantas de feijão-fava (<i>Phaseolus lunatus</i> L.) cultivado em solo inoculado e não inoculado com FMA aos 15, 30 e 45 dias após a condução do bioensaio.	33
Tabela 05 -	Avaliação do índice de clorofila em folhas de feijão-fava (<i>Phaseolus lunatus</i> L.) cultivado em solo inoculado e não inoculado com FMA aos 15, 30 e 45 dias após a condução do bioensaio.	33
Tabela 06 -	Análise de variância da massa fresca (MF) e massa seca (MS) da parte aérea e raiz, teor de fósforo (P) e colonização radicular (CR) em feijão-fava (<i>Phaseolus lunatus</i> L.) cultivada em solo inoculado e não inoculado com FMA	34



SUMÁRIO

01	INTRODUÇÃO.....	12
02	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1	Produtividade e consumo do feijão-fava.....	14
2.2	Impactos da utilização de agroquímicos.....	14
2.3	Sustentabilidade agrícola.....	17
2.4	Fungos micorrízicos arbusculares: definição e aspectos fisiológicos.....	18
2.5	Diversidade de FMAs.....	20
2.6	Parque Nacional da Chapada das Mesas.....	20
03	OBJETIVOS.....	21
3.1	Objetivo geral.....	22
3.2	Objetivos específicos.....	22
04	METODOLOGIA.....	22
4.1	Área de estudo	22
4.2	Coleta de solo, extração e identificação dos esporos.....	22
4.3	Produção de inóculos	25
4.4	Bioensaio.....	25
4.5	Avaliação da promoção de crescimento do feijão-fava sob cultivo com FMA.....	27
4.6	Análise de fósforo total.....	28
4.7	Análise estatística.....	29
05	RESULTADOS	29
5.1	Ocorrência e diversidade de FMAs do PARNA Chapada das Mesas.....	29
5.2	Promoção do crescimento do feijão-fava (<i>Phaseolus lunatus</i> L.) cultivado em solo inoculado e não inoculado com FMA.....	32
06	CONCLUSÃO.....	35
	REFERÊNCIAS.....	37

1. INTRODUÇÃO

Conhecida por muitos nomes, como feijão-de-lima, feijão-belém ou simplesmente fava, o feijão-fava (*Phaseolus lunatus L.*) é uma leguminosa da família Fabaceae, representando um importante grão da culinária brasileira, sobretudo da região nordeste, e que apresenta uma rica fonte de proteína vegetal; representando alternativa para diminuição da dependência dos feijões do grupo Carioca (Nobre *et al.*, 2012).

Esta leguminosa possui importância econômica e social na agricultura familiar. No Nordeste brasileiro como um todo representa uma fonte de renda para agricultores e é uma planta resistente às condições dessa região (Moreira, 2022).

Silva (2019) ressalta que o feijão-fava se destaca como uma das culturas da região Nordeste do Brasil, cultivado em regime de sequeiro, com pouco uso de tecnologias, por agricultores familiares, resultando em baixos índices de produtividade, e grande oscilação na produção. Acredita-se que as principais razões para o cultivo relativamente limitado, sejam: a maior tradição de consumo do feijão-comum, o paladar do feijão-fava e o seu tempo de cocção mais longo (Guimarães *et al.*, 2006).

Existem diversos estudos a respeito da resistência dessa leguminosa em solos e condições ambientais similares às características do cerrado. Todavia, pesquisas acerca de tecnologias que visam o aumento da produtividade do feijão-fava usando técnicas agronômicas sustentáveis para melhor adequação às diferentes condições de solos do semiárido brasileiro com potencial para cultivo ainda são escassas. Sabe-se que cada vez mais cresce o emprego de agrotóxicos no cultivo vegetal, que estão diretamente relacionados a impactos que causam o desequilíbrio de solos saudáveis, podendo também, segundo Farias (2018), causar a deposição de metais pesados nesse ambiente, transformando a estrutura físico-química do solo e prejudicando a vida microbiana e vegetal ali presente. Portanto, faz-se necessário o emprego de tecnologias ambientalmente sustentáveis que aumentem a produção vegetal ao passo que mantém o solo naturalmente equilibrado.

Nesse âmbito, a aplicação de fungos micorrízicos arbusculares na promoção de crescimento do feijão-fava, apresenta-se como uma alternativa sustentável, pois esses microrganismos, mantêm uma relação mutualística com a planta e favorece a ciclagem dos nutrientes, absorção de minerais de baixa mobilidade no solo, como: P, Zn, e Cu, e favorece a disponibilidade de N, essa associação fungo-raiz ocorre em média em 80% das plantas (Bonfim *et al.*, 2007).

Dessa forma, os fungos auxiliam as plantas colaborando com o aumento no crescimento da parte aérea e do potencial produtivo, e as plantas para os fungos fornecem carbono e fatores essenciais para o desenvolvimento do mesmo e sua reprodução (Moreira; Siqueira, 2006). Em áreas nativas a riqueza de espécies tende a ser maior em relação a áreas que sofreram algum distúrbio ecológico (Santos; Scorza; Ferreira, 2013). Sendo os solos do PARNA Chapada das Mesas fonte de fungos micorrízicos arbusculares, os quais podem ser utilizados na produção de inóculos para o incremento do crescimento e produção do feijão-fava.

A cultura do feijão-fava tem merecido pouca atenção por parte dos órgãos de pesquisa e extensão, o que tem resultado em limitado conhecimento das características agronômicas da cultura (Santos *et al*, 2002). Conforme Medeiros *et al.* (2015), em virtude da escassez de informações das plantas e sementes de variedades de feijão-fava ocorre uma dificuldade para o desenvolvimento de estratégias para a exploração da cultura, sobretudo de forma sustentável e acessível. Visto que, a maior parte da produção do grão está ligada a pequenos produtores, sem a adoção de tecnologias para o cultivo. Desse modo, o uso de microrganismos capazes de promover aumento de produção do grão se faz uma ferramenta de alta importância econômica, de baixo custo e, portanto, acessível a pequenos produtores e proveniente de técnicas de manejo sustentável.

Nessa perspectiva, os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), que se associam às raízes das plantas e contribuem com sua nutrição, resultando em menor consumo de fertilizantes minerais, e ajudam na maximização do equilíbrio ecológico de lavouras agrícolas em uma perspectiva de preservação ambiental e aumento da produção (Durazzini; Teixeira; Adami, 2016). Representa uma alternativa na busca da agricultura sustentável, e a produção de inóculos, uma inovação nas condições do Cerrado Maranhense.

Nesse sentido, o feijão-fava (*Phaseolus lunatus L.*), por ser uma planta adaptada às condições do semiárido, em associação com os fungos micorrízicos arbusculares, oriundos de solos do PARNA Chapada das Mesas, pode representar uma alternativa para o estudo e aquisição de novas tecnologias ambientalmente sustentáveis para manejo de cultivares em solos do cerrado. Ademais, essa pesquisa contribui no estudo do feijão-fava no âmbito microbiológico e agrônomo, além do conhecimento da microbiota dos solos do PARNA Chapada das Mesas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Produtividade e consumo do feijão-fava

O feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.), classificado na família Fabaceae, é a segunda espécie de maior importância do gênero *Phaseolus*, sendo cultivada em muitos países tropicais. Possui elevada diversidade, adaptabilidade, rusticidade e requer pouca umidade quando comparada ao feijão comum (*P. vulgaris* L.). A espécie possui maior tolerância ao calor, o que permite que a colheita seja realizada em períodos de estiagem (Pereira *et al.*, 2021).

Segundo dados do IBGE, para o ano de 2022, foram produzidas 12.061 toneladas de grãos de feijão-fava no Brasil em 35.069 hectares de área colhida, sendo os maiores produtores os Estados da Paraíba, Ceará, Pernambuco e Rio grande do Norte. Já a produtividade de grãos do feijão comum representa 2.842.395 toneladas da produção nacional em 2.607.616 hectares de área colhida para o mesmo ano.

Embora o feijão-fava seja produzido em todos os Estados e apresente uma capacidade de adaptação mais ampla do que o feijão-comum, seu cultivo ainda tem pouca relevância. (Guimarães *et al.*, 2007). A cultura apresenta limitantes que reduzem a produtividade, devido ao fato de parte da produção ser oriunda de pequenos produtores, em consórcios com outras culturas, principalmente com a cultura do milho (*Zea mays* L.), sem adoção de tecnologia que vise ao aumento da produtividade. (Pereira *et al.*, 2021; Nunes, M. C.; Santos *et al.* 2002); além disso, Guimarães *et al.* (2007) ressaltam que outro limitante em relação ao consumo do grão relaciona-se com a maior tradição de consumo do feijão-comum, o paladar do feijão-fava e o seu tempo de cocção mais longo.

Contudo, o feijão-fava representa uma significativa fonte de proteína e de renda para a população menos favorecida da Região Nordeste e que tem, ainda, pouca relevância no Brasil (Guimarães *et al.* 2007). Segundo Benevides *et al.* (2019), essa espécie é uma das mais cultivadas na região tropical do planeta, além disso, apresenta potencial para o fornecimento de proteína vegetal à população, pois é utilizado na alimentação humana e animal; o que pode até diminuir a dependência, quase exclusiva, do feijão comum. E ainda, segundo os mesmos autores, isso agrega valor econômico, ambiental e tecnológico aos agricultores familiares e aumenta o leque da oferta de opções nutritivas.

2.2 Impactos da utilização de agroquímicos

A biodiversidade constitui-se a base das atividades agropecuárias, bem como das indústrias de biotecnologia, alimentícias e farmacêuticas. No entanto, a degradação de recursos naturais é um dos maiores desafios à produção de alimentos na atualidade (Barbosa; Arriel,

2018). Diversos processos tecnológicos tem sido empregados ao meio rural com o objetivo de obter maiores lucros e rendimentos, onde podemos citar o uso indiscriminado de fertilizantes químicos e agrotóxicos (Veimrober-Junior *et al.* 2024)

O Brasil é um dos maiores produtores de alimentos, algodão, madeira, celulose e biocombustível, mas também é o maior consumidor mundial de agrotóxicos (Pignati *et al.* 2014). A utilização de modernas técnicas nos sistemas de produção agrícola provocou a introdução de uma grande variedade de substâncias sintéticas no meio ambiente. Dentre estas substâncias, os agrotóxicos recebem grande destaque, além de representarem um risco ambiental quando manejados de forma incorreta pelo homem. (Steffen *et al.*, 2011). Entretanto se não bastasse a contaminação por meio dos agrotóxicos, algumas empresas produtoras de fertilizantes químicos, com a finalidade de reduzir os custos de produção, passaram a incorporar resíduos industriais em seus adubos para fornecer elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas (Rosset *et al.*, 2014).

Ademais, Mallmann *et al.* (2017) ressaltam ainda que, em casos onde a fiscalização é deficitária, há a possibilidade de fertilizantes minerais conterem maiores quantidades de elementos tóxicos, aumentando suas quantidades adicionadas no solo. Esses mesmos autores explicam que isso potencializa a sua absorção e translocação para a parte aérea das plantas, podendo causar acumulação e citotoxicidade, além do contato dérmico por seres humanos, que permite a absorção dos metais pesados, os quais vão se acumulando no organismo e podem desencadear a ocorrência de doenças a longo prazo.

O processo produtivo do agronegócio que se refere à produção de sementes e insumos (combustíveis, agrotóxicos, fertilizantes químicos e calcários) causam várias situações de riscos nos vários ambientes desta cadeia produtiva, englobando o meio ambiente, os alimentos, as águas e a saúde das famílias que moram nas fazendas ou nas cidades (Pignati *et al.*, 2014).

Segundo Clasen *et al.* (2017), o processo produtivo agrícola brasileiro está cada vez mais dependente dos agrotóxicos e fertilizantes químicos. O sistema de agricultura convencional é considerado altamente dependente de insumos externos, como fertilizantes químicos e agrotóxicos (ADL *et al.*, 2011), que podem, quando utilizados de forma inadequada, provocar contaminação de solos, água e ar, além de causar resistência de pragas e aumento das emissões de gases de efeito estufa (Rosset *et al.*, 2014). Adicionalmente, Fernandes *et al.* (2017) ressaltam que em sistemas incorretamente dimensionados e manejados, a aplicação contínua de fertilizantes nitrogenados sobre uma mesma área aumenta o risco de contaminação ambiental.

O uso frequente, e muitas vezes incorreto de agrotóxicos oferece riscos ao meio ambiente e à saúde humana, como contaminação dos solos agrícolas, das águas superficiais e subterrâneas, dos alimentos, apresentando, conseqüentemente, riscos de efeitos negativos em organismos terrestres e aquáticos e de intoxicação humana pelo consumo de água e alimentos contaminados, assim como o risco de intoxicação ocupacional de trabalhadores e produtores rurais (Spadotto *et al.*, 2004).

A contaminação do solo por agrotóxicos provoca o desgaste e, conseqüentemente, a redução da produtividade deste ambiente ao longo dos anos, além de provocar danos severos à saúde da população em geral (Morretto, 2015). A utilização intensiva de agrotóxicos, através da pulverização por avião, trator ou equipamento manual, mesmo em total observância às Leis/ Normas, leva à poluição dos alimentos, das águas, do ar, das chuvas, do leite materno, do sangue e urina dos trabalhadores, população do entorno e dos animais, ou seja, contamina toda a biota, tanto na zona rural quanto urbana (Pignati *et al.* 2014).

A indústria moderna trouxe uma série de facilidades à vida cotidiana, contudo aumentou consideravelmente a manipulação de químicos persistentes no meio ambiente, com graves conseqüências para a saúde humana e para os ecossistemas naturais (Silva e Polli, 2020). O uso rigoroso de fertilizantes químicos tem levado à deterioração do equilíbrio dinâmico dos ecossistemas do solo, da flora e da fauna, bem como à contaminação dos cursos d'água (Dos Santos, 2021). Além disso, o número de casos de intoxicação por agrotóxicos tem aumentado consideravelmente no Brasil, apontando para um importante problema relacionado ao uso e à disseminação desses produtos (Queiroz *et al.*, 2019).

Gouveia e Miranda (2012) destacam que é importante chamar a atenção para a importância que a saúde deve ter nesse debate, uma vez que as repercussões negativas na saúde estão cada vez mais associadas à crise socioambiental. Ainda segundo os mesmos autores, o sofrimento humano imposto pelos efeitos da exposição química dos trabalhadores e da população em geral, decorrente do uso intensivo e extensivo de fertilizantes químicos e agrotóxicos, são exemplos desses impactos.

Dessa forma, o consumo de alimentos naturais orgânicos, pode apresentar grandes benefícios à saúde, pois não são utilizados agrotóxicos, adubos químicos e outras substâncias tóxicas e sintéticas nos produtos orgânicos (Silva e Polli, 2017).

2.3 Sustentabilidade agrícola

Segundo Assad *et al.* (2004), embora a sustentabilidade da agricultura seja defendida e almejada por diferentes setores produtivos e por diferentes segmentos sociais, ela ainda se apresenta utópica. As alternativas de manejo agrícola sustentável, que permitem a minimização de danos ambientais, esbarram muitas vezes em interesses econômicos distintos. Isso se torna um desafio para o uso sustentável de recursos naturais, que visa ao aumento da produtividade agrícola para atender à demanda global por alimentos sem agressão ao meio ambiente (Soares, 2023).

Apesar da importante representatividade do agronegócio para o país, deve-se destacar as crescentes preocupações com os impactos ambientais provocados pela agricultura e pecuária (Zanella e Leisman, 2017). Os efeitos antrópicos na variabilidade espacial sendo corrigidos emerge o enorme desafio que a natureza apresenta ao agricultor, porém, é a forma como a agricultura teve de lidar com a terra desde o seu início (Inamasu *et al.*, 2011). Existem muitos desafios para a expansão da sustentabilidade, pois são necessárias políticas que maximizem a produtividade dos recursos disponíveis, minimizando perdas/desperdícios na cadeia de produção (Zanella e Lago, 2016). Isso acontece devido à necessidade de minimizar os grandes impactos causados, com erosão dos solos, poluição do solo, da água e dos alimentos (Da Silva, 2012).

Considerando que a agricultura é uma atividade que causa impactos ambientais, o desafio consiste em buscar sistemas de produção agrícola adaptados ao ambiente de tal forma que a dependência de insumos externos e de recursos naturais não-renováveis seja mínima (Assad e Almeida, 2004). Da Silva (2012) destaca que a sustentabilidade tem ganhado destaque devido a crescente conscientização da necessidade de melhoria nas condições ambientais, econômicas e sociais, de forma a aumentar a qualidade de vida de toda a sociedade, preservando o meio ambiente, assim como ter organizações sustentáveis econômicas e indivíduos socialmente sustentáveis. Além disso, o selo da sustentabilidade tem constituído exigência cada vez mais frequente no mercado exterior, principalmente por países desenvolvidos. (Zanella e Leisman, 2017).

Nesse cenário se insere o uso de insumos provenientes de técnicas biotecnológicas mencionadas por Assad, Martins e Pinto (2012), P. 19, 20:

No conjunto de produtos disponíveis para a agricultura, existe o subgrupo dos compostos por agentes biológicos de controle – fungos, vírus ou bactérias, no lugar de substâncias químicas, que se baseiam na exploração de uma ação biológica. Os

produtos têm baixo impacto ambiental, baixa toxicidade e alta especificidade taxonômica, ou seja, são mais seletivos no controle dos organismos-alvo, o que os diferenciam dos tradicionais produtos químicos causadores de efeitos tóxicos a diversos organismos. O uso dos produtos biológicos se apresenta como alternativa ambientalmente correta e uma prática agrícola sustentável.

Desta forma, pode-se enfatizar que a atividade microbiana é uma opção viável e com significativos benefícios ambientais, dentre elas a eliminação de composto orgânicos tóxicos e outro poluentes que podem trazer sérios prejuízos aos ecossistemas e à saúde humana (Mattias *et al.*, 2021), pois os micro-organismos nativos do solo são responsáveis por aproximadamente 90% do metabolismo no solo e estão associados ao equilíbrio e manutenção da fertilidade do mesmo (Morretto, 2015).

Nessa perspectiva, destacam-se os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), que dentre os micro-organismos do solo, benéficos ao solo, estão os FMAs, que contribuem com a nutrição vegetal na maioria dos ecossistemas terrestres (Cogo, *et al.*, 2019). A colonização micorrízica de plantas cultivadas pode oferecer benefícios consideráveis em termos de crescimento, absorção de nutrientes e, em alguns casos, rendimento (Gosling *et al.*, 2006).

2.4 Fungos micorrízicos arbusculares: definição e aspectos fisiológicos

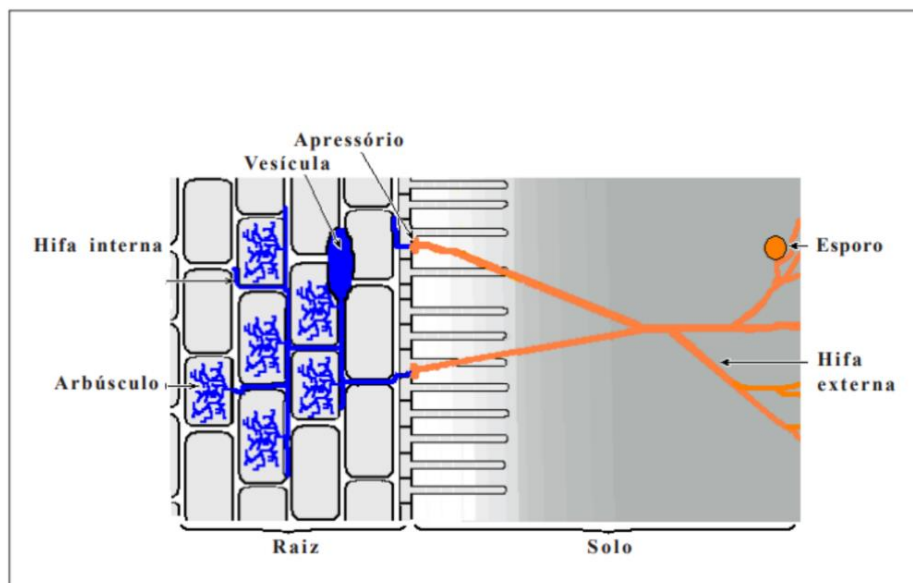
As micorrizas são estruturas formadas durante a simbiose entre raízes e fungos de solo (Figura 01). Classificam-se em ecto, endo e ectoendomicorrizas (Hoffmann e Lucena, 2006). As endomicorrizas dividem-se em Arbusculares, Ericóide e Orquídoide; e as ectomicorrizas dividem-se em Ectomicorriza, Ectendomicorriza, Arbutóide e Monotro póide (Cogo *et al.*, 2019).

FAMs provavelmente surgiram a 400 milhões de anos, coincidindo com a colonização do hábitat terrestre pelas plantas, período compreendido entre 462 e 352 milhões de anos. [...] Albert Bernard Frank, em 1885, botânico alemão usou pela primeira vez, o termo “mycorrhiza”, a palavra foi originada do grego, onde “myco” significa fungo e “rhiza” raízes. Mas o termo foi modificado e passou a ser escrito com apenas um r – mycorhiza e em português micorriza. [...] A conceituação inicial faz referência à definição dos FAMs, sendo assim, o termo micorriza refere-se a uma associação simbiótica, endofítica, biotrófica e mutualística entre plantas vasculares nativas ou cultivadas e fungos específicos do solo. (Cogo *et al.*, 2019. P. 20).

Eles são simbiontes obrigatórios, inteiramente dependentes do fornecimento de açúcares da planta hospedeira (Fitter, Helgason e Rodge, 2011). O tipo mais difundido de associação

raiz-fungo na natureza é talvez a chamada endomicorriza ou micorriza arbuscular, formado por certos zigomicetos, que não desenvolvem a rede de Hartig e colonizam intracelularmente o córtex radicular através de estruturas especializadas chamados arbúsculos, que atuam como órgãos de troca de nutrientes entre a célula vegetal e o hospedeiro. (Gómez, Portugal e Arriaga, 2007).

Figura 01: Ilustração da associação simbiótica de FMA através das estruturas das hifas intra-radiculares, arbúsculos e vesículas, e extra-radiculares.



Fonte: Berbara (2006).

Esses fungos são capazes de colonizar o córtex das raízes, com penetração inter e intracelular sem modificações morfológicas visuais, as alterações por meio de modificações causadas por hifas ou micélios que se transformam em arbúsculos, vesículas e esporos. (Cogo *et al.*, 2019). Essas hifas, ao encontrarem as raízes, aderem à sua superfície (epiderme ou pêlos radiculares) e formam um apressório, através do qual penetram as células da epiderme na zona de diferenciação e alongamento, formando a “unidade de infecção” (De Souza *et al.*, 2006). Durante o desenvolvimento intracelular do fungo, há a formação de novo de membrana derivada da membrana plasmática, chamada membrana periarbuscular.

Então se forma, entre planta e parede de fungo, uma região de troca de nutrientes (Hoffman e Lucena, 2006). A transferência de açúcares da planta para o fungo e de fosfato e amônio do fungo para a planta está no cerne da simbiose (Fitter, Helgason e Rodge, 2011). Neste processo simbiótico a planta transporta fotossintatos para o fungo e o fungo capta nutrientes do solo, por meio das suas hifas intra e extraradiculares, e os transfere para a planta,

havendo assim uma regulação funcional e troca de metabólitos, com benefícios mútuos (Cogo *et al.*, 2019).

2.5 Diversidade de FMAs

O fungo componente é um zigomiceto; com mais de 200 espécies envolvidas em tais associações; amplamente distribuídas por todo o mundo; assim, as relações endomicorrízicas não são altamente específicas (De Souza *et al.*, 2006). Pouco mais de 200 espécies foram descritas usando uma taxonomia morfológica baseada em um número limitado de caracteres de esporos (Fitter, Helgason e Rodge, 2011). Além disso, 77% das espécies reconhecidas como esporocárpicas foram descritas exclusivamente com base em dados de morfologia, fato que torna a sistemática filogenética desse grupo limitada (Jobim, 2020).

De acordo com, Tedersoo *et al.* (2018) e Wijayawardene *et al.* (2020) *apud* Maia *et al.* (2020) para os seguintes dados, os FMAs são classificados no filo Glomeromycota dentro do subreino Mucoromyceta, e distribuídos em três classes (Archaeosporomycetes, Glomeromycetes e Paraglomeromycetes), cinco ordens (Archaeosporales, Diversisporales, Gigasporales, Glomerales e Paraglomerales; 16 famílias e 50 gêneros, com 326 espécies descritas e números de espécies em constante aumento. Segundo os mesmos autores, o Brasil representa cerca de 20% de toda a biodiversidade conhecida no mundo.

Em um estudo levantado por Ferreira *et al.* (2012), onde aborda as espécies de Glomeromycota que ocorrem na região de cerrado brasileiro, as famílias de fungos micorrízicos arbusculares de maior ocorrência nas áreas estudadas foram Acaulosporaceae, Glomeraceae e Gigasporaceae.

2.6 Parque Nacional da Chapada das Mesas

O Parque Nacional da Chapada das Mesas teve sua criação a partir do Decreto S/N de 12 de dezembro de 2005 e corresponde a uma área com cerca de 160.000 ha representado pelo bioma Cerrado, considerado uma região de Prioridade Extremamente Alta para conservação da biodiversidade, (Frazão, 2017; Rocha *et al.*, 2021; Da Silva, Araújo e da Conceição, 2018). A Chapada das Mesas, localizada na divisa entre as regiões norte e nordeste do Brasil (Maranhão-Tocantins), constitui uma típica paisagem de chapada e tem um importante papel ambiental e ecológico, pelo que, parcialmente, está inserida no PARNA Chapada das Mesas (Martins, Salgado e Barretto, 2017).

O objetivo principal de sua criação foi preservar ecossistemas naturais que possuem grande relevância ecológica, além da beleza cênica, possibilitam a realização de pesquisas científicas e o desenvolvimento de projetos de educação ambiental, e recreação em contato com a natureza através do ecoturismo (Oliveira e Coriolano, 2019). O PARNA Chapada das Mesas está localizado no Sul do estado do Maranhão, na Mesorregião Sul Maranhense. Abrange os municípios de Carolina, Estreito e Riachão (Saturnino *et al.*, 2023).

O Cerrado encontrado na região da Chapada das Mesas é composto por um mosaico de formações vegetais, existindo desde áreas cobertas com vegetação rasteira com arbustos escassos (formações savânicas), até áreas cobertas com florestas de árvores relativamente altas com grande dossel (formações florestais) (Moraes e Lima, 2007). O primeiro registro do mapeamento da cobertura vegetal da região por fotointerpretação, onde foi evidenciado cerca de 73% da área do PARNA Chapada das Mesas compreende as formações savânicas, 15% são cobertas por formações florestais e 12% por formações marginais (mata de galeria, buritizais e veredas) (Rocha *et al.*, 2021).

A região é caracterizada por um clima tropical úmido e possui duas estações bem definidas: verão seco e o inverno chuvoso; A temperatura média anual é de cerca de 26,1°C, com mínimas variando de 25,2°C em janeiro a 27,8°C em setembro (MMA/IBAMA, 2007) Os solos do PARNA da Chapada das Mesas originam basicamente da Formação Sambaíba, por isso são compostos quase totalmente de areia, derivada dos arenitos com níveis de silax, típicos desta formação (MMA/IBAMA, 2007).

Embora áreas de proteção integral, como o PARNA Chapada das Mesas, sejam priorizadas no que se diz respeito a conservação, elas ainda sofrem com ações antrópicas como o desmatamento provenientes de queimadas e, principalmente extração ilegal de madeira (Saturnino *et al.*, 2023). Contudo, essa região ainda é muito pouco conhecida cientificamente, tal fato constitui considerável lacuna científica em relação a estudo na região (Martins, Salgado e Barretto, 2017).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Selecionar, registrar ocorrência, riqueza e capacidade de estabelecimento de associação pela comunidade indígena de fungos micorrízicos arbusculares de solos de Cerrado do PARNA

Chapada das Mesas no Estado do Maranhão, com potencial para a promoção de crescimento do feijão-fava (*Phaseolus vulgaris L.*).

3.2 Objetivos Específicos

- Extrair e quantificar esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) nas amostras de solos coletadas em áreas do cerrado maranhense no Parque Nacional da Chapada das Mesas;
- Instalar culturas-armadilhas para multiplicação de espécies de FMA que não apresentem esporos viáveis para identificação no momento da coleta de amostras;
- Produzir inóculos de FMA para uso em bioensaio;
- Caracterizar as comunidades nativas de fungos micorrízicos arbusculares no bioma Cerrado das Chapadas das Mesas no Estado do Maranhão;
- Avaliar a eficiência destas comunidades de microrganismos nativos para a promoção de crescimento do feijão-fava;
- Contribuir para o aumento da produção de feijão-fava na região, de forma a garantir a conservação ambiental.

4. METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

A coleta de solos para estudos da seleção, ocorrência, diversidade e potencial dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) foi realizada no Parque Nacional da Chapada das Mesas, criado por iniciativa do Governo Federal levando em consideração os impactos causados no cerrado maranhense, que abriga grande parte da fauna e flora nativa e da vegetação tipo cerrado e trata-se de uma área de Cerrado intocada e ameaçada pela recente expansão da fronteira agrícola e siderúrgica no Maranhão (Rocha, 2018). Paralelamente, é uma área de grande importância ecológica, com aproximadamente 160.000 ha (Martins; Salgado; Barreto, 2017).

4.2 Coleta de solo, extração e identificação dos esporos

As amostras de solo foram coletadas em um transecto curvo de aproximadamente 11,33 km no PARNA Chapada das Mesas, contendo 04 pontos amostrais de aproximadamente 2,50 km de distância entre si: Ponto 001: S 07°07'10.3" W 047°21'25.7"; Ponto 002: S 07°06'44.6" W 047°18'08.4"; Ponto 003: S 07°08'58.8" W 047°23'19.4"; Ponto 004: S 07°07'42.5" W 047°22'42.7" (Figura 02). Cada ponto foi plotado duas parcelas equidistantes de 50 metros. Totalizando, desta forma, 08 parcelas. Em cada parcela foi coletada com auxílio de um trado

holandês duas amostras compostas por duas subamostras, retiradas de diferentes profundidades do solo (0-10cm ↓ e 10-20cm ↓). As amostras foram homogeneizadas, secas à sombra, peneiradas e individualmente acondicionadas em saco plástico e mantidas em refrigeração a 4° C em Freezer Vertical até o momento da extração de esporos.

Figura 02: Mapa com relevo padrão da localização dos pontos amostrais no PARNA Chapada das Mesas.

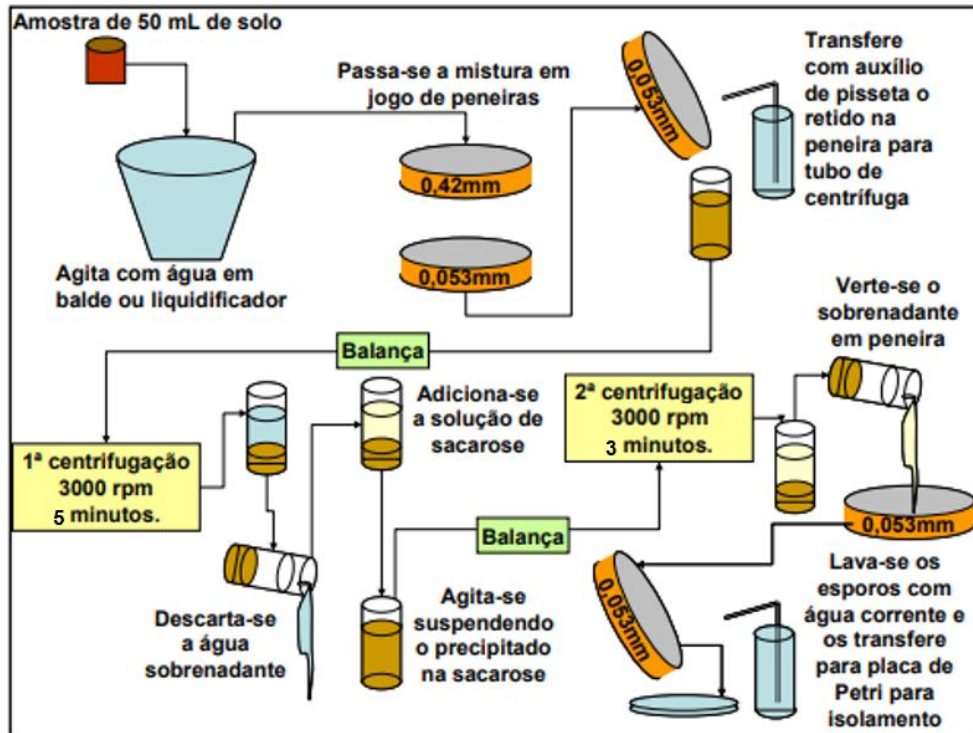


Fonte: Google Maps (2024).

Os esporos de FMA foram extraídos do solo segundo metodologia de peneiramento úmido (Gerdermann; Nicolson, 1963) e centrifugação com sacarose (Jenkins, 1964) (Figura 03). Para executá-la, duas peneiras de malha de 710 μm e 53 μm foram acopladas em ordem decrescente para filtragem dos esporos. Em um recipiente foi diluído 50g de solo em 700ml de água comum de modo que os esporos leves entrem em suspensão com a matéria orgânica do solo. Em seguida, a suspensão é vertida vagarosamente sobre as peneiras para que fiquem presos na peneira de malha menor os esporos de FMAs. Adicionou-se novamente 700ml de água sobre o material retido no béquer e o processo é repetido por mais quatro vezes ou até que a água perca a turbidez, descartando-se finalmente o resíduo retido. A amostra é coletada com aproximadamente 40mL de água comum ou destilada em tubos de Falcon e então centrifugados por 5 minutos, a 3000rpm (três mil rotações por minuto), afim de decantar os esporos junto aos demais materiais particulados. Em seguida adicionou-se 40ml de solução de sacarose a 40% nos tubos de Falcon e foram centrifugados novamente por 3 minutos a

3000rpm. O material foi lavado em água comum para remoção da sacarose impregnada e acondicionados em tubos de Falcon para identificação.

Figura 03: Processo de extração dos esporos de FMAs do solo segundo metodologia de peneiramento úmido e centrifugação com sacarose.



Fonte: Extraído e adaptado de Saggin-Júnior (2011).

No processo de identificação morfológica, os esporos foram separados com auxílio de estereomicroscópio binocular por tamanho, coloração, transparência e formato (Figura 08). Foram montadas lâminas sob resina polivinil álcool glicerol (PVLG) e PVLG+Reagente de Melzer (1:1) para identificação morfológica a partir de visualização em microscópio óptico. Os dados obtidos foram comparados com a descrição das espécies em Schenck e Pérez (1988), na página da International Culture Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi (Invam, 2001) e Laboratório de Biologia de Micorrizas (<https://glomeromycota.wixsite.com/lbmicorrizas>).

O índice de diversidade de Shannon (H') foi calculado de acordo com a equação: $H' = -\sum p_i \ln p_i$, em que p_i é o número de glomerosporos de cada espécie em 50 g de solo/número total de glomerosporos de todas as espécies. A equitabilidade de Pielou será obtida pela equação $J' = H'/\log(S)$ em que H' é o valor obtido pelo índice de Shannon e S é o número total de espécies.

4.3 Produção de Inóculos

Após o processo de extração e identificação dos glomerosporos em nível de gênero, esses foram multiplicados em plantas armadilhas a fim de produzir inóculos para condução do bioensaio em casa de vegetação.

Foram coletadas amostras de solo, sendo previamente esterilizada a vapor, por dois períodos de 1 hora e com repouso de 1 semana antes do plantio. Uma porção da amostra foi coletada para análises químicas do solo para fins de correção de textura e concentração de fósforo. O substrato foi colocado em vasos com capacidade de 1Kg semeando-se a gramínea *Brachiaria* sp. como planta isca, segundo metodologia descrita por Colozzi-Filho e Balota (1994). As sementes de *Brachiaria* sp. foram desinfestadas superficialmente com álcool 70% (3 minutos), seguido de hipoclorito de sódio a 1% (3 minutos) e água (3 minutos), e semeadas em vasos armadilhas.

A inoculação com FMAs foi realizada pela adição de esporos no solo dos diferentes tipos de gêneros micorrízicos. As plantas foram cultivadas por um período de 3 a 4 meses para a produção dos inóculos de fungos micorrízicos arbusculares (Figura 04). Ao final do período a irrigação foi suspensa, deixando as plantas secar naturalmente por 1 a 2 semanas, sendo em seguida eliminadas (Miranda, 2008).

Figura 04: Produção de inóculos de FMA de solos da Chapada das mesas em casa de vegetação (3 meses).



Fonte: Fonseca (2023).

4.4 Bioensaio

No experimento em casa de vegetação da UEMASUL, foram semeadas cinco sementes de feijão-fava em vasos contendo cerca de 3 L de solo, sendo seis tratamentos constituídos por diferentes gêneros de FMAs isolados de solos de Cerrado. Os tratamentos foram inoculados com FMA no momento da semeadura, sendo 50 g de solo contendo o inóculo colocado abaixo das sementes. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições (Tabela 01). As plantas foram colhidas no período de pré-florescimento e a parte aérea e radicular foram separadas para pesagem de biomassa fresca. As amostras da parte aérea foram secas e armazenadas para posterior avaliação da massa seca e teor de fósforo.

Tabela 01: descrição dos tratamentos conduzidos no bioensaio em casa de vegetação.

Tratamento	Descrição
T1	Solo sem inóculo de FMAs (testemunha)
T2	Solo com inóculo de <i>Glomus spp.</i>
T3	Solo com inóculo de <i>Rhizophagus sp.</i>
T4	Solo de todas as áreas coletadas no PARNA
T5	Solo com inóculo comercial Roottela BR®
T6	Solo com correção de fósforo

Fonte: Fonseca (2024).

O tratamento de correção de fósforo foi preparado a partir da análise química do solo utilizado no bioensaio (Tabela 02), em que, de acordo com a interpretação do boletim da análise a recomendação para plantio foi de 40 kg. ha⁻¹ de fósforo. A correção proporcional a essa média é de 0,34g/ vaso de fósforo. O mineral utilizado foi o Superfosfato simples, cuja fórmula é Ca (H₂PO₄)₂ + CaSO₄.2H₂O. O tratamento em que foi utilizado o inóculo comercial Roottela BR® passou por um método de impregnação do produto em pó nas sementes em Mesa Agitadora por 10 minutos a 350rpm.

Tabela 02: Análise química e física do solo utilizado no bioensaio da condução do experimento.

Macronutrientes										
pH (CaCl ₂)	Ca	Mg	Ca + Mg	A	H + Al	CTC	K	K	P (Mehlich I)	S
4.8	2.1	0.6	2.7	0	3.3	6.37	0.368	1.44	20.0	6
-cmolc/dm ³			3.....		mg/dm ³			
Análise de Textura										
Argila			Silte			Areia				
7%			9%			74%				

Fonte: Acquário's: Laboratório de Análises Ambientais (2023).

4.5 Avaliação da promoção de crescimento do feijão-fava sob cultivo com FMA

A eficiência das comunidades nativas de FMA, para promoção do crescimento das plantas, foi determinada com base na produção de biomassa vegetal da parte aérea e radicular ao final do período de condução, em relação ao tratamento não inoculado com estes fungos. A

cada 15 dias em um período de 45 dias foi contado o número de folhas por planta, quantificado o índice de clorofila por meio do clorofilômetro SPAD (Figura 05), no horário das 7:30h às 9:30 h, a leitura foi realizada nas folhas mais verdes em 5 pontos diferentes (evitando a nervura central), adotando-se a média das leituras.

Figura 05: Avaliação da promoção de crescimento e quantificação do índice de clorofila em feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) cultivado em solo inoculado e não inoculado com FMA..



Fonte: Fonseca (2024).

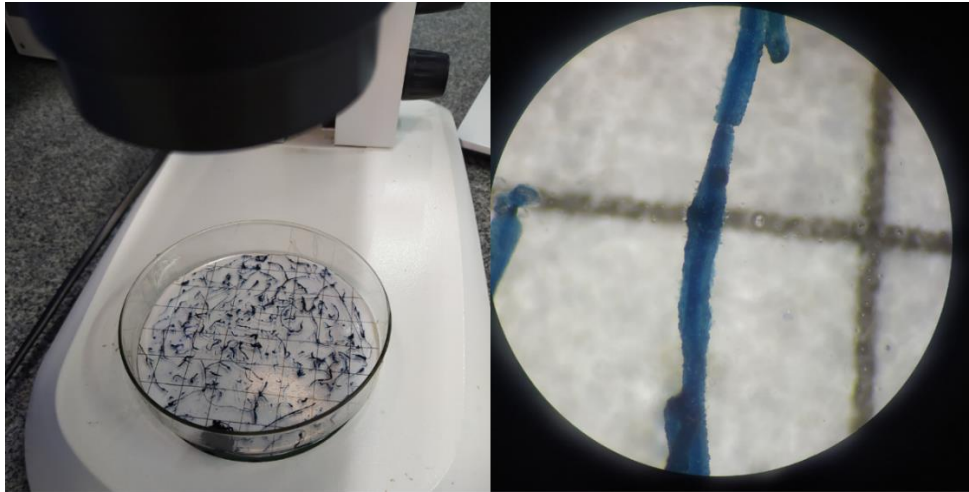
Ao final da condução do experimento, as plantas foram coletadas, separando a parte aérea da radicular para pesagem da biomassa vegetal fresca no momento da coleta. As amostras da parte aérea foram armazenadas em sacos de papel e secas a 60 C° em estufa de ar forçado por um período de dois dias e armazenadas para posterior avaliação de massa seca e teor de fósforo. As raízes foram lavadas cuidadosamente e secas à temperatura ambiente apenas para perda do excesso de água para pesagem da massa fresca.

O percentual de colonização radicular (CM) das plantas foi determinado segundo metodologia de Phillips e Hayman (1970) para a coleta, clarificação e coloração e posterior avaliação da colonização micorrízica segundo Giovannetti e Mosse (1980). Foram coletadas 1g de raiz de cada amostra submetida a tratamento para coloração das raízes. A determinação da porcentagem de colonização radicular consiste em espalhar as raízes em uma placa de Petri de 8,5 cm de diâmetro por cima de um papel milimetrado com linhas de 1,27 cm quadriculada de modo a formar intersecções das raízes com as linhas horizontais e verticais dos quadrantes (Figura 06). Com auxílio de estereomicroscópio, as raízes visualizadas que haviam colonização (esporo, hifa, arbúsculo ou vesícula) e formavam uma intersecção da raiz com a linha era contada como “sim” e as que não haviam colonização como “não”, sendo necessário de pelo

menos 100 contagens incluindo “sim” e não”. A relação foi submetida ao seguinte cálculo para obtenção dos valores estatísticos:

$$\% \text{ CM} = \text{SIM} \left(\frac{\text{SIM}}{\text{NÃO}} \right) 100$$

Figura 06: Avaliação da colonização radicular de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) cultivado em solo inoculado e não inoculado com FMA, através do estereomicroscópio.



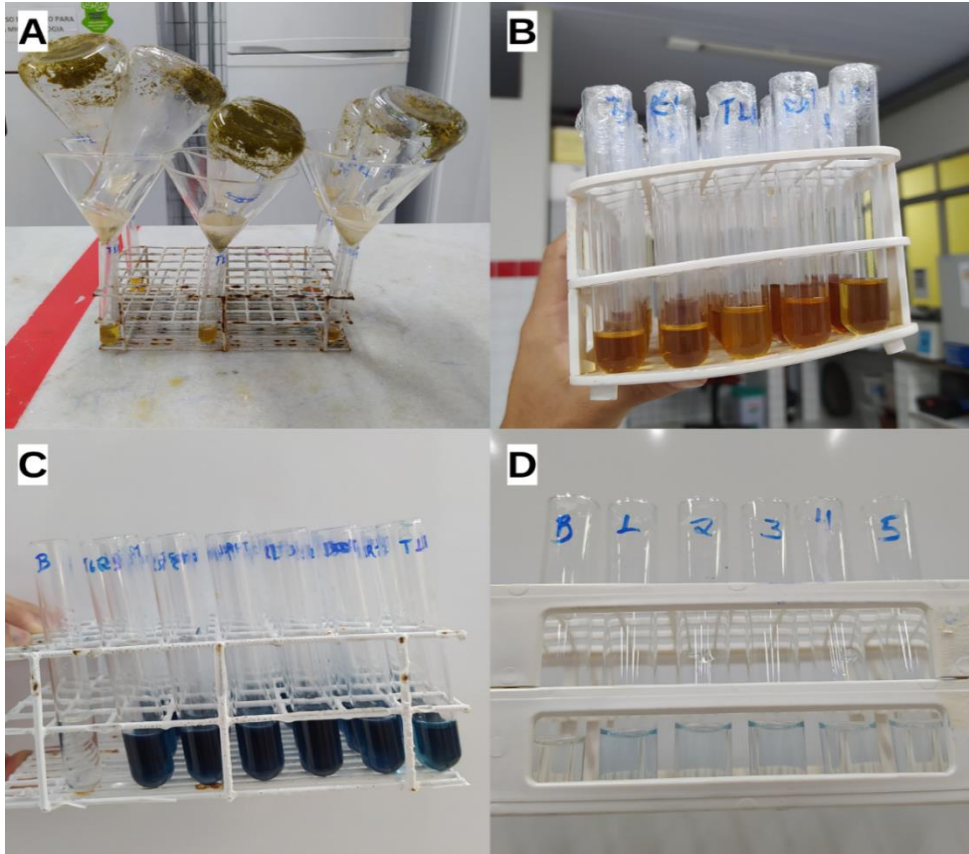
Fonte: Fonseca (2024).

4.6 Análise de Fósforo Total no tecido vegetal

A parte aérea da planta foi seca e triturada em liquidificador doméstico até atingir um aspecto de flocos grosseiros. Foi coletado 1g da amostra triturada e armazenadas em frascos de plástico. A digestão das amostras consistiu na extração conforme o método descrito por Tedesco *et al.* (1995). Foi utilizado 1g da amostra em 10 ml de solução extratora Mehlich-1. (Proporção de 1:10). As amostras foram agitadas por 10 min em agitador horizontal a 120 oscilações por minuto e filtrado o líquido extraído por aproximadamente 4 horas (Figura 07-A).

A determinação do fósforo foi através de kits comerciais (Labtest(r)) Diagnóstica SA. As amostras passaram por um ensaio colorimétrico (Figura 07-C) baseado na reação de molibdênio em meio ácido, formando um complexo, reduzido pelo ácido ascórbico, resultando em um composto de coloração azul, cuja absorção espectrofotômica foi de 650 nm (Macedo, 2001).

Figura 07: A e B – filtragem e armazenamento do extrato digerido; C – composto de coloração azul resultante da reação de molibdênio em meio ácido; D – Solução padrão do Kit Labtest(r) para montagem da curva de calibração para determinação de fósforo.



Fonte: Fonseca (2024).

4.7 Análise estatística

Os dados referentes à altura, número de folhas, teor de clorofila, peso da biomassa e teor de fósforo foram analisados estatisticamente com auxílio do programa SISVAR e submetidos à análise de variância (ANOVA), com comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de significância.

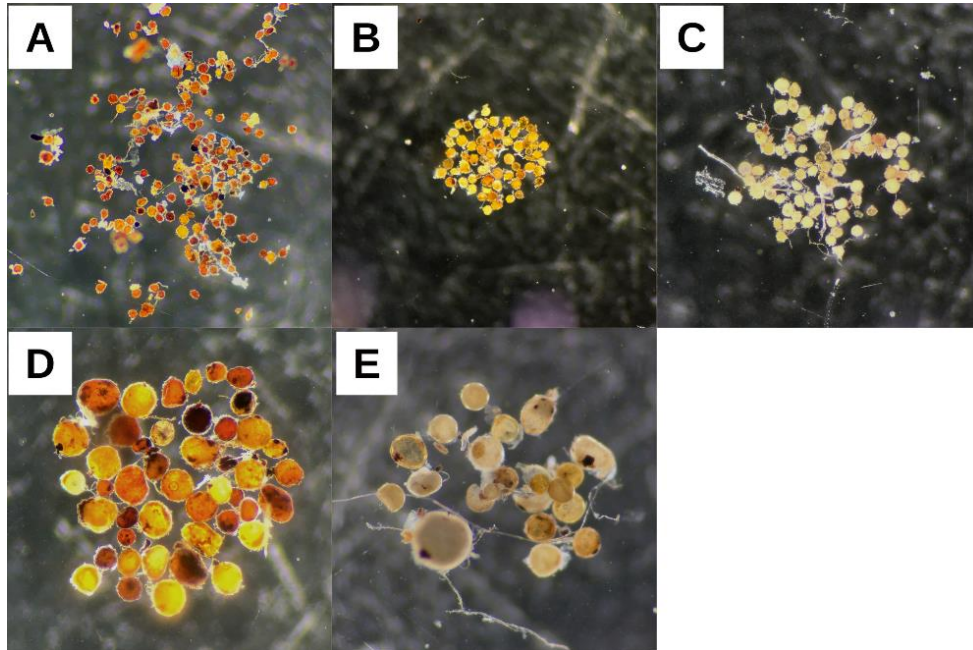
5. RESULTADOS

Ocorrência e diversidade de FMAs do PARNA Chapada das Mesas

Com base na identificação morfológica dos esporos comparados com a descrição das espécies catalogadas no INVAM - *International Culture Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi*, foi possível registrar a ocorrência de 5 gêneros provenientes de solos de Cerrado das áreas de pasto e de formação florestal do Parque Nacional da Chapada das Mesas, sendo eles: *Glomus*, *Gigaspora*, *Acaulospora*, *Scutelospora* e *Rhizophagus* (Figura 09 e Figura 08). A partir da soma da contagem dos glomerosporos coletados em área de pasto e área de mata, dentre os gêneros identificados os que ocorreram com maior predominância foram os

gêneros *Glomus* (3934) e *Rhizophagus* (268), e os gêneros *Scutellospora* (22) e *Gigaspora* (147) apresentaram menor predominância (Tabela 03).

Figura 08: Identificação de FMA de solos da Chapada das mesas a partir de caracteres morfológicos através do estereomicroscópio. A – *Glomus spp*, B – *Acaulospora spp*, C – *Rhizophagus sp*, D – *Gigaspora spp*, E – *Scutellospora sp*.

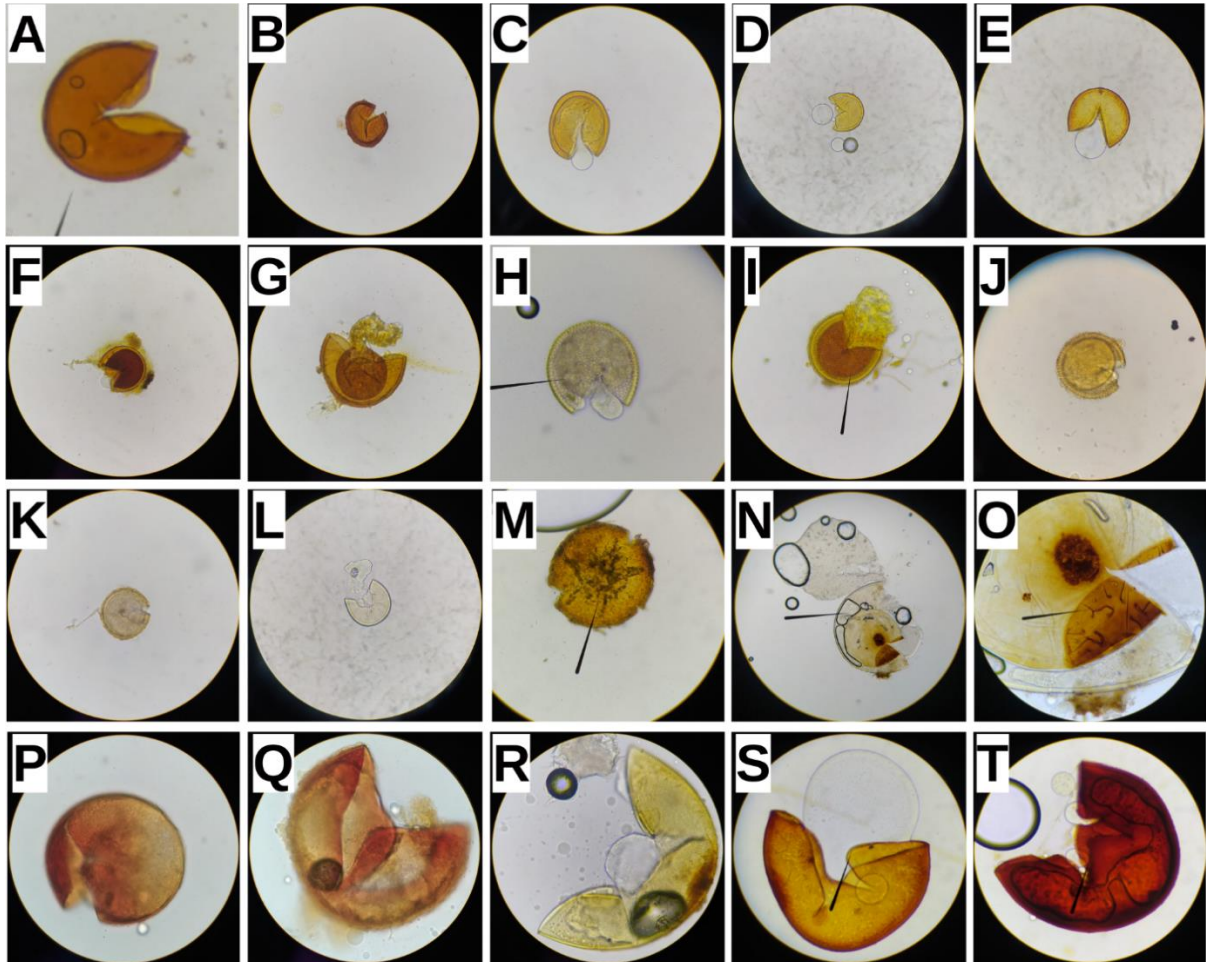


Fonte: Fonseca (2024).

Em relação à abundância de esporos de FMA, os gêneros *Glomus* e *Rhizophagus* são os dominantes nas áreas de pasto e de mata do PARNA Chapada das Mesas. Lima *et al.* (2018) encontraram resultados semelhantes ao avaliar a diversidade de FMAs em solo de cerrado sob pastagem, em que foi constatada a predominância do gênero *Glomus sp.* tanto nas áreas de pastagens quanto nas florestas. Pontes (2007) também evidenciou uma maior de esporos dos gêneros *Glomus* tanto em áreas cultivadas com soja quanto em áreas naturais de Cerrado.

Além disso, estudos como o de Cordeiro *et al.* (2004) evidenciam que áreas de cerrado sem interferência antrópica apresentam menor colonização micorrízica e menor densidade de fungos micorrízicos arbusculares, em comparação às áreas agrícolas. Salienta-se que, de modo geral, a literatura indica que há uma maior diversidade de FMA em áreas de pastagem no Cerrado em comparação com áreas florestadas, evidenciado também em estudo realizado por Cordeiro *et al.* (2004) no Parque Nacional das Emas, Estado de Goiás, em que a presença de maiores colonização micorrízica e densidade de esporos de FMA ocorreu em áreas de gramíneas.

Figura 09: Identificação morfológica de FMA do PARNA Chapada das Mesas. A- *Glomus* sp. B- *Glomus multicaule*; C- *GLomus* sp. D; L- *Rhizophagus manihotis*; E - Sem identificação; F- *Acaulospora morrowiae*.; G- *Acaulospora* sp.; H- *Acaulospora* sp.; I- *Acaulospora* sp.; J- *Acaulospora* sp.; K- Não identificado; M- Não identificado; N; O- *Scutellospora scutata*; P; Q- *Gigaspora rosea*; R- *Gigaspora* sp. S- *Gigaspora gigantea*; T- *Gisgaspóra margarita*.



Fonte: Fonseca (2024).

Quanto ao número de espécies de cada gênero, *Acaulospora* apresentou a maior riqueza dentre as demais espécies, sendo registradas 5 espécies. Dentre as espécies observadas, foi possível identificar apenas *Acaulospora morrowiae*. O segundo gênero com mais espécies registradas foi o *Gigaspora*, representado por 4 espécies: *Gigaspora rosea*, *Gigaspora* sp., *Gigaspora gigantea* e *Gisgaspóra margarita*. Do gênero *Glomus* foram encontradas 3 espécies, com identificação de apenas *Glomus multicaule*. Foram identificadas também uma espécie para o gênero *Rhizophagus* (*Rhizophagus manihotis*) e uma espécie do gênero *Scutellospora* (*Scutellospora scutata*). Além disso, foram encontradas 3 espécies não identificadas (Tabela 03, Figura 09).

Tabela 03: Relação de glomerosporos/esporos por gênero encontradas em duas diferentes fitofisionomias de Cerrado no PARNA Chapada das Mesas.

Gêneros	Quantidade de glomerosporos	
	Área de pasto	Área de mata
Glomus spp.	2197	1737
Gigaspora spp.	111	36
Scutellospora sp.	19	03
Acaulospora spp.	130	25
Rhizophagus sp.	242	26
TOTAL:	2699	1827

Fonte: Fonseca (2024).

Quanto à distribuição, todos os gêneros identificados foram observados nas duas áreas coletadas, contudo, a área de pasto apresentou maior quantidade de glomerosporos para todos os gêneros. Os gêneros *Glomus*, *Gigaspora*, *Acaulospora*, *Scutellospora* e *Rhizophagus* ocorreram em todos os pontos da área de pasto. Na área de mata, apenas o gênero *Scutellospora* não teve ocorrência em todas as amostras, sendo observado em apenas um ponto. Os gêneros *Acaulospora* e *Rhizophagus* foram registrados em $\frac{3}{4}$ pontos da área de mata.

Contudo, é importante ressaltar que a ausência de esporos não indica, necessariamente, ausência de colonização radial, pois estes fungos podem estar no ambiente em outras formas como hifas e em raízes colonizadas (Santos e Carrenho, 2011).

No presente estudo, o índice de diversidade de Shannon foi maior para a área de pastagem (0,695) em relação à área de floresta (0,255), indicando maior diversidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) na área de pastagem. O índice de equitabilidade de Pielou também foi maior para a área de pastagem (0,432) do que para a área de floresta (0,158), indicando uma distribuição mais uniforme dos indivíduos entre as diferentes espécies presentes na área de pastagem. Esses resultados corroboram com os mesmos encontrados por Santos (2010), em que o estudo constatou que a área de pastagem apresentou a maior diversidade de FMA.

Promoção do crescimento do feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) cultivado em solo inoculado e não inoculado com FMA

No que se refere a avaliação do crescimento da planta, os resultados indicam que aos 15, 30 e 45 dias após a implantação do experimento não houve efeito significativo a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey entre os tratamentos de solo inoculado e não inoculado com

FMA sobre o número de folhas, altura da planta e índice de clorofila (IC) no feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) (Tabela 04 e 05).

Tabela 04: Análise do número de folhas e altura das plantas de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) cultivado em solo inoculado e não inoculado com FMA aos 15, 30 e 45 dias após a condução do bioensaio.

TRAT.	Nº de folhas			Altura (cm)		
	15 D	30 D	45 D	15 D	30 D	45 D
Testemunha	4,60 a	6,80 a	3,18 a	27,06 a	56,32 a	73,08 a
Glomus spp.	5,80 a	8,80 a	4,49 a	45,56 a	82,58 a	107,24 a
Rhizophagus sp.	5,00 a	6,80 a	3,22 a	37,26 a	58,10 a	72,48 a
FMA's nativos	5,00 a	8,00 a	3,37 a	35,12 a	56,62 a	68,42 a
Roottela BR	4,40 a	6,40 a	2,91 a	23,96 a	51,42 a	74,44 a
Adubação P	4,60 a	8,20 a	3,58 a	44,86 a	88,36 a	112,00 a
CV (%)	15,81	23,48	29,31	41,74	40,77	34,41
p	0,1004	0,2300	0,2318	0,1528	0,1433	0,0819

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); CV = Coeficiente de Variação; p = Significância.

Fonte: Fonseca (2024).

Tabela 05: Avaliação do índice de clorofila em folhas de feijão-fava (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado em solo inoculado e não inoculado com FMA aos 15, 30 e 45 dias após a condução do bioensaio.

TRAT.	Índice de clorofila		
	15D	30D	45D
Testemunha	47.54 a1	37.48 a1	38.4 a1
Glomus spp.	46.88 a1	37.34 a1	38.92 a1
Rhizophagus sp.	44.78 a1	38.56 a1	40.52 a1
FMA's nativos	49.14 a1	40.6 a1	38.22 a1
Roottela BR	49.4 a1	42.26 a1	40.94 a1
Adubação P	47.24 a1	40 a1	41.32 a1
CV (%)	8.22	8.17	9.51
p	0.4799	0.1506	0.6617

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); CV = Coeficiente de Variação; p = Significância.

Fonte: Fonseca (2024).

Não houve diferença significativa ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste Tukey entre os tratamentos de solo inoculado e não inoculado com FMA para as variáveis massa fresca (MF) e seca (MS) das folhas, massa fresca da raiz e teor de fósforo nas folhas de feijão-fava. Contudo, é possível observar que os tratamentos que apresentaram maior massa fresca e seca, em ordem crescente de valor numérico, foram: tratamento com correção de fósforo (MF-7,04g; MS-2,09g), tratamento com inóculo de *Rhizophagus sp.* (MF-7,03g; MS-1,52g) e o tratamento de solos com FMA's nativos do PARNA Chapada das Mesas (MF-6,90g; MS-1,55) (Tabela 06).

Tabela 06: Análise de variância da massa fresca (MF) e massa seca (MS) da parte aérea e raiz, teor de fósforo (P) e colonização radicular (CR).

TRAT.	Parte Área		Raiz	Folha	Raiz
	MF (g)	MS (g)	MF (g)	Teor P (mg/g)	CR (%)
Testemunha	5,36 a	1,16 a	1,41 a	18374,17 a	-
Glomus spp.	6,54 a	1,17 a	2,10 a	23331,98 a	1,94 b
Rhizophagus sp.	7,03 a	1,52 a	1,85 a	21390,33 a	1,34 ab
FMA's nativos	6,90 a	1,54 a	2,86 a	18524,98 a	1,86 ab
Roottela BR	5,96 a	1,14 a	2,10 a	27102,18 a	4,04 a
Adubação P	7,04 a	2,09 a	2,97 a	20560,88 a	-
CV (%)	29,28	37,03	54,06	22,03	36,26
p	0,6667	0,1312	0,3191	0,1523	0,0215

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); CV = Coeficiente de Variação; p = Significância.

Fonte: Fonseca (2024).

Para o teor de fósforo obtido em amostra das folhas secas, observa-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 6). Em estudo realizado por Diniz (2022), plantas adubadas com P e inoculadas com FMAs mostraram ganhos nos teores de N, P e K nos grãos e nas folhas, o que sugere a contribuição do fungo para a translocação de nutrientes para estes órgãos.

A colonização radicular de FMA do PARNA Chapada das Mesas nas raízes de feijão-fava ocorreu em todos os tratamentos em que a planta recebeu o inóculo, variando de 1,34 a 4,04 %. Houve diferença significativa pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade entre os tratamentos de solo inoculado com fungos micorrízicos arbusculares, em que se observa maior colonização das raízes no solo inoculado com o produto comercial Roottela BR, o qual é a base de *Rhizophagus intraradices* (Tabela 05). Esses resultados são corroborados por Vieira *et al.* (2021), ao constatar que o adubo fosfatado e o inoculante à base de FMA não interferiram no desenvolvimento das plantas, apresentando características morfofisiológicas iguais estatisticamente.

Em relação ao aumento da produtividade vegetal do feijão-fava tratado com inóculo de FMAs do PARNA Chapada das Mesas, os resultados sugerem que, nas condições do estudo, a presença de inóculos de FMAs do PARNA e do inóculo comercial Roottela BR não obtiveram impacto significativo na promoção do crescimento e na produtividade das plantas de feijão-fava em comparação com as plantas não tratadas com FMAs. Ainda não há estudos que possam corroborar ou refutar tais resultados acerca de estudos com feijão-fava cultivado com inóculos de FMAs.

Entretanto, outros estudos em relação aos benefícios do cultivo de outros gêneros de feijão sob associação simbiótica de FMAs constataram importante incremento no desenvolvimento vegetal em parâmetros como quantidade de folhas e índice de clorofila

(Nascimento *et al.* 2024). Nesse sentido, os resultados podem ser importantes para orientar decisões sobre o uso de FMAs como agentes promotores de crescimento em sistemas agrícolas específicos e fomentar novas pesquisas acerca do tema.

Hentz, Silva e Saggin-Júnior (2013) evidenciaram uma alta eficiência simbiótica em promover crescimento, nutrição e nodulação da leguminosa *Mimosa artemisiana* cultivada sob inóculos de FMAs, dentre eles uma espécie de gênero *Glomus*. Ademais, Youssef, Riad e Abd Elhady (2017) observaram aumento significativo nas características de crescimento vegetativo e aumento da produtividade em uma variedade de *Phaseolus vulgaris* L.

Para mais, o tempo de condução do bioensaio pode ter sido um fator de interferência na obtenção dos dados e assim influenciando na capacidade de promoção do crescimento do feijão-fava. A condução do bioensaio em casa de vegetação teve uma duração de 45 dias, tempo este determinado com base no período de pré-floração da planta, podendo não ser tempo suficiente para a associação e estabilização das culturas de FMAs na planta hospedeira feijão-fava. Sabe-se que o tempo necessário para o estabelecimento dos FMA nas raízes das plantas varia dependendo de fatores como a espécie da planta e suas especificidades fisiológicas, o tipo de FMA e as condições ambientais bem como o tipo de solo (Aker *et al.*, 2022; Nogueira, 1997; Cordeiro *et al.*, 2004), sendo necessária mais pesquisas para determinar o tempo necessário para que os FMA se estabeleçam nas raízes das plantas de feijão-fava.

6. CONCLUSÃO

Registrou-se a ocorrência de 5 (cinco) gêneros provenientes de solos de Cerrado das áreas de pasto e de formação florestal do Parque Nacional da Chapada das Mesas, sendo eles: *Glomus*, *Gigaspora*, *Acaulospora*, *Scutelopsora* e *Rhizophagus*. Dentre os gêneros identificados, os que ocorreram com maior predominância foram os gêneros *Glomus* e *Rhizophagus*.

Quanto ao número de espécies de cada gênero, *Acaulospora* apresentou a maior riqueza dentre as demais espécies, sendo encontradas cinco espécies, foi possível identificar apenas *Acaulospora morrowiae*. O segundo gênero foi o *Gigaspora*, representado por quatro espécies: *Gigaspora rosea*, *Gigaspora sp.*, *Gigaspora gigantea* e *Gigaspora margarita*. Do gênero *Glomus* foram encontradas três espécies, com identificação *Glomus multicaule*. Foi identificada também uma espécie para o gênero *Rhizophagus* (*Rhizophagus manihotis*) e uma espécie do gênero *Scutellospora* (*Scutellospora scutata*).

O índice de diversidade de Shannon e o índice de equitabilidade de Pielou se mostraram maiores para a área de pastagem do que para a área de floresta, indicando maior diversidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) na área de pastagem e uma distribuição mais uniforme dos indivíduos entre as diferentes espécies presentes na área.

Quanto a capacidade de promoção do crescimento vegetal do feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) sob cultivo com inóculo de Fungos Micorrízicos Arbusculares do PARNA Chapada das Mesas, os resultados sugerem que, nas condições do estudo, não houve um aumento significativo em relação a promoção do crescimento. Sendo necessário mais estudos, tanto em casa de vegetação como em campo, a fim de estabelecer um período ideal para a simbiose feijão-fava e fungos micorrízicos arbusculares.

REFERÊNCIAS

- ADL, S.; IRON D.; KOLOKOLNIKOV T. A threshold area ratio of organic to conventional agriculture causes recurrent pathogen outbreaks in organic agriculture. *Sci Total Environ.* 2011 May 1;409(11):2192-7. doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.02.026. Epub 2011 Mar 21. PMID: 21420722.
- AKER, A.; JANOUŠKOVÁ, M.; NOGUEIRA, M. A; CORDEIRO, M. A. Fungos Micorrízicos Arbusculares no Bioma Cerrado: Efeitos do Sistema de Uso do Solo, Textura do Solo e Sazonalidade. **Fronteiras em Microbiologia**, v.13, 2022. DOI: 10.3389/fmicb.2022.836019.
- ASSAD, E; D.; MARTINS, S. C.; PINTO, H. S. Sustentabilidade no Agronegócio Brasileiro. **Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável.** 2012. Disponível em: <https://www.fbds.org.br/article.php?id_article=80>. Acesso em: 28/01/2024.
- ASSAD, M. L. L.; ALMEIDA, J. Agricultura e sustentabilidade contexto, desafios e cenários. **Ciência & Ambiente**, n. 29, p.15-30. 2004.
- BARBOSA, Gustavo José e ARRIEL, Nair Helena Castro. FEIJÃO-FAVA E A AGRICULTURA FAMILIAR DE SERRARIA, PB. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 35, n. 3, p. 387-403, set./dez. Brasília, 2018.
- BENEVIDES, C. N. J.; SANTOS, A. J. S; LIMA, L. C. S. TRINDADE, B. A.; LOPES, M. V. Aspectos tecnológicos do subproduto de panc (farinhas de cajanus cajan e phaseolus lunatus): fortalecimento da agricultura familiar. **Brazilian Journal of Development.** Curitiba, v. 5, n. 11, p. 23221-23233, nov. 2019 ISSN 2525-8761
- BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FERNADES, M. S. Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas.** Viçosa: Socienda Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 53-88.
- BONFIM, J. A.; MATSUMOTO, S.N.; SANTOS, M A.F.; ARAÚJO, G. S. Determinação da densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em cafeeiros cultivados em sistema agroflorestal e a pleno sol, no município de Vitória da Conquista, Bahia. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v.2 n.2 out. 2007.
- CLASEN, B.; MURUSSI, C. R.; FORGIARINI, F. R.; BAGGIOTTO, C. ATIVIDADES AGROPECUÁRIAS E A CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA E PEIXES COM AGROTÓXICOS. In: Tiecher, Tales (org.). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil:** impacto das atividades agropecuárias na contaminação do solo e da água. 1. ed. URI – Frederico Westph, p. 35-52. 2017.
- COGO, F. D., DOS SANTOS JUNIOR, P. S., COGO, F. A. D., & DE SOUSA, L. L. Diniz. Fungos micorrízicos arbusculares: abordagem no ensino de Biologia. **Ciência ET Praxis**, v. 12, n. 23, p. 19-24, 2019.
- COLOZZI-FILHO, A.; BALOTA, E. L. Micorrizas arbusculares. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S., (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola.** Brasília: EMBRAPA/SPI, 1994. p. 383-418.

CORDEIRO et al. Colonização e densidade de esporos de fungos micorrízicos em dois solos do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, n. 3, p. 147-153, 2004.

DA SILVA, DEVANILDO BRAZ. Sustentabilidade no Agronegócio: dimensões econômica, social e ambiental. *In*: Comunicação & Mercado – **Revista Internacional de Ciências Sociais Aplicadas** - UNIGRAN. v. 1, n. 2. p. 23-34. Dourados, 2012.

DA SILVA, M. L. A.; ARAÚJO, M. F.; DA CONCEIÇÃO, G. M. Identidade e modo de vida dos moradores do Parque Nacional da Chapada das Mesas, Maranhão, Brasil. **Biota Amazônia**. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.18561/2179746/biotaamazonia.v7n4p41-47>

DE SOUZA, V. C.; DA SILVA, R. A.; CARDOSO, G.; BARRETO, D. A. F. Estudos sobre fungos micorrízicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.612–618, 2006.

DINIZ, Patricia Fabian de Araújo et al. Doses de fósforo e fungos micorrízicos arbusculares na cultura do feijão-caupi na Paraíba. **Revista Principia** - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, João Pessoa, nov. 2022. ISSN 2447-9187. Disponível em:< <https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/7126>>. Acesso em: 06 fev. 2024. doi:<http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2022id7126>.

DOS SANTOS, A. C. B. **A transformação de resíduos orgânicos em biofertilizantes visando a redução de custos e melhorias sustentáveis ao meio ambiente**. 2021. Disponível em:https://www.convibra.org/congresso/res/uploads/pdf/artigo_pdfYWzQZN01.04.2021_11.25.13.pdf. Acesso em: 29/01/2024.

DURAZZINI, A. M. S.; TEIXEIRA, M. A.; ADAMI, A. A. V. Quantificação de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) em solo sob diferentes cultivos de cafeeiros. **Revista Agroambiental, Pouso Alegre**, v. 8, n. 4, p. 83-91, dez. 2016.

FARIAS, C. P. **Fungos promotores do crescimento vegetal e da fitorremediação de metais pesados em combinação com biochar**. Dissertação (mestrado). Uberlândia-SP. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.713>

FERNANDES, G.; TIECHER, T.; PITON R.; PELLEGRINI, A.; DOS SANTOS, D. R. Impacto da fertilização nitrogenada em pastagens perenes na contaminação dos recursos naturais. **Revista Brasileira de Tecnologia Agropecuária**, v. 1, n. 1, p. 03-1. 2017.

FERREIRA, D. A.; CARNEIRO, M. A. C.; SAGGIN JUNIOR, O. J. Fungos micorrízicos arbusculares em um latossolo vermelho sob manejos e usos no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 51-61, 2012.

FITTER, AH; HELGASON, Thorunn; HODGE, Ângela. Trocas nutricionais na simbiose micorrízica arbuscular: implicações para a agricultura sustentável. **Revisões de Biologia Fúngica**, v. 1, pág. 68-72, 2011.

FRAZÃO, ANA CLAUDIA DOS SANTOS. **Diversidade florística da área de proteção ambiental do Maracanã em São Luis/MA: Impactos para o manejo e conservação**. Monografia (graduação), Curso de Ciências Biológicas. UEMA. Maranhão, 2017.

GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil wet sieving and decanting. *Transactions of British Mycological Society, Cambridge*, v. 46, n. 2, p. 235-244, Apr. 1963.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques to measure vesicular-arbuscular mycorrhizal infection on roots. *New Phytologist*, Oxford, v. 84, n. 3, p. 489-500, 1980.

Google. (2023). Mapa com relevo padrão da localização dos pontos amostrais no Parque Nacional da Chapada das Mesas. Disponível em: < <https://maps.app.goo.gl/HdygY8KtzZspZTi28>>. Acesso em: 28 de dezembro de 2024.

GÓMEZ, L. I. A.; PORTUGAL, V. O.; ARRIAGA, M. R.; ALONSO, R. C. Micorrizas arbusculares. *Ciencia Ergo*. Universidad Autónoma del Estado de México Toluca, Sum, vol. 14, n. 3. pp. 300-306. México. 2007.

GOSLING, P.; HODGE, A.; GOODLASS, G.; DOBRANDO, GD. Os FMAs formam uma associação simbiótica com mais de 80% das famílias de plantas terrestres. *Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. Agriculture, Ecosystems & Environment*. V. 113. 1–4. 2006. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.09.009>.

GOUVEIA, Nelson; MIRANDA, Ary Carvalho de. Rio+ 20:(in) sustentabilidade e saúde coletiva. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 17, p. 1384-1384, 2012.

GUIMARÃES, et al. Caracterização morfológica e molecular de acessos de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, n.1, p.37–45, 2007.

HENTZ, A. D. M.; DA SILVA, E. M. R.; SAGGIN-JÚNIOR, O. J. Seleção de fungos micorrízicos arbusculares eficientes para promoção do crescimento da leguminosa Mimosa artemisiana Heringer & Paula. *Revista Agroecossistemas*, v.4, n.2, p.40-51, 2013.

HOFFMANN, Lúcia Vieira e LUCENA, Valeska Silva. Para Entender Micorrizas Arbusculares. *Embrapa Algodão* (Campina Grande, PB). Campina Grande, 2006.

INAMASU, R. Y., Bernardi, A. D. C., Vaz, C. M. P., Naime, J. D. M., Queiros, L. R., de RESENDE, A. V., ... & Fragalle, E. P. Agricultura de precisão para a sustentabilidade de sistemas produtivos do agronegócio brasileiro. *Embrapa Instrumentação*. São Paulo. 2011. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/916714/agricultura-de-precisao-um-novo-olhar>. Acesso em: 28/01/2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE – **Levantamento sistemático da Produção Agrícola**, 2020.

INVAM - International Culture Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi, 2001. Disponível: em < <https://invam.ku.edu/> >. Acesso em: 29/08/2023.

JENKINS, W. R. A. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter*, v. 48, n.9, p. 692, 1964.

JOBIM, Khadija. **Espécies Esporocárpicas De Fungos Micorrízicos Arbusculares (Glomeromycota): Taxonomia, Sistemática E Evolução**. 2020.

- LIMA, M. A de S. et al. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em solo de Cerrado sob pastagem. **III Congresso Internacional das Ciências Agrárias**. 2018
- MACEDO, J.A.B. **Águas & águas: métodos laboratoriais de análises físico-químicas e microbiológicas**. Rio de Janeiro: Ed. J.A.B. de Macêdo, p.77-79, 2001.
- MAIA, L. C.; PASSOS, J. H.; SILVA, J. A.; OEHL, F.; & ASSIS, D. M. A. Diversidade de espécies de Glomeromycota nos biomas brasileiros. **Sydowia** , v. 72, p. 181-205, 2020.
- MALLMANN, F. J. K.; MIOTTO, A.; SANTANA, N. A.; JACQUES, R. J. S. Importância, riscos e fontes de contaminação por metais pesados nos solos do Sul do Brasil. *In*: Tiecher, Tales (org.). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: impacto das atividades agropecuárias na contaminação do solo e da água**. 1. ed. URI – Frederico Westph, p. 18-34. 2017.
- MARTINS, F. P.; SALGADO, A. A. R.; BARRETO, H. N. Morfogênese da Chapada das Mesas (Maranhão-Tocantins): paisagem cárstica e poligenética. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 18, nº 3. 2017
- MEDEIROS, et al. Caracterização morfoagronômica de fava (*Phaseolus lunatus* L.). *Cadernos de Agroecologia*, v.10, n.3, 2015.
- MIRANDA, J. C. C. de. Micorriza arbuscular: ocorrência e manejo. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. 169p.
- MMA/IBAMA. 2007. Centro Nacional de Prevenção e Combate ao Incêndios Florestais Prevfogo. **Parque Nacional da Chapada das Mesas. Plano operativo de prevenção e combate aos incêndios florestais do Parque Nacional da Chapada das Mesas**, 2007. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/plano_operativo_parna_da_chapada_das_mesas.> Acessoem: 28/01/2024)
- MORAES. R. C.; LIMA, L. P. Utilização de SIG como ferramenta na gestão do Parque Nacional Chapada das Mesas (Carolina/MA). **XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE**, p. 4057-4064. 2007.
- MOREIRA, M. G. D. **Conhecimento comum e consume da fava crioula (*Phaseolus Federal de L.*)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização Gestão em Recursos Ambientais do Semiárido, Instituto Federal de Educação Tecnológica da Paraíba, Campus Piauí, 2022.
- MOREIRA, F.M. de Souza.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras; p.729.2006.
- MORRETTO, Jéssica Aparecida Silva. **Investigação da influência de diferentes herbicidas sobre a microbiota do solo**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto/USP. Ribeirão Preto, 2015.
- NASCIMENTO, Ivaneide de Oliveira et al. Eficiência simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares do cerrado maranhense associados à cultura do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) WALP.). **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, v.16, n.1, p. 1774-1791, 2024.

NOBRE, et al. Qualidade física, fisiológica e morfologia externa de sementes de dez variedades de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) Revista Brasileira de Biociências. Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 425-429, 2012.

NOGUEIRA, M. A. **Colonização radicular e produção de micélio externo por duas espécies de fungos micorrízicos arbusculares em soja submetida a dose de fósforo.** Dissertação de mestrado. Piracicaba, 1997.

NUNES, M. C.; GOMSE, R. S. S.; NASCIMENTO, L. C. Caracterização de sementes crioulas de feijão-fava produzidas no estado da Paraíba, Brasil. **Revista Principia**, Paraná, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id6226>

OLIVEIRA, W. R.; CORIOLANO, L. N. M. T. Áreas protegidas e atividade turística no Brasil: o Parque Nacional da Chapada das Mesas, Maranhão. **Revista Brasileira de Ecoturismo**. 2019. Disponível em: <https://periodicos.unifesp.br/index.php/ecoturismo/article/download/6724/6881/37624>. Acesso em 28/01/2024.

PEREIRA, Glauber Santos. **Diversidade genética, resistência à antracnose e predição de potencial de população segregante de Phaseolus lunatus.** Tese (Doutorado em Proteção de plantas) - Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2021

PHILLIPS, J.M.; HAYMAN, D.S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transactions of the British Mycological Society**, London, v. 55, n. 1, p. 158-161, Aug. 1970.

PIGNATI, W.; OLIVEIRA, N. P.; DA SILVA, A. M. C. Vigilância aos agrotóxicos: quantificação do uso e previsão de impactos na saúde-trabalho-ambiente para os municípios brasileiros. **Ciência & Saúde Coletiva**, 19(12):4669-4678, 2014. DOI: 10.1590/1413-812320141912.12762014

PONTES, Juliana Souza. **Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em ecossistemas naturais e agrícolas do cerrado.** Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Ciências Biológicas, 2017

QUEIROZ, P. R.; LIMA, K. C.; OLIVEIRA, T. C.; SANTOS, M. M.; JACOB, J. F.; OLIVEIRA, A. M. B. M. Sistema de Informação de Agravos de Notificação e as intoxicações humanas por agrotóxicos no Brasil. **REV BRAS EPIDEMIOL**; 22: E190033. 2019. DOI: 10.1590/1980-549720190033

ROCHA, H. A.; SOARES, I. G.; DE ARAÚJO, E. P.; ALMEIDA-JUNIOR, E. B.; MARQUES, A. R. Detecção de mudança no uso e cobertura da terra ao longo de 10 anos (2007 e 2017) do Parque Nacional da Chapada das Mesas, Maranhão. **Bol. Geogr.**, v39. Maringá, 2021.

ROCHA, M. A. K.; MELO, O. Parque Nacional Da Chapada Das Mesas: Uma análise da gestão do ecoturismo na perspectiva do desenvolvimento sustentável. Dissertação (Mestrado) – Centro Universitário Alves Faria – (UNIALFA). Goiânia, 2018.

ROSSET, J. S.; COELHO, G. F.; GRECO, M.; STREY, L.; GONÇALVES-JUNIOR, A. C. Agricultura convencional versus sistemas agroecológicos modelos, impactos, avaliação da qualidade e perspectivas. **Scientia Agraria Paranaenses**. v.13, n.2, 2014. DOI: 10.18188/1983-1471/sap. v13n2p80-94

SANTOS, D; CORLETT, F. M. F.; MENDES, J. E. M. F.; WANDERLEY JÚNIOR, J. S. A. Produtividade e morfologia de vagens e sementes de variedades de fava no Estado da Paraíba. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.10, p.1407-1412, 2002.

SANTOS, et al. Produtividade e morfologia de vagens e sementes de variedades de fava no Estado da Paraíba. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v. 37, n. 10, p. 1407-1412, 2002.

SANTOS, F. E. F.; CARRENHO, R. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em remanescente florestal impactado (Parque Cinquentenário - Maringá, Paraná, Brasil). **Acta Botanica Brasílica**, v. 25, n.2, p.508-516, 2011.

SANTOS, R.S; SCORIZA, R.N; FERREIRA, J.S. Fungos Micorrízicos Arbusculares em Diferentes Coberturas Florestais em Vitória da Conquista, Bahia. *Floresta e Ambiente*, v.20, n.3, p.344-350, 2013.

SANTOS, V. L da S. **Fungos micorrízicos arbusculares em ecossistema de mata seca do norte de Minas Gerais**. Dissertação de mestrado. Seropédica - RJ, 2010.

SATURNINO, R.; OLIVEIRA, J. W. S. G.; CARVALHO, L. S.; DE PAULA, Y. R. A. A.; SILVA-JÚNIOR C. J.; DA SILVA, M. F. Diversidade de aranhas de solo no Parque Nacional Da Chapada Das Mesas, Carolina - Maranhão, Brasil. *In: OLIVEIRA, A. B. (Org.). Ciências Ambientais no ecótono Amazônia-cerrado maranhense*. Atena Editora 2023. DOI: 10.22533/at.ed.450232509

SILVA, J. J.; BEZERRA. **Estresse Hídrico nos Diferentes Estágios Fenológicos do Feijão-Fava (*Phaseolus lunatus* L.)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia). Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2019.

SILVA, Daniela Aline; POLLI, Henrique Quero. A Importância da agricultura orgânica para a saúde e o meio ambiente. **Revista Interface Tecnológica**, v. 17, n. 1, p. 505-516, 2020. DOI: 10.31510/infra.v17i1.825

SOARES, Marcelo Costa. Tecnologia e sustentabilidade no agronegócio brasileiro: um futuro desafiador. **Revista Jurídica Profissional**, v. 2, n.1. p. 40-50. 2023. Disponível em:<<https://periodicos.fgv.br/rjp/issue/view/5014>>. Acesso em: 28/01/2024.

SPADOTTO, C. A.; GOMES, M. A.; LUCHINI, L. C.; Andréa, M. M. Monitoramento do risco ambiental de agrotóxicos: princípios e recomendações. **Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente**, 2004. ISSN 1516-4691

STEFFEN, G. P. K.; STEFFEN, R. B.; ANTONIOLLI, Z. I. Contaminação do solo e da água pelo uso de agrotóxicos. **TECNO-LÓGICA**, v. 15, n. 1, p. 15-21. Santa Cruz do Sul, 2011.

TEDESCO, M.J. **Análise de solo, plantas e outros minerais**. UFRGS: Departamento de Solos. Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, 174p.1995.

VEIMROBER-JUNIOR, L. A. D. A.; ANDRADE, H. O.; NASCIMENTO, F. R. A.; CALDAS, A. S.; SILVA-JÚNIOR, J. J. Avaliação de impactos dos agrotóxicos na saúde do (a) trabalhador (a) rural brasileiro (a). **Cadernos Macambira, [S. l.]**, v. 2, n. 1, 2019. Disponível em: <https://revista.lapprudes.net/index.php/CM/article/view/204>. Acesso em: 28 jan. 2024.

VIEIRA, Maria Olívia Cunha Santos et al. Utilização de adubo fosfatado e inoculante à base de fungo micorrízico no cultivo do feijão. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v.19, n. 1, p. 16-24, 2021. DOI: <https://doi.org/10.30681/rcaa.v19i1.5025>

YOUSSEF, Sabry M.; RIAD, Gamal S.; ABD ELHADY, Salama A. Efeito de fontes de fósforo e inoculação de micorrizas arbusculares no crescimento e produtividade do feijãoovagem (*Phaseolus vulgaris* L.). **Gesunde Pflanzen** , v.3, p.139-148, 2017.

ZANELLA, P. T.; LAGO, S.; MARA, S. A produção científica brasileira sobre a sustentabilidade no agronegócio: um recorte temporal entre 2005 e 2015. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, vol. 18, núm. 4, p. 356-370. Minas Gerais. 2016

ZANELLA, T. P.; LEISMANN, E. Abordagem da sustentabilidade nas cadeias de commodities do agronegócio brasileiro a partir de sites governamentais. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade -RMS**. v. 7, n.2, p. 6-19. São Paulo, 2017.