



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

BRUNNA SILVA DE ALMEIDA LEITE

**AVALIAÇÃO DA SIMBIOSE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES
NATIVOS DE PASTAGENS NO CERRADO MARANHENSE ASSOCIADO A
CULTURA DE MILHO (*Zea mays* L.).**

Imperatriz – MA

2025





BRUNNA SILVA DE ALMEIDA LEITE

**AVALIAÇÃO DA SIMBIOSE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES
NATIVOS DE PASTAGENS NO CERRADO MARANHENSE ASSOCIADO A
CULTURA DE MILHO (*Zea mays* 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: Profa. Dra. IVANEIDE DE OLIVEIRA
NASCIMENTO

Imperatriz – MA

2025





L533a

Leite, Brunna Silva de Almeida

Avaliação da simbiose de fungos micorrízicos arbusculares nativos de pastagens no cerrado maranhense associado a cultura de milho (*Zea mays* L.). / Brunna Silva de Almeida Leite. – Imperatriz, MA, 2025.

39 f.; il.

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

1. Agricultura sustentável. 2. Produtividade do Milho. 3. Fungos Micorrízicos arbusculares. 4. Imperatriz - MA. I. Título.

CDU 635.67

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





BRUNNA SILVA DE ALMEIDA LEITE

**AVALIAÇÃO DA SIMBIOSE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES
NATIVOS DE PASTAGENS NO CERRADO MARANHENSE ASSOCIADO A
CULTURA DE MILHO (*Zea mays* L.).**

Aprovado em: 03/02/2025

Banca Examinadora:

Ivaneide de Oliveira Nascimento

Profa. Dra. IVANEIDE DE OLIVEIRA NASCIMENTO, Orientadora

DOUTORA EM AGROECOLOGIA
CCENT/UEMASUL *Campus Imperatriz*

Documento assinado digitalmente



NIARA PORTO DE CARVALHO
Data: 10/03/2025 09:05:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. NIARA PORTO DE CARVALHO, Membro da Banca Examinadora

DOUTORA EM PRODUTOS NATURAIS E SINTÉTICOS BIOATIVOS
CCENT/UEMASUL *Campus Imperatriz*

Wanderson Lima Cunha

Prof. Me. WANDERSON LIMA CUNHA, Membro da Banca Examinadora

MESTRE EM BIOLOGIA VEGETAL
UNICAMP





À minha família, em especial minha vó Maria Roza (*in memoriam*), meu esposo José Marcelo, minha irmã Amanda, meu pai João Francisco e meu tio Roricio por serem os primeiros a acreditarem em mim.

DEDICO





AGRADECIMENTOS

À Deus, foi sua bondade e o seu amor que me mantiveram nas infinitas vezes que achei que não fosse capaz.

À minha vó Maria Roza (*in memoriam*), ela que foi minha primeira professora, a primeira pessoa que acreditou em mim e que continua sendo minha maior motivação e inspiração. Os melhores 13 anos da minha vida foram ao seu lado.

Ao meu esposo José Marcelo, por estar presente ao meu lado nos melhores e piores dias, durante os estudos para o vestibular, na graduação e agora no término dela. Enxugou minhas lágrimas, acreditou em mim mais que eu mesma e fez o possível para tornar a caminhada mais leve.

Ao meu tio Roricio, meu pai João Francisco e minha irmã Amanda, foram vocês que escutaram eu falar dos meus primeiros sonhos, acreditaram que eu era capaz e me fizeram sentir que posso ser tudo o que eu quiser.

À minha orientadora, Ivaneide de Oliveira Nascimento, dona de um coração imenso, me acolheu, me ensinou e acreditou em mim. Obrigada por me introduzir na iniciação científica e transmitir seu amor pela Microbiologia marcado em mim. Sua humanidade e legado deixaram marcas na minha trajetória.

Aos colegas de turma, Vanessa, Petronilio, Augusto, Arabutan, vocês fizeram parte de tudo isso. Obrigada pelas minhas melhores lembranças da graduação, das viagens, dos surtos coletivos, dos memes, das reclamações e das conquistas. Não poderia ter sido outros, tinha que ser vocês.

Por fim, aos colegas de laboratório, Bruno, Alex, Samara e Laiara. Com vocês os dias de lutas se tornaram mais leve e possíveis. Obrigada Bruno, por tantas vezes que me desesperei no experimento e você dizia que íamos dá um jeito, formamos uma dupla perfeita. Alex, os dias eram mais divertidos e loucos com você, quando eu sabia que você estaria no laboratório já sabia que íamos sorrir muito. Samara, obrigada por ter me apresentado a profa. Ivaneide e ter estado presente desde o início de tudo. Laiara, obrigada por seu coração meigo e disposto em ajudar desde o início da graduação. Agradeço à UEMASUL, este sonho só se tornou realidade graças ao suporte e às oportunidades que recebi ao longo desses cinco anos, que foram fundamentais para minha jornada acadêmica e pessoal.





“O papel do infinitamente pequeno na natureza é
infinitamente grande”

(Louis Pasteur)





RESUMO

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), são uma alternativa sustentável na agricultura por promover maior crescimento das plantas, absorção de água e nutrientes. Sendo assim, sua associação ao milho (*Zea mays* L.) se apresenta como aliado para a promoção do crescimento e maior produtividade, visto que o milho é um importante cereal agrícola devido a sua ampla variedade de utilizações. O objetivo deste trabalho foi realizar a avaliação da simbiose de fungos micorrízicos arbusculares do solo do Cerrado maranhense sob pastagem, em associação com o milho e verificar quais espécies de fungos micorrízicos arbusculares estabelecem simbiose com essa cultura e a eficiência na absorção de P. O experimento foi arranjado em esquema fatorial com duas linhagem de milho, V1 Híbrido e V2 Caboclo com 12 tratamentos e 4 repetições, sendo V1T1 e V2T1 as testemunhas sem inoculação no solo, V1T2 e V2T2 solo sem inoculação com adubação fosfatada, V1T3 e V2T3 inoculado com *Glomus glomerulatum*, V1T4 e V2T4 inoculado com *Rhizophagus intraradices*, V1T5 e V2T5 inoculados com FMA nativos e V1T6 e V2T6 inoculados com Rootella BR®. Quanto as variáveis número de folhas, massa seca da parte aérea e teor de fósforo nas folhas não houve diferença significativa para as duas variedades. Os maiores índices de clorofila, foram observados na variedade milho híbrido, aos 30 dias após o plantio com a inoculação no solo com *R. intraradices* e aos 45 dias após o plantio com a inoculação no solo de *G. glomerulatum*, nos demais dias não houve diferença significativas. Aos 15 dias após o plantio, houve interação significativa para a altura entre os fatores variedade (milho híbrido e milho caboclo) e tratamento (solo inoculado e não inoculado com fungos micorrízicos arbusculares). As maiores médias de altura na variedade de milho Híbrido foram obtidas com a inoculação do produto comercial Rootella BR®. Aos 30 dias, verificou-se diferença significativa para altura, com os melhores resultados no tratamento com FMAs nativos. Quanto a colonização radicular, o tratamento com Rootella BR® apresentou a maior taxa de colonização para ambas as linhagens. A identificação morfológica apontou os FMAs nativos como pertencentes aos gêneros: *Glomus*, *Paraglomus* e *Gigaspora*.

Palavras-chave: agricultura sustentável, cerrado, meio ambiente.





LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Estruturas especializadas de fungos micorrízicos arbusculares. Arbúsculo (a); esporo (b) e raiz colonizada com vesículas (c e d)..... 17
- Figura 2**- Mapa da área onde foram realizadas as coletas de solo no município de Governador Edson Lobão.....21
- Figura 3** - Esquema de coleta do solo de 5 amostras compostas, formadas por cinco subamostras simples com 3m de distância, para as áreas de mata e pasto 22
- Figura 4** - Avaliação dos parâmetros altura da planta e índice de clorofila durante a condução do bioensaio..... 25
- Figura 5** - Raízes coradas na placa de petri para determinação de colonização micorrízica pelo método de interseção em placas quadriculadas 25
- Figura 6** - A - Extrato obtido após filtração do material vegetal com solução extratora Mehlich-1. B - Reação de molibdênio com a amostra resultando em uma coloração azul 27





LISTA DE TABELAS

- Tabela 1**- Análise química e física do solo utilizado para plantio do milho em casa de vegetação24
- Tabela 2** - Média do índice de clorofila em duas variedades de milho (*Zea mays*) cultivado em solo inoculado e não inoculado com Fungo Micorrízico Arbuscular no período de 15 a 60 dias após o plantio.....28
- Tabela 3** - Média da altura de planta em duas variedades de milho cultivado em solo inoculado e não inoculado com fungo micorrízico arbuscular aos 30, 45 e 60 dias após o plantio.29
- Tabela 4** - Média do número de folhas em duas variedades de milho (*Zea mays*) cultivado em solo inoculado e não inoculado com fungo micorrízico arbuscular aos 15,30,45 e 60 dias após o plantio.31
- Tabela 5** - Média da colonização radicular, massa seca da parte aérea e teor de fósforo em folhas de milho (*Zea mays L.*) aos 60 dias após o plantio, cultivado em solo inoculado e não inoculado com fungos micorrízicos arbusculares..... 32





SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1 Produtividade do milho.....	14
2.2 Agricultura sustentável	15
2.3 Definição e aspectos fisiológicos dos FMAs	16
2.4 Benefícios dos FMAs na produtividade agrícola.....	18
3 OBJETIVOS	20
3.1 Objetivo Geral.....	20
3.2 Objetivos Específicos	20
4 METODOLOGIA.....	20
4.1 Área de estudo	20
4.2 Seleção das linhagens de milho	21
4.3 Extração e identificação dos esporos	21
4.4 Bioensaio	23
4.5 Avaliação das plantas em casa de vegetação	24
4.6 Coloração e contagem de raízes colonizadas.....	25
4.7 Análise de Fósforo Total no tecido vegetal	26
4.8 Análises estatísticas	27
5 RESULTADOS	27
6 DISCUSSÕES	33
7 CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIAS	36



1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é o componente essencial para segurança alimentar global, pois é utilizado como alimento básico por milhões de pessoas (Begum *et al.*, 2019). No Brasil, a área cultivada com milho na safra 2023/2024 foi estimada em 20,9 milhões de hectares. Somando as três safras do cereal em toda a temporada, a produção total do milho foi projetada em 115,9 milhões de toneladas (Conab, 2024).

Um aumento na demanda de alimento, corroboram para um aumento na exportação, e Segundo Conab (2024), a estimativa para a safra de grãos na temporada 2024/2025, aponta para uma produção de 322,47 milhões de toneladas. O volume representa um crescimento de 8,3% ao obtido em 2023/24), no que se refere ao estado do Maranhão estima-se 2.706,5 milhões de toneladas para safra 2024/2025. Nesta perspectiva, o Maranhão possui território ocupado por 65% de Cerrado (IBGE, 2013), esse bioma é considerado como um *host-spots* em biodiversidade (Brasil, 2022).

Nesse contexto, alternativas sustentáveis que aumentem a produtividade agrícola, mas que não agridam o meio ambiente se fazem necessárias. Levando-os a utilização de mecanismo que sejam de baixo custo e que melhorem o nível da produtividade, destacando assim, o uso dos fungos micorrízicos. Dentre os quais, os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), filo Glomeromycota (Tedersoo *et al.*, 2018), os quais associam-se com cerca de 71 das espécies vegetais conhecidas (Brundrett; Tedersoo, 2018).

Na simbiose micorrízica a planta transfere carbono produzido através da fotossíntese para os FMA que através de sua rede de hifas absorvem e transferem para a planta água, Fósforo (P), Cálcio (Ca), Zinco (Zn), Manganês (Mn) dentre outros elementos pouco móveis no solo e necessários para o crescimento e desenvolvimento dos vegetais (Bagyaraj *et al.*, 2015; Salgado *et al.*, 2016; Júnior *et al.*, 2018).

A simbiose micorrízica é fundamental para aumentar a absorção de nutrientes pelas plantas, beneficiando culturas como o milho ao promover maior vigor e produtividade. Identificar as espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) associadas a essas culturas é essencial para o desenvolvimento de inoculantes específicos. Contudo, a produção de inóculos enfrenta limitações, já que os FMAs dependem de plantas hospedeiras para multiplicação, o que torna o processo caro e inviável em larga escala. A implementação de tecnologias acessíveis para a propagação desses fungos é crucial para ampliar sua aplicação em sistemas agrícolas, especialmente em solos de baixa fertilidade, promovendo a sustentabilidade e reduzindo a dependência de fertilizantes químicos (Hunke *et al.*, 2015; Moura *et al.*, 2017).



O potencial de uso dos FMA em cultivos agrícolas é relatado em diversos estudos. Costa *et al.* (2020) observaram que a inoculação com as espécies *Rhizoglyphus clarum*, *Claroideoglyphus etunicatum* e *Acaulospora morrowiae* resultou em altas taxas de colonização micorrízica em milho crioulo, influenciando positivamente a emissão de inflorescências. Em outro estudo, Salgado (2014) avaliou o impacto de diferentes espécies de FMA no desenvolvimento do milho e constatou que *Claroideoglyphus etunicatum* incrementou a absorção de cálcio, zinco e fósforo, aumentando a matéria seca da parte aérea e das raízes.

Já existe no Brasil, o inoculante comercial a base de fungos micorrízicos da espécie *Rhizophagus intraradices* criado pela empresa NovaTero, o primeiro e único inoculante micorrízico com registo comercial definitivo no Brasil, o Rootella BR®. De acordo com Groundwork (2019) o desempenho do Rootella BR® foi excepcionalmente bom, aumentando as colheitas em mais de 11% para cada e qualquer tratamento, tanto para soja, quanto para o milho sob todos os regimes de fertilização e em todos os locais.

Assim, considerando o aumento da população e o conseqüente aumento na demanda por alimentos serão necessárias alternativas para aumentar a produção de grãos, o uso de fungos micorrízicos arbusculares pode ser uma estratégia importante para o aumento da produtividade do milho. Essa prática de inoculação do milho com fungos micorrízicos, ainda é recente, necessitando ser estudada, avaliada e difundida, sobretudo a agricultores com baixa incorporação tecnológica.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Produtividade do milho

O milho (*Zea mays*) é uma espécie anual pertencente à família Poaceae. É amplamente reconhecido como uma das principais culturas agrícolas globais nas últimas décadas, com aplicações diversas, incluindo a produção de combustíveis, bebidas, alimentos para consumo humano e ração animal (Contini *et al.*, 2019). Na safra 2023/2024, a produção total de milho no Brasil foi estimada em 115,86 milhões de toneladas, abrangendo as três safras do cereal. A área plantada totalizou 20,86 milhões de hectares, resultando em uma produtividade média de aproximadamente 5.553 kg/ha (Conab, 2024).

O Brasil é reconhecido como o terceiro maior produtor mundial de milho, ficando atrás somente dos Estados Unidos e da China (Coelho, 2019). Nas pequenas propriedades rurais, o milho é essencial para a agricultura familiar, estando presente na maioria das plantações. Sua ampla aplicabilidade inclui o uso na alimentação humana e animal, a produção de energia por



meio da queima de subprodutos, a confecção de artesanatos e utensílios, além da utilização da palha como material para camas de estábulos (Eicholz, 2017).

O milho é cultivado extensivamente em diferentes regiões do Brasil, com destaque para o Cerrado, que representa a principal área de produção do grão (Torres *et al.*, 2019). A utilização da micorriza como tecnologia de baixo custo é uma alternativa viável para superar as limitações dos solos dessa região. Caracterizados por baixos níveis de nutrientes, especialmente fósforo, e um regime hídrico restrito, os solos do Cerrado exigem uma dependência contínua dos fungos micorrízicos por parte das plantas. Essa associação entre fungos e vegetais desempenha um papel fundamental na resiliência a condições adversas, contribuindo para o enfrentamento de situações de estresse ambiental (Hunke *et al.*, 2015; Moura *et al.*, 2017).

Durante o ciclo do milho, existem fases em que a absorção de nutrientes ocorre de forma mais intensa. A primeira acontece durante o desenvolvimento vegetativo, período crucial para a definição do número potencial de grãos. Já a segunda fase de maior demanda nutricional ocorre na etapa reprodutiva, quando a planta inicia a formação da espiga. Nesse estágio, os nutrientes são fundamentais para o desenvolvimento e o enchimento dos grãos (Resende *et al.*, 2012; Magela, 2017).

O milho estimula a simbiose com os FMAs, por apresentar eficiência fotossintética, cujos fotoassimilados favorecem o desenvolvimento destes microrganismos e o crescimento das plantas (Carrenho *et al.*, 2010). O aumento no teor de nutrientes das plantas através da simbiose micorrízicas é importante, possibilitando o desenvolvimento de tecnologia limpa capaz de promover uma agricultura sustentável. Isso acarreta a diminuição do uso de fertilizantes químicos nos solos agrícolas, visto que os FMA são ágeis na obtenção e transporte desses elementos para as plantas, e favorece o metabolismo vegetal (Pawar *et al.*, 2018).

2.2 Agricultura sustentável

Os sistemas agrícolas convencionais, que dependem intensamente de insumos externos como agrotóxicos e fertilizantes químicos, têm revelado uma crescente insustentabilidade. Essa abordagem apresenta desafios como o controle ineficaz de novas doenças, o desenvolvimento de resistência em pragas, e a contaminação de recursos naturais, incluindo o solo e a água. Além disso, há um risco significativo de poluição nos alimentos, especialmente nas hortaliças consumidas frequentemente *in natura*, afetando tanto os consumidores quanto os próprios agricultores (Paulino, 2018).

A agricultura sustentável pode ser definida como uma prática que busca combinar alta produtividade com a preservação dos recursos naturais, como solo, água e ar, ao longo dos



ciclos produtivos. Esse conceito envolve minimizar os impactos negativos no meio ambiente, evitando a liberação de substâncias tóxicas ou prejudiciais na atmosfera, nas águas superficiais e no lençol freático. Além disso, tem como objetivo conservar e recuperar a fertilidade do solo, prevenir a erosão e manter o equilíbrio ecológico do ambiente (Celestrino *et al.*, 2017; Guevara, 2019).

A agricultura sustentável tem ganhado destaque no Brasil e no mundo, acompanhada pela necessidade de produzir insumos que sejam ambientalmente viáveis a longo prazo, uma demanda essencial (Vidal *et al.*, 2021). Nesse contexto, o uso de fungos, bactérias ou consórcios microbianos associados a biofertilizantes surge como uma alternativa promissora para a prática de uma agricultura mais sustentável. Entre os aspectos que vêm sendo amplamente estudados, destaca-se a inoculação das raízes das plantas com fungos micorrízicos, que apresenta grande potencial para melhorar a eficiência e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Rodrigues e Limeira, 2023).

Estudos voltados para o uso de organismos simbióticos, como os fungos micorrízicos arbusculares, têm como propósito prático aumentar a produtividade agrícola, reduzir a dependência de fertilizantes químicos e promover uma agricultura mais sustentável e menos dependente de insumos externos (Durazzini; Teixeira; Adami, 2016). Nesse contexto, a micorrização assume um papel crucial no cenário agrícola brasileiro, ao melhorar a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Isso ocorre graças à ampliação da área de absorção das raízes, proporcionada pelo crescimento das hifas fúngicas (Chagas Junior *et al.*, 2015), além de facilitar a absorção de nutrientes de baixa mobilidade no solo (Pawar *et al.*, 2018).

2.3 Definição e aspectos fisiológicos dos FMAs

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), pertencentes ao subfilo Glomeromycotina dentro do filo Mucoromycota (Spatafora *et al.*, 2016), são fungos encontrados no solo que colonizam as raízes formando uma simbiose mutualista, denominada micorriza (Smith; Read, 2008). Atualmente são reconhecidos sete tipos de associações micorrízicas: arbuscular, ectomicorriza, ectendomicorriza, arbutoide, monotropoide, ericoide e orquidoide. Dentre os tipos de micorrizas, a arbuscular (MA), formada por fungos micorrízicos arbusculares (FMA), é a mais distribuída no planeta, estabelecendo associação com mais de 90% dos representantes de briófitas, pteridófitas, gimnospermas e angiospermas (Mehrotra, 2005; Júnior; Silva 2006).

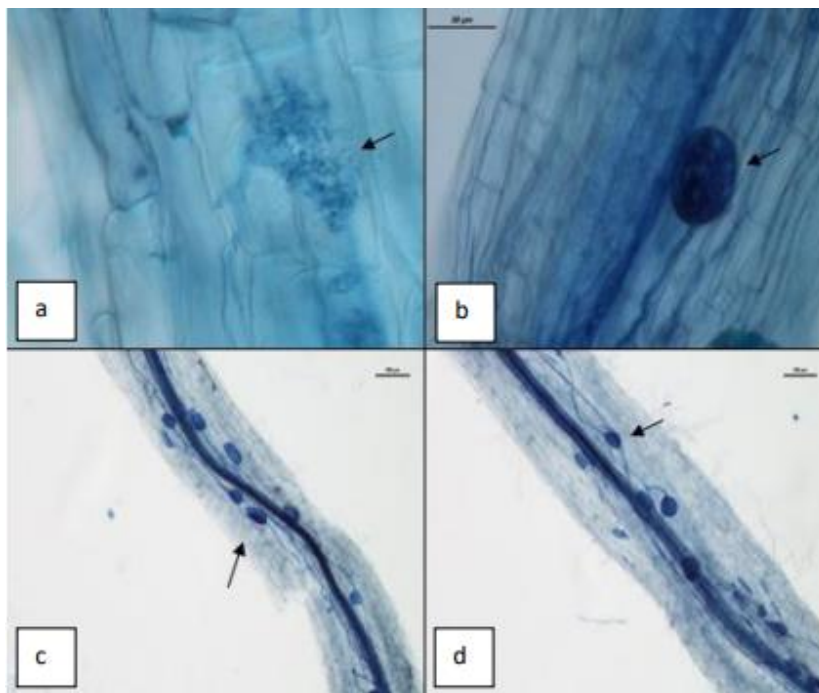
As diferenças na morfologia e traços de desenvolvimento dos FMAs têm sido usadas para classificá-los em três classes (Archaeosporomycetes, Glomeromycetes e



Paraglomeromycetes), cinco ordens (Archaeosporales, Diversisporales, Gigasporales, Glomerales e Paraglomerales), 16 famílias, 40 gêneros e 297 espécies (Goto; Jobim, 2017; Blaszkowski *et al.*, 2017; Pontes *et al.*, 2017).

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 (Figura 1). O micélio externo coloniza o solo e micélio interno se localiza dentro do córtex das raízes micorrizadas (Lambais e Ramos, 2010). O micélio externo funciona como uma prolongação do sistema radicular da planta, e com sua extensa longitude e escasso diâmetro, permite a planta, explorar maior volume de solo (Moreira e Siqueira, 2006) (Figura 1).

Figura 1 - Estruturas especializadas de fungos micorrízicos arbusculares. Arbúsculo (a); esporo (b) e raiz colonizada com vesículas (c e d).



Fonte: Araeska Carena, 2019.

Os esporos são estruturas de resistência que podem sobreviver no solo muitos anos e são encontrados com diferentes tamanhos. E os arbúsculos são ramificações de hifas intercelulares e que transcendem as paredes das células corticais o que não prejudica a integridade destas células (Moreira e Siqueira, 2006). Na zona de contato hospedeiro-arbúsculo forma-se uma região apoplástica característica, de onde ocorre a maior transferência de



nutrientes entre ambos simbioses. Demonstrando assim, a relação simbiótica entre a planta e o fungo (Siqueira *et al.*, 2010).

Esses fungos possuem comprovada capacidade de estimular o crescimento das plantas, uma vez que favorecem a absorção de nutrientes do solo. Além disso, propiciam a estabilização dos agregados na rizosfera, bem como a mitigação de efeitos provocados por estresses bióticos e abióticos, a exemplo do aumento da resistência ao ataque de patógenos e da redução do estresse hídrico (Matos *et al.*, 2018).

2.4 Benefícios dos FMAs na produtividade agrícola

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) estão entre os microorganismos mais benéficos do solo, desempenhando um papel fundamental na nutrição das plantas em diversos ecossistemas terrestres. Sua principal função está relacionada à biofertilização, enquanto os efeitos secundários, que decorrem da melhoria no estado nutricional das plantas, incluem ações de bioregulação e biocontrole (Siqueira *et al.*, 2010; Bücking e Kafle, 2015; Roupheal *et al.*, 2015).

Na biofertilização, Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) desempenham um papel crucial, contribuindo significativamente para o crescimento das plantas, especialmente na absorção de nutrientes com baixa mobilidade no solo. Esses nutrientes, como o fósforo (P), essencial para o metabolismo energético, e os micronutrientes zinco (Zn) e cobre (Cu), fundamentais para diversas funções enzimáticas, movem-se predominantemente por difusão, um processo lento e limitado. A associação com FMAs potencializa a disponibilidade e a absorção desses elementos pelas plantas, reforçando sua ação biofertilizadora (Valadares *et al.*, 2016).

As ações bioreguladoras, estão relacionadas a sua capacidade de garantir às espécies hospedeiras sucesso adaptativo em solos com baixa fertilidade, pois o fungo melhora a tolerância à acidez, à toxidez por metais pesados e contribui para a resistência às doenças presentes no ambiente (Faria *et al.*, 2017). Tais microrganismos promovem a agregação do solo, através da produção da glomalina, uma proteína que desempenha papel fundamental na estabilidade do solo e bioestabilização de solos contaminados. Essas espécies de FMAs também podem proteger as plantas dos danos oxidativos em condições de seca, induzindo a produção de antioxidantes não enzimáticos e aumentando as atividades das enzimas antioxidantes (Nacocon *et al.*, 2021).

Além disso, as ações biorreguladora também estão relacionadas a água – planta, substâncias de crescimento, alterações bioquímicas e fisiológicas. Os fungos micorrízicos,



especialmente os arbusculares, desempenham um papel fundamental na produção e liberação de compostos orgânicos conhecidos como estrigolactonas durante a simbiose com as raízes das plantas. Esses compostos são essenciais no sistema solo-planta, pois promovem o crescimento vegetal, estimulam o desenvolvimento de microrganismos benéficos e fortalecem as interações na rizosfera (Silva; Montoya, 2022; Cauich-Cauich *et al.*, 2023; Vuelta-Lorenzo *et al.*, 2023).

Por apresentarem maior velocidade de crescimento do que as raízes e por serem muito mais finas, as hifas fúngicas conseguem buscar água e nutrientes em distâncias muito maiores do que os limites do sistema radicular, acessando microporos e espaços entre agregados inacessíveis até mesmo para as raízes mais finas. A colonização micorrízica nas raízes proporciona às plantas maior equilíbrio fisiológico e desenvolvimento vegetal no campo. Parâmetros agronômicos diretamente ligados à produtividade como índice de área foliar, eficiência fotossintética, nodulação (fixação biológica de nitrogênio) e enraizamento são significativamente superiores em plantas cuja taxa de colonização micorrízica esteja mais elevada (Steffen, 2024).

Quanto ao biocontrole, os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) exercem um efeito protetor contra patógenos de plantas, o qual pode estar associado à ativação de resistência, seja de maneira localizada ou sistêmica. Durante a colonização pelas micorrizas, as plantas apresentam alterações nos níveis bioquímico, fisiológico e molecular que estão diretamente relacionados ao sistema de defesa, permitindo que a simbiose seja estabelecida (Folli-Pereira, 2012). Essas respostas hormonais podem regular a tolerância do hospedeiro à colonização pelos FMAs, ao mesmo tempo em que promovem respostas de defesa mais robustas em outros tecidos e órgãos contra ataques de patógenos, processo conhecido como “efeito priming” (Selosse *et al.*, 2014; Barazetti, 2020).

Os mecanismos e estratégias que contribuem para a supressão de patógenos por meio das micorrizas podem ser categorizados em quatro principais grupos: a competição direta entre FMAs e os organismos patogênicos; o controle das populações microbianas presentes no solo ao redor das raízes; mudanças na nutrição, morfologia e crescimento das plantas; e alterações bioquímicas e moleculares que ocorrem nos vegetais hospedeiros (Costa & Lovato, 2011; Radi, 2021).



3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Realizar a avaliação da simbiose de fungos micorrízicos arbusculares do solo do Cerrado maranhense sob pastagem, em associação com o milho, e sua eficiência na absorção de P.

3.2 Objetivos Específicos

- Oferecer uma alternativa sustentável para o aumento de produção do milho;
- Extrair e identificar os esporos de fungos micorrízicos arbusculares nas amostras de solos coletadas do cerrado maranhense;
- Avaliar o impacto da inoculação de diferentes espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) sobre a produtividade do milho;
- Selecionar espécies de FMAs que possuem potencial de colonizar as raízes das linhagens de milho;
- Avaliar a taxa de colonização e eficiência micorrízica de espécies de FMAs;
- Avaliar as taxas de absorção de fósforo (P) pelas culturas de milho em simbiose com os fungos micorrízicos arbusculares;
- Avaliar o índice de clorofila das plantas em associação com os FMAs.

4 METODOLOGIA

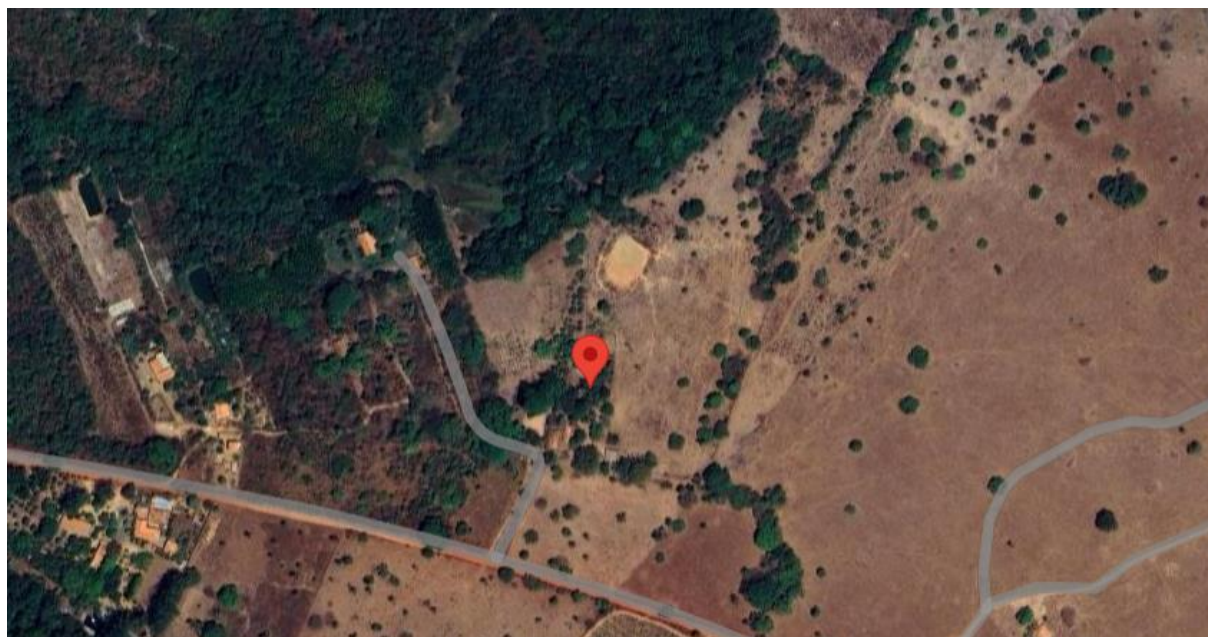
4.1 Área de estudo

Os ensaios foram realizados em casa de vegetação na Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, no município de Imperatriz – MA.

As amostras de solo para o bioensaio e obtenção de FMAs nativos foram coletadas de forma aleatória em uma área de pastagem do Cerrado maranhense, localizada no município de Governador Edson Lobão (5°74' S e 47°36' W). A escolha do local foi motivada pela elevada diversidade de espécies característica do Cerrado e pela escassez de estudos sobre as comunidades de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) nesse bioma (Nascimento, 2021).



Figura 2- Mapa da área onde foram realizadas as coletas de solo no município de Governador Edson Lobão.



Fonte: Google Maps, 2025

4.2 Seleção das linhagens de milho

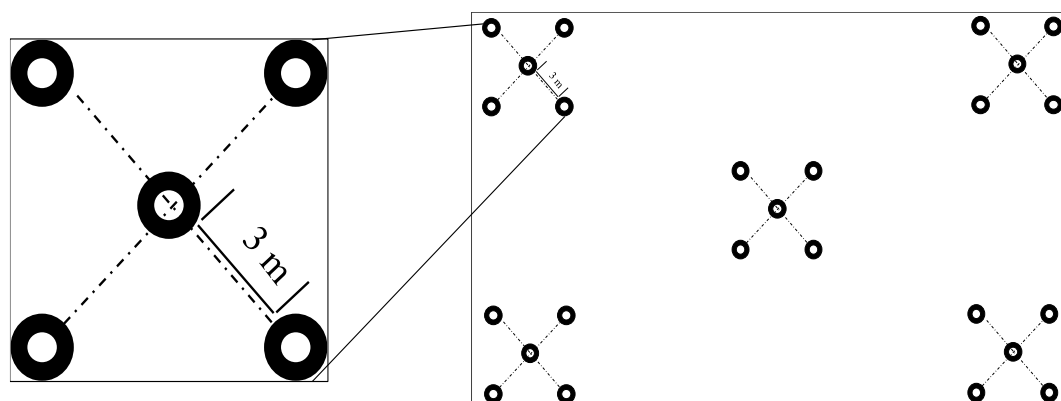
Foram selecionadas duas linhagens de milho, determinadas após levantamento junto aos produtores locais, uma linhagem eficiente, híbrida e outra ineficiente no uso de P, linhagem caboclo. Foi dada preferência às linhagens já utilizadas por produtores da região.

4.3 Extração e identificação dos esporos

As amostras de solo para a avaliação comunidade nativa de FMA foram coletadas na profundidade de 0 a 20 cm, com auxílio de um trado. De cada área pegou-se cinco amostras compostas formadas por cinco sub-amostras, retiradas em pontos aleatórios da área (Figura 1). Cada amostra de solo composta foi homogeneizada, seca à sombra, peneirada e individualmente acondicionada em saco plástico e mantida refrigerada a 4° C até o momento da extração de esporos. Uma porção de cada amostra seca foi empregada nas análises químicas do solo.



Figura 3 - Esquema de coleta do solo de 5 amostras compostas, formadas por cinco subamostras simples com 3m de distância, para as áreas de mata e pasto



Fonte: Leonel (2019).

Os esporos de FMA foram extraídos do solo segundo metodologia de peneiramento úmido (Gedermann & Nicolson, 1963) e centrifugação com sacarose (Jenkins, 1964), para executá-la, duas peneiras, de 710 μm e 53 μm , foram acopladas em ordem decrescente. A amostra de solo foi homogeneizada com aproximadamente 700 mL de água comum, numa centrífuga durante três minutos, a uma rotação de três mil rotações por minuto para decantar o material mais pesado do solo de modo que os esporos leves entrem em suspensão com a matéria orgânica do solo. Em seguida, a suspensão foi despejada vagarosamente sobre as peneiras, restando-se o material pesado no fundo do Becker. Adicionou-se novamente 700 mL de água sobre o material retido no béquer e o processo é repetido por mais quatro vezes, descartando-se finalmente o resíduo.

O material retido nas peneiras foi lavado com um jato natural controlado, com as peneiras sempre sobrepostas. Na peneira de 710 μm , as raízes foram recuperadas com auxílio de uma pinça, e posteriormente congeladas *in natura* para análise posterior da colonização radicular, e armazenada em álcool 50% até o momento da etapa de coloração. O restante do material na peneira de 710 μm é eliminado. E o material retido na peneira de 53 μm foi recolhido com água destilada e transferido e armazenado em álcool 50% até o momento da etapa de coloração para a observação e contagem de esporos em placa Petri com auxílio de estereomicroscópio.

Os esporos extraídos e contados foram montados em lâminas sob resina polivinil álcool glicerol (PVLG) e PVLG+Reagente de Melzer (1:1) e tiveram suas características morfológicas avaliadas. Foi verificada a forma, tipo e número de paredes, presença ou ausência de cicatrizes e hifas de sustentação, presença e forma do bulbo suspensor, número de hifas no



glomerosporo, estruturas de germinação (placas germinativas e orbs) e reação ao Melzer. Os dados obtidos foram comparados com a descrição das espécies no manual de Schenck e Pérez (1988) e no site da *International Culture Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (Invam 2001).

4.4 Bioensaio

O bioensaio foi realizado em vasos com capacidade de 3 L, em um delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial com 2 linhagens, 6 tratamentos e 4 repetições, para cada cultura (Quadro 1).

Quadro 1 - Descrição dos tratamentos para a cultura do milho.

Tratamento	Descrição
V1T1	Testemunha Solo + milho híbrido
V1T2	Solo não inoculado + Adubação fosfatada
V1T3	Solo inoculado com <i>G. glomerulatum</i>
V1T4	Solo inoculado com <i>R. intraradices</i>
V1T5	Solo inoculado com FMA nativos (<i>Gigaspora</i> sp, <i>Glomus</i> sp e <i>Paraglomus</i> sp)
V1T6	Solo inoculado com Rootella BR®
V2T1	Testemunha solo + milho caboclo
V2T2	Solo não inoculado + Adubação fosfatada
V2T3	Solo inoculado com <i>G. glomerulatum</i>
V2T4	Solo inoculado com <i>R. intraradices</i>
V2T5	Solo inoculado com FMA nativos
V2T6	Solo inoculado com Rootella BR®

V1= milho híbrido; V2= milho caboclo

Fonte: Autor, 2022

Para a formação do substrato o solo foi seco, peneirado e misturado com areia lavada em uma proporção de 1:1 (v:v) e autoclavado a uma temperatura de 121°C e pressão de 1,5 atm, por uma hora, duas vezes, com intervalo de um dia. Para os tratamentos T3, T4, T5 foram adicionados aos substratos 50 g de solo contendo o inóculo de FMA, onde avaliou-se o potencial de inóculo do FMA presente na amostra.



No tratamento T2, a correção com adubação fosfatada foi realizada a partir da análise química do solo (Tabela 1). Para o tratamento T6, com o produto comercial Rootela, utilizou-se a recomendação de 120 g do produto para 12 kg de sementes de milho.

Tabela 1- Análise química e física do solo utilizado para plantio do milho em casa de vegetação

pH	MO	P		K	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	CTC
CaCl ₂	g/Kg	mg/dm ³		cmol/ dm ³						
4,7	12,2	12,4		0,09	2,71	0,64	0,00	2,48	3,44	5,92
V	M	Ca	Mg	K			Areia	Silte	Argila	
%										
58,1	0,0	45,8	10,8	1,5			74	11	15	

Fonte: Laboratório Terra Brasileira, 2022

A semeadura foi realizada com 5 sementes por vaso e após 15 dias fez-se o desbaste deixando apenas uma planta por vaso. Antes da semeadura as sementes foram higienizadas com hipoclorito de sódio (1%) por 3 minutos e lavadas abundantemente em água destilada.

O ensaio foi conduzido até a época de floração das culturas, em seguida as plantas foram coletadas e a parte aérea foi separada da parte radicular. As amostras (raiz e parte aérea) foram armazenadas em sacos de papel e secas em estufa de ar forçado a 60°C, até peso constante, para determinação da massa seca e o P acumulado na parte aérea (Tedesco *et al.*, 1995). Antes de ser levada a estufa, uma subamostra da raiz foi retirada, higienizada com água destilada e armazenada em álcool 50% para posterior verificação da colonização micorrízica. O peso da matéria seca foi utilizado para calcular a eficiência das comunidades de FMA para promover o desenvolvimento das plantas de acordo com metodologia descrita por Hungria e Araújo (1994).

4.5 Avaliação das plantas em casa de vegetação

Para avaliar a eficiência dos FMAs na promoção do crescimento das plantas, a cada 15 dias eram realizadas medições da altura da planta, número de folhas e quantificação do índice de clorofila em cinco folhas de milho por tratamento, nos horários das 7:30 h às 9:30 h, através do aparelho SPAD (*Soil Plant Analysis Development*)-502 Plus. Nas folhas mais verdes, as leituras foram realizadas em quatro pontos de cada folha, adotando-se a média das leituras (Figura 4).



Aos 60 dias após o plantio, as plantas foram coletadas e os seguintes parâmetros foram avaliados: massa seca da parte aérea, teor de fósforo na planta e colonização radicular.

Figura 4 - Avaliação dos parâmetros altura da planta e índice de clorofila durante a condução do bioensaio



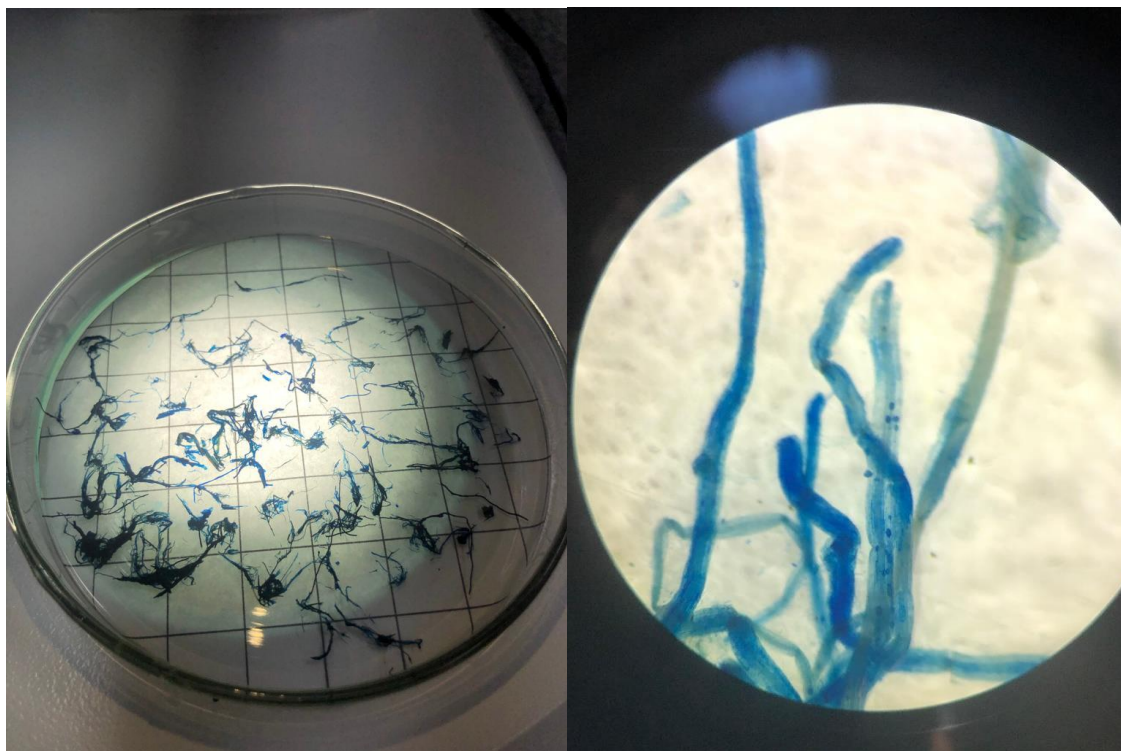
Fonte: Autor, 2022.

4.6 Coloração e contagem de raízes colonizadas

A colonização radicular foi determinada de acordo com metodologia descrita por Phillips e Hayman (1970). Após coleta das raízes estas foram higienizadas para retirada de resíduos sólidos e em seguida, clareadas com KOH 5%, e coloridas com azul de triptan 0,05% e a colonização micorrízica foi determinada pelo método de interseção em placas quadriculadas, de acordo com metodologia descrita por Giovanetti e Mosse (1980) (Figura 5).

Figura 5 - Raízes coradas na placa de petri para determinação de colonização micorrízica pelo método de interseção em placas quadriculadas





Fonte: Autor, 2022.

4.7 Análise de Fósforo Total no tecido vegetal

O material vegetal foi submetido a secagem em estufa de circulação de ar forçado a 60°C até peso constante, após a secagem realizou-se a moagem do material em moinho tipo “Willey”. Em seguida o material foi peneirado em peneira de 30 *mesh* (nº de malha/ cm²), e armazenado em frasco de plástico para posterior análise.

O fósforo (P) foi extraído conforme o método descrito por Tedesco *et al.* (1995) em que se utiliza 1g da amostra na proporção de 1:10 e 10 ml da solução extratora Mehlich-1. As amostras foram agitadas por 5 min em agitador horizontal com 120 oscilações por minuto e decantadas por 16 h. A determinação do fósforo deu-se através de kits comerciais (Labtest(r) Diagnóstica SA, Belo Horizonte, Brasil) Uma alíquota de 2,5 mL da solução estoque, é utilizada para determinação de fosforo total por espectrofotometria a partir de um ensaio colorimétrico 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 é de 650 nm (Macedo 2001) (Figura 6).

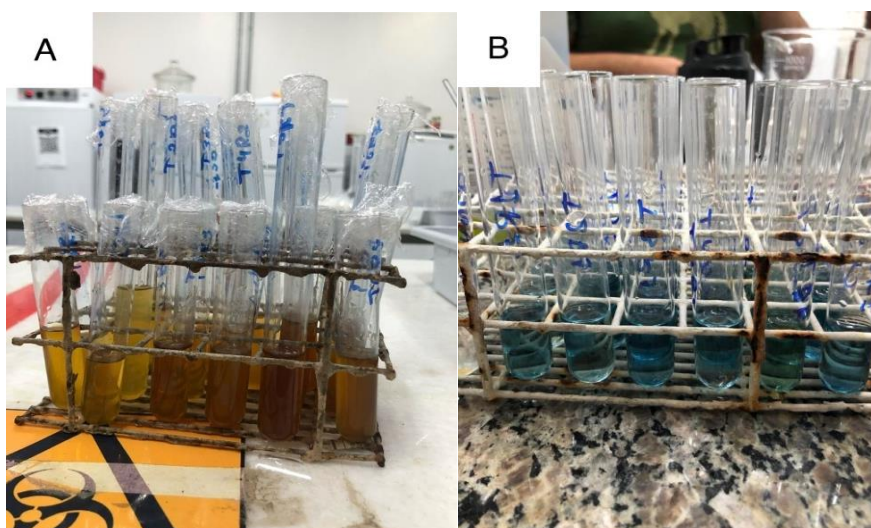
A concentração de fósforo foi determinada através de uma curva analítica preparada com uma solução de fosfato de potássio (KH₂PO₄), utilizando espectrofotometria. A solução padrão utilizada para a calibração do instrumento, sendo preparadas com base em alíquotas de



uma solução estoque de 1000 mg. Para a obtenção da massa de P absorvida pela planta foi utilizada a seguinte fórmula:

$$\text{Massa de P (mg)} = \frac{\text{Absorbância} - 0,1652}{0,00361} \times 0,4$$

Figura 6 - A - Extrato obtido após filtração do material vegetal com solução extratora Mehlich-1. B - Reação de molibdênio com a amostra resultando em uma coloração azul



Fonte: Autor, 2022

4.8 Análises estatísticas

Os dados foram analisados estatisticamente com auxílio do programa SISVAR e submetidos à análise de variância, com comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5 RESULTADOS

Os FMAs nativos coletados em área de pastagem no Cerrado maranhense, foram identificados morfológicamente como sendo pertencentes aos gêneros *Glomus sp*, *Paraglomus sp* e *Gigaspora Sp*.

Não foi observada interação significativa entre os fatores variedade e tratamento para o índice de clorofila em nenhum dos tempos analisados (P= 0,2779; P= 0,1881; P= 0,1727; P= 1,0000, respectivamente). Isso indica que o efeito do tratamento do solo sobre o índice de clorofila foi independente da variedade de milho.

Diante da ausência de interação significativa entre os fatores, os tratamentos foram



avaliados separadamente em cada variedade. No milho híbrido (Variedade 1), a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) aumentou significativamente o índice de clorofila. Aos 30 dias, o solo inoculado com *Rizophagus intraradices* apresentou melhor desempenho ($P=0,00397$) e, aos 45 dias, o solo inoculado com *Glomus glomerulatum* superando o tratamento com adubação fosfatada ($P=0,0203$). Já no milho caboclo (Variedade 2), não houve diferença significativa entre os tratamentos em nenhum dos tempos analisados ($P>0,05$), indicando que a inoculação não influenciou essa variedade (Tabela 2).

Tabela 2 - Média do índice de clorofila em duas variedades de milho (*Zea mays*) cultivado em solo inoculado e não inoculado com fungo micorrízico arbuscular no período de 15 a 60 dias após o plantio.

Tratamento	15 dias	30 dias	45 dias	60 dias
V1 T1	32,73 a	34,2 ab	26,55 ab	16,45 a
V1 T2	35,27 a	30,55 b	23,13 b	19,10 a
V1 T3	32,95 a	32,90 ab	29,87 a	21,42 a
V1 T4	38,30 a	39,30 a	24,23ab	27,15 a
V1 T5	35,90 a	36,55 ab	29,33 ab	25,65 a
V1 T6	35,70 a	32,90 ab	25,50 ab	16,95 a
CV (%)	8,57	10,45	10,88	25,72
P	0,1442	0,00397	0,0203	0,0534
V2 T1	36,20 a	34,60 a	23,60 a	23,07 a
V2 T2	35,60 a	33,07 a	24,30a	23,57 a
V2 T3	33,33 a	34,47 a	25,85a	17,60 a
V2 T4	35,07 a	31,45 a	23,87 a	19,10 a
V2 T5	36,80 a	31,87 a	22,33 a	20,50 a
V2 T6	38,03 a	31,27 a	28,10 a	18,35 a
CV (%)	10,59	16,80	19,28	25,58
P	0,6237	0,9103	0,6123	0,4945

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$). V1 = milho (*Zea mays*) var. Híbrido; V2 = milho (*Zea mays*) var. Caboclo; T1 = Tratamento testemunha; T2 = Tratamento com adubação fosfatada; T3 = Tratamento com inóculo de *Glomus glomerulatum*; T4 = Tratamento com inóculo de *Rhizophagus intraradices*; T5 = Tratamento com inóculo de Fungos Micorrízicos Arbusculares nativos; T6 = Tratamento com o inóculo comercial Rootella BR®; CV = Coeficiente de variação; P = Significância.

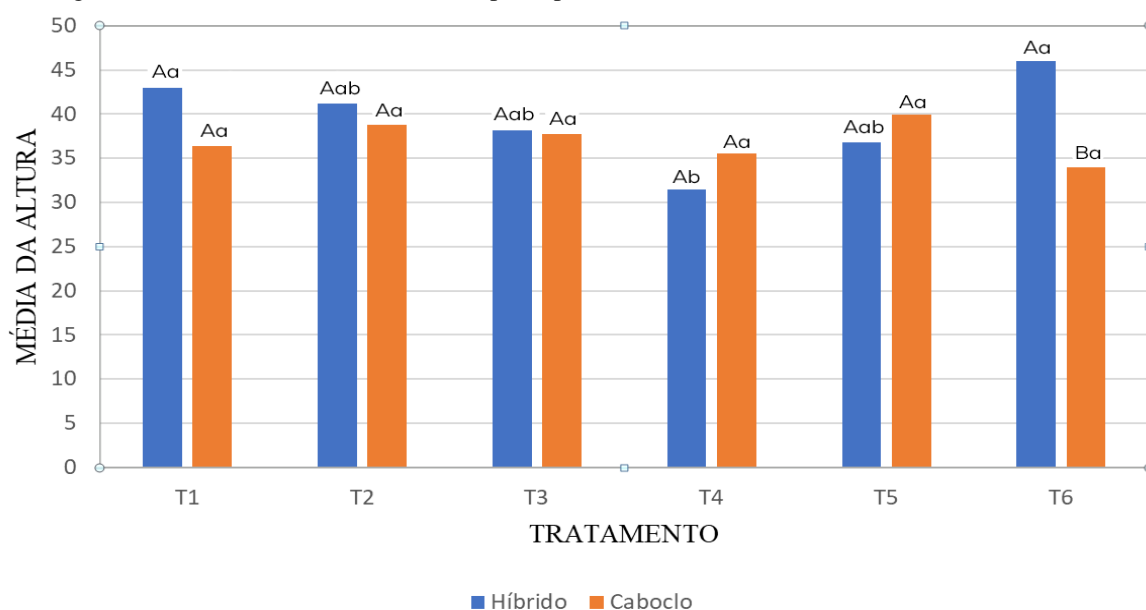
Fonte: Autor, 2022

Em relação à altura da planta de milho ($P= 0,028$), aos 15 dias após o plantio, houve interação significativa entre os fatores variedade (milho híbrido e milho caboclo) e tratamento (solo inoculado e não inoculado com fungos micorrízicos arbusculares) (Tabela 3).



É possível constatar no desdobramento (Gráfico 1) que para a variedade de milho Híbrido, a maior média de altura foi obtida com o tratamento 6, no qual o solo foi inoculado com o produto comercial Rootella BR®, proporcionando maior altura, superando a adubação fosfatada. Quanto a variedade de milho caboclo, não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Gráfico 1 - Média da altura em duas variedades de milho (*Zea mays*) cultivado em solo inoculado e não inoculado com fungo micorrízico arbuscular aos 15 dias após o plantio.



Médias seguidas de mesma letra maiúscula dentro de cada variedade e mesma letra minúscula entre variedades, dentro de um mesmo tratamento, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). T1 = Tratamento testemunha; T2 = Tratamento com adubação fosfatada; T3 = Tratamento com inóculo de *Glomus glomerulatum*; T4 = Tratamento com inóculo de *Rhizophagus intraradices*; T5 = Tratamento com inóculo de Fungos Micorrízicos Arbusculares nativos; T6 = Tratamento com o inóculo comercial Rootella BR®.

Fonte: Autor, 2022

Ao comparar os tratamentos (solo inoculado e não inoculado com fungos micorrízicos arbusculares - FMAs) dentro de cada variedade, foi identificada uma diferença significativa na altura das plantas para a variedade 1 (milho híbrido) aos 30 dias após o plantio ($P = 0,0028$). Os maiores valores médios de altura foram observados nos tratamentos com inoculação de FMAs nativos e com adubação fosfatada. Por outro lado, para a variedade 2 (milho caboclo), não foram observadas diferenças significativas na altura das plantas aos 30, 45 e 60 dias após o plantio (Tabela 3)

Tabela 3 - Média da altura de planta em duas variedades de milho cultivado em solo inoculado e não inoculado com fungo micorrízico arbuscular aos 30, 45 e 60 dias após o plantio.



Tratamento	30 dias	45 dias	60 dias
V1 T1	72,78 ab	84,63 a	94,58 a
V1 T2	79,05 a	92,47 a	95,35 a
V1 T3	56,67 b	83,33 a	94,73a
V1 T4	72,40 ab	91,03 a	93,85 a
V1 T5	79,87 a	90,47 a	97,20 a
V1 T6	58,80 b	84,20 a	100,80 ^a
CV (%)	11,38	16,02	11,86
P	0,0028	0,8858	0,9565
V2 T1	69,5 a	78,65 a	82,1 a
V2 T2	56,9 a	68,5a	73,77a
V2 T3	62 a	72 a	77,97 a
V2 T4	76,22 a	83,47 a	84,77 a
V2 T5	67,1 a	79,87 a	83,65 a
V2 T6	68,4 a	73,82 a	82,5 a
CV (%)	15,06	15,17	9,64
P	0,1765	0,4843	0,3797

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). V1 = milho (*Zea mays*) var. híbrido; V2 = milho (*Zea mays*) var. caboclo T1 = Tratamento testemunha; T2 = Tratamento com adubação fosfatada; T3 = Tratamento com inóculo de *Glomus glomerulatum*; T4 = Tratamento com inóculo de *Rhizophagus intraradices*; T5 = Tratamento com inóculo de Fungos Micorrizicos Arbusculares nativos; T6 = Tratamento com o inóculo comercial Rootella BR®; CV = Coeficiente de variação; P = Significância.

Fonte: Autor, 2022.

Não houve interação significativa entre os fatores variedade (milho híbrido e milho caboclo) e tratamento (solo inoculado e não inoculado com fungos micorrízicos arbusculares) aos 15, 30, 45 e 60 dias após o plantio, para a variável número de folhas ($P > 0,05$).

Ao se comparar os tratamentos (solo inoculado e não inoculado com FMA) dentro de cada variedade, observa-se que não houve diferença significativa ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey entre os tratamentos, para as variedades 1 (milho híbrido) e variedade 2 (milho caboclo), em relação ao número médio de folhas nas plantas ($P = 0,3825$; $P = 0,8772$; $P = 0,0524$; $P = 0,8168$; $P = 0,5801$; $P = 0,2422$; $P = 0,0524$; $P = 0,8168$) aos 15, 30, 45 e 60 dias após o plantio, respectivamente (Tabela 4).



Tabela 4 - Média do número de folhas em duas variedades de milho (*Zea mays*) cultivado em solo inoculado e não inoculado com fungo micorrízico arbuscular aos 15,30,45 e 60 dias após o plantio.

Tratamento	15 dias	30 dias	45 dias	60 dias
V1 T1	4,75 a	5,25 a	5,00 a	13,00 a
V1 T2	5,00 a	5,25 a	5,00 a	12,75 a
V1 T3	4,50 a	5,50 a	5,00 a	12,00 a
V1 T4	4,25 a	5,75 a	5,00 a	11,75 a
V1 T5	5,25 a	5,00 a	5,25 a	13,00 a
V1 T6	4,75 a	5,50 a	4,50 a	12,00 a
CV (%)	14,04	16,55	17,63	8,38
P	0,3825	0,8772	0,8966	0,3621
V2 T1	5,50 a	6,50 a	4,00a	14,00 a
V2 T2	5,25 a	6,50 a	5,50 a	14,75 a
V2 T3	4,75 a	5,25 a	5,00 a	14,25 a
V2 T4	5,25 a	6,75 a	4,50 a	14,25 a
V2 T5	5,00 a	6,50 a	5,50 a	15,50 a
V2 T6	6,50 a	6,00 a	5,00 a	14,00 a
CV (%)	25,66	14,36	14,38 a	12,12
P	0,5801	0,2422	0,0524	0,8168

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). V1 = milho (*Zea mays*) var. Híbrido; V2 = milho (*Zea mays*) var. Caboclo; T1 = Tratamento testemunha; T2 = Tratamento com adubação fosfatada; T3 = Tratamento com inóculo de *Glomus glomerulatum*; T4 = Tratamento com inóculo de *Rhizophagus intraradices*; T5 = Tratamento com inóculo de Fungos Micorrízicos Arbusculares nativos; T6 = Tratamento com o inóculo comercial Rootella BR®; CV = Coeficiente de variação; P = Significância. Fonte: Autor, 2022.

Não houve interação significativa entre os fatores variedade (milho híbrido e milho caboclo) e tratamento (solo inoculado e não inoculado com fungos micorrízicos arbusculares) aos 60 dias após o plantio, para as variáveis índice de colonização radicular, massa seca da parte aérea e teor de fósforo.

Comparando-se os tratamentos (solo inoculado e não inoculado com FMA) dentro de cada variedade, observa-se que não houve diferença significativa ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey entre os tratamentos, para as variedades milho híbrido e milho caboclo, em relação a massa seca da parte aérea (Tabela 5).



Quanto o teor de fósforo nas plantas, embora tenha apresentado resultado significativo ($P=0,0344$), as médias observadas entre os tratamentos foram muito próximas, não evidenciando uma diferença relevante entre elas (Tabela 5).

Quanto a colonização radicular houve diferença significativa entre os tratamentos, observa-se que para a variedade milho híbrido a maior colonização de raízes ocorreu com a inoculação no solo do produto comercial Rootela BR®, a base de *Rhizophagos intraradices* ($P=0,0003$). O mesmo se observa para a variedade milho caboclo, a maior taxa de colonização é observada no solo inoculado com o produto Rootela BR® ($P=0,0022$) (Tabela 5).

Tabela 5 - Média da colonização radicular, massa seca da parte aérea e teor de fósforo em folhas de milho (*Zea mays L.*) aos 60 dias após o plantio, cultivado em solo inoculado e não inoculado com fungos micorrízicos arbusculares.

Tratamento	COLONIZAÇÃO RADICULAR (%)	MSPA (g)	Teor de P (mg) em folhas
V1 T1	0,001 c	5,36 a	1,33 a
V1 T2	0,001c	5,50 a	1,70 a
V1 T3	12,25ab	4,27 a	1,01 a
V1 T4	5,00 bc	4,57 a	1,64 a
V1 T5	11,75 ab	5,25 a	1,13 a
V1 T6	20,00 a	5,16 a	1,42 a
CV (%)	32,16	26,1	22,86
P	0,0003	0,7178	0,0344
V2 T1	0,001b	4,057 a	1,33 a
V2 T2	0,001 b	5,150 a	1,71 a
V2 T3	3,658 ab	4,517 a	1,01 a
V2 T4	4,4098 a	4,160 a	1,64 a
V2 T5	4,5824 a	4,295 a	1,13 a
V2 T6	5,0060 a	4,853 a	1,42 a
CV (%)	45,74	26,12	22,86
P	0,0022	0,7578	0,0344

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste Tukey ($p<0,05$). MSPA = Massa seca da parte aérea, F = Fósforo, V1 = Variedade 1, V2 = Variedade 2, T1 = Testemunha, T2 = Adubação fosfatada, T3 = *Glomus glomerulatum*, T4 = *Rhizophagos intraradices*, T5 = FMA Nativos, T6 = Rootela BR®, CV = Coeficiente de variação, P = Significância.

Fonte: Autor, 2022.



6 DISCUSSÕES

Os efeitos dos tratamentos (solo inoculado e não inoculado com FMA) dentro de cada variedade promoveram incremento no índice de clorofila. Para a variedade milho híbrido, aos 30 dias o tratamento solo inoculado com *Rizophagus intraradices* e aos 45 dias o tratamento solo inoculado com *Glomus glomerulatum*, proporcionaram maiores índice de clorofila, acima do tratamento com aplicação de adubação fosfatada. Já, para a variedade milho caboclo, não houve diferença significativa entre os tratamentos solo inoculada e não inoculado com FMA para o índice de clorofila.

Os resultados deste trabalho estão em concordância com os dados apresentados por Gomes Júnior *et al.* (2018), que relataram maior eficiência no teor de clorofila em genótipos de milho inoculados com *Rhizoglosum amazonenses*, em comparação aos tratamentos sem inoculação. De forma semelhante, Ribeiro (2021) observou um aumento significativo no teor de clorofila em plantas de milho inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). O autor atribuiu os resultados à maior absorção de nutrientes proporcionada pelo aumento da área superficial das raízes, promovido pelas hifas fúngicas. Esses achados reforçam o papel dos FMAs na melhoria da nutrição e no desempenho fisiológico das plantas.

Quanto à altura das plantas, houve interação significativa entre os fatores variedade e tratamento aos 15 dias para a variedade de milho Híbrido, a maior média de altura foi obtida com o tratamento, solo inoculado com o produto comercial Rootella BR®, proporcionando maior altura, superando o tratamento com adubação fosfatada. Avaliando também a altura separadamente dentro de cada variedade, houve diferença significativa aos 30 dias no tratamento inoculado com Rootella BR®.

Esse resultado vai de encontro com os que foram encontrados por Campos *et al.* (2015) em que a altura das plantas dos diferentes genótipos de milho híbrido em casa de vegetação, submetidos à inoculação e sem inoculação de FMA, revelou diferenças significativas na avaliação realizada no 15º dia após a emergência das plantas. O autor cita que a inoculação de FMA, acarreta incremento na produtividade de forma diferenciada entre os genótipos do milho. Ele ainda cita que 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 de FMA no solo, a eficiência de colonização de FMA e o manejo do solo, dentre outros.



Para as variedades milho híbrido e milho caboclo, em relação ao número de folhas e à massa seca da parte aérea, a inoculação de fungos micorrízicos no solo não apresentou diferença significativa. Resultados semelhantes foram relatados por Costa *et al.* (2020), que não encontrou diferenças significativas no número de folhas em milho crioulo. O autor atribuiu esse resultado ao uso de solo arenoso autoclavado e ao volume reduzido de substrato, que podem ter limitado o desenvolvimento das plantas e a interação entre FMAs e as raízes. Além disso, Costa *et al.* (2023) confirmaram que, apesar da colonização micorrízica ser significativa, não houve alterações relevantes na biomassa aérea, sugerindo que as condições experimentais podem influenciar a resposta das plantas aos tratamentos com FMAs.

Os resultados dos teores de fósforo obtidos no estudo em questão, podem indicar que o período de coleta não foi ideal para observar as diferenças no acúmulo de fósforo, uma vez que, como sugerido por Menezes *et al.* (2018), o maior acúmulo ocorre durante o período reprodutivo, quando as plantas exigem mais desse nutriente. Assim, prolongar o experimento para incluir a fase reprodutiva poderia revelar diferenças mais pronunciadas entre os tratamentos.

A colonização radicular apresentou diferença significativa entre os tratamentos, sendo que, para a variedade milho híbrido, a maior colonização das raízes foi observada com a inoculação do produto comercial Rootela BR®, formulado à base de *Rhizophagus intraradices*. Essa espécie de fungo micorrízico arbuscular (FMA) é conhecida pelo rápido estabelecimento da colonização micorrízica e pela rápida multiplicação de seus propágulos (Invam, 2021).

Conforme constato por Stoffel (2023), a utilização do inoculante comercial, que possui alta concentração de propágulos e elevado potencial infectivo, contribuiu significativamente para esses resultados. Em um experimento utilizando o Rottela na produtividade do cultivo do milho, o autor observou que a espécie se estabeleceu em todas as plantas aos 26 dias após a emergência.

Além disso, 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 de FMA no solo, a eficiência de colonização de FMA e o manejo do solo, dentre outros (AFEK *et al.*, 1990).



7 CONCLUSÃO

A simbiose de fungos micorrízicos arbusculares em solo do Cerrado maranhense sob pastagem, em associação com as variedades de milho Híbrido e Caboclo, promoveu incremento para as variáveis índice de clorofila, altura e colonização radicular.

Os maiores índices de clorofila, foram observados na variedade milho híbrido, aos 30 dias após o plantio com a inoculação no solo com *Rizophagus intraradices* e aos 45 dias após o plantio com a inoculação no solo com *Glomus glomerulatum*, superando o tratamento com aplicação de adubação fosfatada. Na variedade milho caboclo, não houve diferença significativa entre os tratamentos solo inoculado e não inoculado com FMA para o índice de clorofila.

Os FMAs não promoveram incremento para as variáveis número de folhas, massa seca da parte aérea e teor de fósforo nas folhas.

Aos 15 dias, as maiores médias de altura na variedade de milho Híbrido foram obtidas com a inoculação do produto comercial Rootella BR®, a base de *Rizophagus intraradices*, superando a adubação fosfatada. Aos 30 dias, o tratamento inoculado com FMAs nativos contribuíram significativamente na altura das plantas. O tratamento com a inoculação do Rootella BR® apresentou a maior taxa de colonização radicular para as duas variedades de milho.

Conclui-se, portanto, que os FMAs desempenham um papel fundamental como estratégia sustentável no manejo do milho, especialmente em solos do Cerrado com baixa disponibilidade de nutrientes. No entanto, estudos adicionais em condições de campo são necessários para validar esses resultados e ampliar a aplicabilidade prática dessa abordagem em diferentes sistemas agrícolas.



REFERÊNCIAS

- AFEK, Uri. *et al.* Mycorrhizal inoculum influence colonization of cotton, onion and pepper seedlings. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 115, n. 6, p. 938-942, 1990.
- BAGYARAJ, Davis.; SHARMA, Mahaveer. P.; MAITI, Debabrata. Phosphorus nutrition of crops through arbuscular mycorrhizal fungi. **Currentscience**, [S.L], v.108, n. 7, p. 1288-1293, 2015.
- BARAZETTI, André Riedi. **Avaliação da eficiência de bioprodutos e da inoculação micorrízica no controle da ferrugem asiática da soja e no desempenho da cultura**. 2024. 82 f. Tese (Doutorado em Microbiologia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2020.
- BÜCKING, Heike.; KAFLE, Anjan. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in the nitrogen uptake of plants: current knowledge and research gaps. **Agronomy**, v.5, p.587-612, 2015.
- BRUNDRETT, Mark.C., TEDERSOO, Leho. Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. **New Phytol**, v.220, p.1108–1115, 2018.
- BŁASZKOWSKI, Janusz. Dominikia emiratia and Rhizoglyphus dunense, two new species in the Glomeromycota. **Botany**, v. 95, p. 629-639, 2017
- CAUICH-CAUICH, Rodrigo. *et al.* Evaluación de consorcios micorrízicos arbusculares nativos en interacción con niveles de fósforo en la promoción del crecimiento y fotosíntesis de Stevia rebaudiana Bertoni, **Biotechnia**, v. 25, n. 1, p. 67-80, 2023.
- CAMPOS, Amália. A. B. *et al.* Fungos micorrízicosarbusculares em dois sistemas de cultivo de milho. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, [S.L], v. 5, n. 1, p. 137-142, jun. 2015.
- CELESTRINO, Renan Borro. *et al.* Novos olhares para a produção sustentável na Agricultura Familiar: avaliação da alface americana cultivada com diferentes tipos de adubações orgânicas. **Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, v. 3, n. 1, p. 66-87, 2017.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v. 11, safra 2023/24, n. 2, segundo levantamento, novembro 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5615-brasil-deve-produzir-299-27-milhoes-de-toneladas-de-graos-na-safra-2023-2024>. Acesso em: 18 dez. 2024.
- CARENHO, Rosilaine. *et al.* Fungos micorrízicos arbusculares em agrossistemas brasileiros. **Micorrizas**, v. 30, p. 215-249, 2010.
- COÊLHO, Jackson Dantas. *et al.* Produção de grãos – feijão, milho e soja. **Caderno Setorial ETENE**, n. 96, p. 1-12, 2019. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/revista/cse/article/download/2959/2057/9720>. Acesso em: 19 dez. 2024.
- CONTINI, Elisio *et al.* Milho: caracterização e desafios tecnológicos. Brasília: **Embrapa. (Desafios do Agronegócio Brasileiro, 2)**, 2019. 45p.



COSTA, France Mário. *et al.* Crescimento de milho crioulo cultivado com fungos micorrízicos arbusculares. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, [S. l.], v. 13, n. 3, p. 983–1000, 2020.

COSTA, Marcos Dall'Agnol.; LOVATO, Paulo Emilio. Micorrizas arbusculares e a supressão de patógenos. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 6, p. 119-139, 2011.

CHAGAS JUNIOR, Aloísio Freitas. *et al.* Evaluation of phosphate solubilization potential of Trichoderma strains (Trichoplus JCO) and effects on rice biomass. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 15, n. 3, p. 794- 804, 2015.

DURAZZINI, Ana Maria Sá .; TEIXEIRA, Manoel Araújo.; ADAMI, Angélica Aparecida Vieira. Quantificação de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) em solo sob diferentes cultivos de cafeeiros. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 8, n. 4, p. 83-91, dez. 2016.

EICHOLZ, Ebersson Diedrich. 2017. **Produção de Sementes e Conservação de Variedades de Milho de Polinização Aberta e Crioulos**. Documentos, 44. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. 38pp.

FARIA, Álvaro Boson de Castro. *et al.* Uso de ectomicorrizas na biorremediação florestal. **Ciência Florestal [online]**. 2017, v. 27, n. 1, p. 21-29, 2017.

FOLLI-PEREIRA, Muriel da Silva et al. Micorriza arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1663-1679, 2012.

GERDEMANN, John William.; NICOLSON, Thomas Henry. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil wet sieving and decanting. **Transactions of British Mycological Society**, v. 46, n. 2, p. 235-244, Apr. 1963

GOMES JÚNIOR, Carlos César. **Alterações morfofisiológicas em dois genótipos de milho (Zea mays L.) em resposta à inoculação com fungos micorrízicos arbusculares**. 2018. 43 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, 2018.

GUEVARA, Arnoldo José de Hoyos *et al.* **Desenvolvimento Sustentável e Mudanças Climáticas**. São Paulo, 2019. Disponível: <https://www.pucsp.br/sites/default/files/download/bisus/bisus2019/desafio1.pdf>, acessado: 15/01/2025.

GROUNDWORK BIOAG. Rootella for your farm. 2019. Disponível em: <https://groundworkbioag.com/>. Acesso em: 19 dez. 2024.

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

GOTO, Bruno Tomio.; JOBIM, Kátia. 2016. Laboratório de Biologia de Micorrizas. Disponível em: Acesso em: 10 out. 2017.

GOTO, Bruno Tomio.; JOBIM, Kátia. Uma breve história sobre a ocorrência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares (Glomeromycota) no Brasil. In: MOREIRA, F. M. S.; KASUYA, M. C. M. (org.). **Fertilidade e biologia do solo: integração e tecnologia para todos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. p. 465-500.



HUNKE, Philip. *et al.* The Brazilian Cerrado: assessment of water and soil degradation in catchments under intensive agricultural use. **Ecohydrology**, v. 8, n. 6, p. 1154–1180, 2015.

HUNGRIA, Marcos.; ARAUJO, Raimundo Silva. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. ed. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994, 542p.

IBGE. **Mapa de biomas do Brasil e mapa de vegetação do Brasil**. Lançamento em comemoração ao Dia Mundial da Biodiversidade, 2013. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/12789-asi-ibge-lanca-o-mapa-de-biomas-do-brasil-e-o-mapa-de-vegetacao-do-brasil-em-comemoracao-ao-dia-mundial-da-biodiversidade>. Acesso em: 19 dez. 2024.

INVAM - International Culture Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi, 2025. Disponível: em < <https://invam.ku.edu/> >. Acesso em: 29/08/2023.

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

JÚNIOR, Gedeon. A. G. *et al.* Absorption of nutrients by soursop seedlings in response to mycorrhizal inoculation and addition of organic compost. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, n.3, p. 287-294, jul./set. 2018.

JÚNIOR, Orivaldo José Saggin; DA SILVA, Eliane Maria Ribeiro. Micorriza arbuscular–Papel, funcionamento e aplicação da simbiose. **Miolo Biota**, v. 12, n. 32, p. 101-150, 2006.

LAMBAIS, Marcio.R.; Ramos, Alessandro.C. Sinalização e transdução de sinais em micorrizas arbusculares. **Micorrizas**, 30: 119-132, 2010.

MAGELA, Mara Lúcia Martins. **Fontes de matéria orgânica na composição de fertilizantes organominerais pelizados na cultura do milho**. 2017. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

MACEDO, Jorge Antônio Barros. **Águas & águas: métodos laboratoriais de análises físico-químicas e microbiológicas**. Rio de Janeiro: Ed. J.A.B. de Macêdo, p.77-79, 2001.

MATOS, Edgar Cezar Torres.*et al.* Espectroscopia fotoacústica para analisar a fertilidade de solos tratados com biochar e micorriza. **Química Nova**, São Paulo, v. 41, p. 989-998, 2018.

MEHROTRA, Vishnu. S. (Ed.). **Mycorrhiza: role and applications**. Allied Publishers, 2005.

MENEZES, June Faria Scherrer. *et al.* Extração e exportação de nitrogênio, fósforo e potássio pelo milho adubado com dejetos de suínos. **Revista de Agricultura Neotropical**, 5(3), 55-59, 2018.

MOURA, José Bessa . *et al.* Taxa de colonização micorrízica sob diferentes sistemas de cultivo no cerrado em cana-de-açúcar. **Revista Diálogos e Ciência**, v. 2, n. 40, p. 60–66, 2017.

MOREIRA, Fátima Maria de Souza.;SIQUEIRA, José Otávio. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras;p.729.2006.

MOURA, José Bessa. *et al.* Taxa de colonização micorrízica sob diferentes sistemas de cultivo no cerrado em cana-de-açúcar. **Revista Diálogos & Ciência**, [S.L], v. 2, n. 40, p. .60-66, jan.2016.

NACCOON, Somsak. *et al.* Growth enhancement of sunchoke by arbuscular mycorrhizal fungi under drought condition. **Rhizosphere**, v. 17, 100308. 2021.



PAWAR, Prakash Baburao. *et al.* An approach to enhance nutritive quality of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) seed oil through endo mycorrhizal fertigation. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 14, p. 18–22, 2018.

PAULINO, Eliane Tomiasi; MOREIRA, Rosangela Maria Pinto; ALMEIDA, Rosemeire Aparecida. Produção Agroecológica para Construção de Autonomias no Campo e na Cidade. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 2, p. 8-8, 2018.

PONTES, José Santos. *et al.* 2017. *Acaulospora spinulifera*, a new arbuscular mycorrhizal fungal species from the Brazilian Cerrado and Atlantic Rain forest. **Nova Hedwigia**. 105(1-2):219-229.

PHILLIPS, John M.; HAYMAN, David 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.

RADI, Antonio José. **Inoculação e coinoculação de isolados bacterianos e fungo micorrízico arbuscular em tomateiros**. 2021. 109f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

RESENDE, Álvaro Vilela. *et al.* Manejo de nutrientes no cultivo de milho segunda safra na região do Cerrado. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. (Circular Técnica, 183). Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1103667/1/Manejonutrientes.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2024.

RIBEIRO, Daniel Pessanha. **Crescimento, ecofisiologia e nutrição de plantas de milho (*Zea Mays* L.) inoculadas com *Acaulospora colombiana* e *Serendipita indica* sob estresse hídrico**. 2021. 66 f. Tese (Mestrado em Biotecnologia Vegetal) – Universidade Vila Velha, Espírito Santo, 2021.

ROUPHAEL, Youssef. *et al.* Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 91- 108, 2015.

RODRIGUES, Antonio Rony da Silva Pereira; LIMEIRA, George Nunes. Uso de fungos na agricultura: Uma revisão com ênfase na aplicação e - m sistemas agroecológicos. **Revista Ambientale**, v. 15, n. 1, p. 1-12, 2023.

SALGADO, Fabrício Henrique Moreira. **Fungos micorrízicos arbusculares e estimulante da colonização micorrizica em culturas agrícolas em solo de cerrado**. 2014. 59 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

SALGADO, Fabrício Henrique Moreira. *et al.* Arbuscular mycorrhizal fungi and mycorrhizal stimulant affect dry matter and nutriente accumulation in bean and soybean plants. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46, n. 4, p. 367-373, out./dez. 2016.

SELOSSE, Marc-Andre; BESSIS, Alain; POZO, María J. Microbial priming of plant and animal immunity: symbionts as developmental signals. **Trends in microbiology**, v. 22, n. 11, p. 607-613, 2014.

SIQUEIRA, José Oswaldo . *et al.* **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. . 1.ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2010. 716p.

SINGH, Balkrishna K. *et al.* Microorganisms and climat e change: terrestrial feedbacks and mitigation option. **Nature reviews**, [S.L], v. 8, p. 779-790, nov. 2010.



SCHÜBLER, Arthur; SCHWARZOTT, Daniel; WALKER, Christopher. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. **Mycological research**, v. 105, n. 12, p. 1413-1421, 2001.

SILVA, Héctor David Delgado.; MONTOYA, Luis Vílchez Gutiérrez. Hongos micorrizas arbusculares: la simbiosis de los múltiples beneficios. **El Higo Revista Científica**, Estelí, v. 12, n. 2, p. 2-14, 2022.

STEFFEN, Gersa Pauli Kist; STEFFEN, Ricardo Bemfica. **A importância das interações biológicas e das simbioses micorrízicas em sistemas agrícolas**. Porto Alegre: SEAPI/DDPA, 2024. 40 p. (Circular: divulgação técnica, 21)

STORER, Kate Elizabeth. *et al.* Arbuscular mycorrhizal fungi reduce nitrous oxide emissions from N₂O hotspot. **New Phytologist**, [S.L], v. 220, p. 1285–1295, ago./out. 2017.

STOFFEL, Shantau Camargo Gomes. **Inoculante micorrízico à base de *Rhizophagus intraradices* na colonização micorrízica e rendimento do milho**. 2023. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023.

SPATAFORA, Joseph W. *et al.* A phylum-level phylogenetic classification of zygomycete fungi based on genome-scale data. **Mycologia**, v.108, p.1028–1046, 2016.

SMITH, Sally E.; READ, David J. **Mycorrhizal symbiosis**. 3. ed. Amsterdam: Academic Press, 2008.

TEDERSOO, Leho. *et al.* High-level classification of the Fungi and a tool for evolutionary ecological analyses. **Springer**, v. 90, p. 135–159, jan. 2018.

TEDESCO, Marino José. *et al.* **Análise de solo, plantas e outros minerais**. UFRGS: Departamento de Solos. Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, 2 ed. 174p.1995.

TORRES, Felipe. *et al.* Desempenho de híbridos de milho cultivados em diferentes espaçamentos na região do cerrado brasileiro. **Revista de Ciências Agrárias**, V. 36, N. 4, 2019.

VALADARES, Rogério Barbosa da Silva.; MESCOLOTTI, Débora Lúcia Cardoso.; CARDOSO, Elke Jurandy Bran Nogueira. Micorrizas. In: CARDOSO, Elke Jurandy Bran Nogueira.; ANDREOTE, Felipe Domingues. **Microbiologia do solo**. 2 ed. Piracicaba: ESALQ, 2016

VIDAL, Mariane Carvalho.; SALDANHA, Rodolfo.; VERÍSSIMO, Mário Álvaro Aloísio. Bioinsumos: a Construção de um Programa Nacional pela Sustentabilidade do Agro Brasileiro. **EALR**, v. 12, n.3, p.557-574, 2021.

VUELTA-LORENZO, Diana Rodríguez. *et al.* Irrigation with magnetically treated water on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**, San José de las Lajas, v. 32, n. 4, 2023.

WIJAYAWARDENE, Nalin N. *et al.* Outline of Fungi and fungus-like taxa. **Mycosphere Online: Journal of Fungal Biology**, v. 11, n. 1, p. 1060-1456, 2020.

