

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA COLONIZAÇÃO
MICORRÍZICA EM RAÍZES DE PLANTAS
COLETADAS EM SOLO SOB SISTEMA DE PLANTIO
DIRETO NO CERRADO SUL-MATO-GROSSENSE**

**SPATIAL VARIABILITY OF MYCORRHIZAL
COLONIZATION IN PLANT ROOTS COLLECTED IN
SOIL UNDER NO-TILLAGE SYSTEM IN SOUTH-
MATO-GROSSENSE CERRADO**

DOI: <https://doi.org/10.31692/2595-2498.v3i1.97>

¹LARISSA MICHAELA CAVALCANTE DOS SANTOS

Bacharelado em agronomia, Instituto Federal De Mato Grosso do Sul, larissasantos.la@outlook.com

²LUCRÉCIA MOURA MATTOS

Bacharelado em agronomia, Instituto Federal de Mato Grosso do Sul, lucreciamattos@gmail.com

³MAURO DE LIMA

Bacharelado em engenharia agrícola, Instituto Federal de Mato Grosso do Sul, mauro.lima@ifms.edu.br

⁴GRAZIELI SUSZEK DE LIMA

Doutorado, Instituto Federal De Mato Grosso do Sul , grazieli.suszek@ifms.edu.br

RESUMO

A biologia, diversidade e atividade dos microorganismos do solo está cada vez maior, principalmente com os que cumprem função na ciclagem de nutrientes ou produtividade dos ecossistemas. Esse estudo tem por finalidade caracterizar a variabilidade da colonização micorrízica em raízes coletadas em área de cultivo de mix de cobertura sob sistema de plantio direto, no cerrado Sul-Mato-Grossense e avaliar a influência das propriedades físico-químicas do solo na variabilidade espacial da biomassa microbiana encontrada no solo. O estudo foi realizado no campus do Instituto Federal de Mato Grosso do Sul em Nova Andradina/MS, onde foram coletadas 48 amostras de solo georreferenciadas, para realização da análise química (a matéria orgânica (MO), capacidade de troca de cátion (CTC), saturação de base (V%), fósforo (P), potássio (K)) e microbiológica do solo, para a análise de microbiológica foram utilizando cilindros de 50 mm de diâmetro a 50 mm de profundidade (4 amostras por ponto), sendo a avaliação da porcentagem de colonização pelo método da placa riscada. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva e análise geoestatística sendo realizada a interpolação pelo Inverso do Quadrado da Distância (IQD) e Krigagem, de acordo com a dependência espacial, utilizando o software QGis. Foi possível analisar a distribuição espacial da colonização micorrízica em raízes de plantas em área cultivada com soja e plantas de cobertura em sucessão no cerrado sul-mato-grossense, através dos mapas temáticos gerados. A porcentagem de micorrizas arbusculares no ano de (2022) e (2023) no solo foi considerado significativo, pode ser observado maiores porcentagens no ano de 2023, este fato pode estar relacionado com a diminuição do alumínio (Al) no solo, visualizado em 2023. A redução do alumínio também pode estar ligado ao aumento da concentração de macronutrientes no solo como potássio (K), enxofre (S) e micronutriente ferro (Fe), bem como com a implantação do mix de cobertura no ano de (2023). Nos mapas de variabilidade espacial de distribuição dos atributos analisados também é possível verificar que com a implantação do mix de cobertura, também aumentou a colonização micorrízica e os nutrientes, potássio (K), enxofre (S) e ferro (Fe), melhorando a microbiota do solo, podendo ser comprovado através da análise de correlação entre os atributos analisados.

Palavras-chave: Variabilidade espacial de fungos micorrízicos, ciclagem de nutrientes, cerrado, mix de cobertura.

ABSTRACT

The biology, diversity and activity of soil microorganisms is increasing, especially those that play a role in nutrient cycling or ecosystem productivity. This study aims to characterize the variability of mycorrhizal colonization in roots collected in a cover mix cultivation area under direct planting system, in the Cerrado of Sul-Mato-Grossense and to evaluate the influence of the physicochemical properties of the soil on the spatial variability of microbial biomass found in the soil. The study was carried out on the campus of the Federal Institute of Mato Grosso do Sul in Nova Andradina/MS, where 48 georeferenced soil samples were collected to carry out chemical analysis (organic matter (OM), cation exchange capacity (CTC) , base

saturation (V%), phosphorus (P), potassium (K)) and microbiological soil, for the microbiological analysis, cylinders of 50 mm in diameter were used at 50 mm depth (4 samples per point), being the evaluation of the percentage of colonization by the scratched plate method. The data were subjected to descriptive statistical analysis and geostatistical analysis, with interpolation performed using the Inverse Square of Distance (IQD) and Kriging, according to spatial dependence, using the QGis software. It was possible to analyze the spatial distribution of mycorrhizal colonization in plant roots in an area cultivated with soybeans and cover crops in succession in the Cerrado of Mato Grosso do Sul, through the thematic maps generated. The percentage of arbuscular

mycorrhizae in the year (2022) and (2023) in the soil was considered significant, higher percentages can be observed in the year 2023, this fact may be related to the decrease in aluminum (Al) in the soil, seen in 2023. The reduction in aluminum may also be linked to the increase in the concentration of macronutrients in the soil such as potassium (K), sulfur (S) and micronutrient iron (Fe), as well as with the implementation of the cover mix in the year (2023). In the maps of spatial variability of

distribution of the analyzed attributes, it is also possible to verify that with the implementation of the cover mix, mycorrhizal colonization and nutrients, potassium (K), sulfur (S) and iron (Fe), also increased, improving the microbiota of the soil, which can be proven through correlation analysis between the attributes analyzed.

Keywords: Spatial variability of mycorrhizal fungi, nutrient cycling, cerrado, cover mix.

INTRODUÇÃO

A degradação do solo é resultado de um conjunto de fatores que atuam sobre ele, causando alterações químicas, físicas e principalmente biológicas (LIMA et al., 2007). A recuperação de sistemas degradados é lento, podendo ser feita a intervenção antrópica com práticas de recuperação do solo. Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) servem como importantes indicadores de qualidade do solo e atuam na diversidade e produtividade dos ecossistemas vegetais (ABREU et al., 2018).

Os fungos micorrízicos arbusculares são microrganismos ubíquos do solo que estabelecem relações mutualistas com cerca de 80% das plantas terrestres (WANG; QIU, 2006). A associação resultante, denominada micorriza arbuscular (MA), caracteriza-se pelo crescimento das hifas de fungos do filo Glomeromycota (SCHUBLER et al., 2001) no tecido cortical das raízes de plantas e pela formação de uma estrutura fúngica denominada arbúsculo, responsável pela troca de nutrientes entre o fungo e a planta.

A associação do fungo confere à planta estratégias adaptativas, contribuindo em condições de baixa disponibilidade hídrica e de nutrientes, que facilita o desenvolvimento e estabelecimento das plantas e além disso auxilia na agregação e qualidade do solo (VERAS, 2018). Um dos principais benefícios resultantes da associação micorrízica é o aumento da absorção de nutrientes, em especial o fósforo. Esse fenômeno se torna possível pois o micélio extra-radicular do fungo cresce além da zona de depleção da raiz, realizando a captação, a translocação e a disponibilização desses nutrientes para as células do córtex radical (SMITH; READ, 1997).

Respostas fisiológicas adicionais das micorrizas incluem também maior crescimento e vigor da planta (KOIDE; MOSSE, 2004), proteção contra inúmeros patógenos (SELOSSE et al., 2004), indução de resistência a contaminantes do solo (DERAM et al., 2008) e ao estresse

hídrico (CAVALCANTE et al., 2001). Estes fungos auxiliam também na manutenção da integridade física do solo, favorecendo a formação e estabilização de agregados (RILLIG; MUMMEY, 2006), além de terem importante papel na acumulação de biomassa microbiana (OLSSON; WILHELMSSON, 2000).

A inoculação com fungos eficientes em espécies dependentes de micorriza poderá reduzir o uso de insumos, gerando uma economia de recursos e tempo na recuperação florística de áreas desmatadas ou destinadas à formação de matas (SAGGIN-JÚNIOR, 1997). Dentre as espécies estudadas, SCABORA et al. (2010) relatou que (*Psidium guava* L). (goiabeira) apresentou alta colonização e foi altamente responsiva à micorrização, sugerindo potencial para projetos de revegetação no cerrado brasileiro.

Portanto, a inoculação de FMA no solo e na vegetação pode favorecer e melhorar o estabelecimento de espécies de plantas próprias de etapas sucessionais intermediárias e avançadas, acelerando a recuperação para uma cobertura vegetal (GUERRERO et al., 1996).

O objetivo é avaliar o uso do mix de cobertura (milheto, crotalária e braquiária) para melhoria da colonização micorrízica em raízes no cerrado sul-mato-grossense, e demonstrar a importância da utilização do sistema de plantio direto.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Fungos micorrízicos

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são fungos de solos que possuem a capacidade de realizar simbiose, se agregando nas raízes de algumas plantas, trazendo benefícios de forma mútuas para ambos os indivíduos envolvidos no processo de mutualismo (planta e fungo), estes microrganismos são totalmente específicos e realizam uma associação biotrófica muito forte com a planta hospedeira, os benefícios estão principalmente relacionados com a troca de nutrientes fundamental para cada organismo dentro do processo (BERUDE et al., 2015).

Estes microrganismos dependem inteiramente de algumas plantas hospedeiras para sobreviver e se multiplicar, por se tratarem de organismos simbióticos obrigatórios, eles necessitam de raízes em pleno funcionamento para se hospedar, esta interação se inicia com a ativação do propágulo do fungo e quando as hifas formadas identificam uma emergência de raiz próxima ela inicia seu crescimento para aproximar e colonizá-lo (BERUDE et al., 2015).

Os também chamados de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) formam hifas que se assemelham a uma extensão das raízes de suas plantas hospedeiras e através de uma ligação intracelular denominada de arbúsculos conseguem receber assimilados e fornecer os nutrientes que captam no solo para a planta (HOFFMANN e LUCENA, 2006).

Pensando em um sistema agrícola, as micorrizas podem trazer todos os benefícios já citados para a cultura de interesse, podendo assim aumentar a produtividade de grãos na lavoura, sendo assim muito útil tanto para a natureza por realizar uma manutenção dentro do ecossistema como para o ser humano pensando em aumento na produção final de uma área agrícola (BERUDE et al., 2015).

A diversidade desses fungos em diferentes biomas e com simbiose em uma grande variedade de plantas, por exemplo, já foram encontrados nas raízes da cultura da araucária (*Araucaria angustifolia*) no trabalho de Laurindo et al. (2020) mais de trinta espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMA).

Fungos micorrízicos na agricultura e sua importância

Ao longo da modernização da agricultura a utilização da fertilização biológica com base na inoculação (BRAHMAPRAKASH & SHU, 2012) de micorrizas vem sendo estudada com grande intensidade para melhoria da agricultura. A biotecnologia que utiliza inoculantes gera benefício socioeconômico e ambiental, por diminuir o uso de fertilizantes solúveis e reduzir os custos de produção (BARBOSA, 2013). Assim, do ponto de vista agrônomo, a micorrização é fundamental para o cenário agrícola brasileiro, pois aumenta a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Isso ocorre devido ao aumento da zona de absorção das raízes, mediante o desenvolvimento das hifas (CHAGAS JUNIOR et al., 2010).

Um processo de grande importância é a disponibilidade de fósforo pela solubilização, mecanismo desenvolvido por alguns grupos de fungos que produzem ácidos orgânicos. Esses fungos dissolvem o fosfato de rochas naturais, disponibilizando-o para as plantas, na forma iônica, por meio da solução do solo. A utilização desses fungos na agricultura pode diminuir o custo de produção e maximizar a eficiência do uso de fósforo (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006; CHAGAS JUNIOR et al., 2010). O interesse na utilização de microrganismos na agricultura tem aumentado significativamente devido a uma maior conscientização sobre a preservação do meio ambiente, com a busca de alternativas para a redução do uso de insumos químicos. DUAN et al. (2011) referem que práticas agrícolas com mobilização reduzida e incorporação dos resíduos das culturas são benéficas para as relações de simbiose entre os FMAs e as culturas beneficiando o crescimento.

Os fungos micorrízicos arbusculares são biotróficos obrigatórios, dependendo inteiramente da simbiose para completar o ciclo de vida. Essa característica tem dificultado tanto estudos básicos sobre a biologia e a genética desses fungos como também o desenvolvimento de tecnologia para a utilização de inoculantes micorrízicos em larga escala (SOUZA et al., 2011). As recomendações de manejo da micorriza arbuscular dizem respeito

aos fungos micorrízicos arbusculares existentes no solo e visam o aumento da população.

Incidência natural de micorrizas em solos do cerrado

A grande importância da avaliação de influência de sistemas de manejo de solo sobre os fungos micorrízicos arbusculares, principalmente no bioma Cerrado. O Cerrado possui elevada diversidade de espécies de FMA, abrigando cerca de 45% da riqueza mundial. Indicando a importância de conhecer melhor a microbiota do solo do Cerrado. As plantas controlam esta colonização micorrízica por mecanismos não inteiramente esclarecidos (Koide & Schreiner 1992), mantendo o nível de colonização conforme a sua dependência micorrízica e o benefício em absorção de P que esses fungos estejam proporcionando (Schwab et al. 1991). Dessa forma, num solo de Cerrado, o maior volume de raízes finas das gramíneas em associação com FMA incrementa muito a absorção de nutrientes (principalmente o P) e de água, favorecendo as plantas.

Na reabilitação ambiental, onde predominam solos de baixa fertilidade, as micorrizas são essenciais na revegetação. O conhecimento da condição micorrízica das espécies é importante, pois serve de suporte para a produção de mudas e para as tecnologias que garantam o sucesso de revegetação. A inoculação de espécies dependentes com FMA eficientes poderá reduzir o uso de insumos, gerando uma economia de recursos e tempo na recuperação florística de áreas desmatadas ou destinadas à formação de matas (SAGGIN-JÚNIOR, 1997). Com esta atualização, o número de espécies de FMA registradas para o bioma Cerrado passa para 119, demonstrando a relevância taxonômica deste estudo, e a importância das áreas de Cerrado como reservatórios de diversidade de FMA.

Importância da parte biológica nos solos cultivados

Com a elevada demanda na necessidade de produzir alimentos a agricultura hoje é o principal responsável pela alimentação do dia a dia de toda a população, com isso muitas áreas agrícolas são exploradas de forma muito intensa e muitas vezes de forma indiscriminada quando se fala em manter um equilíbrio entre altas produtividades e manter características físicas, químicas e biológicas importantes para o solo (OLIVEIRA, 2019).

No solo concentra-se uma grande diversidade de microrganismos que possui um determinada responsabilidade dentro do equilíbrio do ecossistema, sendo responsável pela melhoria e manutenção do solo. Muito dos microrganismo são responsáveis por proporcionar um solo com boas características físicos-químicos adequado além de realizar ciclagens de nutrientes, realizando por assim dizendo a decomposição de restos vegetais e animais e disponibilizando todos esses macro e micronutrientes para a flora (OLIVEIRA, 2019).

A absorção de fósforo diretamente pelas raízes das plantas é feita predominantemente

por processo dependente da difusão do P no solo, que ocorre numa taxa muito lenta para atender às necessidades das plantas. Nesse contexto, a absorção de fósforo diretamente pelas raízes das plantas é feita predominantemente por processo dependente da difusão do P no solo, que ocorre numa taxa muito lenta para atender às necessidades das plantas. A contribuição do micélio dos FMAs, o qual é constituído pelo conjunto das hifas dos FMAs que crescem além da zona de depleção das raízes, explorando maior volume de solo e possuem alta afinidade por íons de fosfato (Jorhi et al., 2015; Zou et al., 2019). O micélio dos FMA faz conexão entre o solo e as células corticais das raízes, podendo inclusive interconectar plantas (Hu et al., 2019). Ele é constituído por uma rede de hifas que cresce pelo solo ou no interior das raízes, diferenciadas em componentes de absorção, de crescimento ou de infecção.

Os componentes de absorção consiste em hifas extra-radicales que absorvem ativamente fosfatos do solo, os quais são transportados passivamente para hifas intra-radicales formadas interior das raízes, e a partir daí são transferidos ativamente para as células vegetais por proteínas transportadoras de P localizadas principalmente na membrana dos arbúsculos (Jansa et al., 2019).

METODOLOGIA

Áreas de estudo

A área de estudo possui 1 ha e está localizada no município de Nova Andradina, Mato Grosso do Sul, Brasil (22° 4'56.46"S; 53°28'8.43"O) (Figura 1). Os pontos limítrofes da área foram obtidos por meio do uso de GPS topográfico. O clima do local é caracterizado como tropical Aw clima megatérmico com estação invernal pouco definida ou ausente, concentração de chuvas nos meses de verão e secas no inverno segundo classificação de Köppen.

Figura 1- Localização da área experimental agrícola Nova Andradina/MS - Brasil.



Fonte: Própria (2019)

A área foi utilizada para pastagem rotacional (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) por muitos anos. Durante o ano de (2019), a área passou a ser preparada para conversão em sistema de plantio direto, onde metade da área foi trabalhada com cultura do girassol e a outra metade permaneceu pastagem, apresentando boa produtividade e boa qualidade de grãos. Já em (2020) devido à pandemia a área permaneceu em pousio, com retorno da pastagem, devido ao seu rico banco de sementes.

Em (2021) toda área foi implantada com Girassol, mas devido a problemas climáticos ocorridos, a área apresentou baixa produtividade “(Figura 2)”.

Figura 2- Coleta de amostras de solo ano de 2021, na área amostral do IFMS-Campus de Nova Andradina/MS-Brasil.



Fonte: Própria (2021)

Para esse estudo, a área foi implantada 1ha de mix de cobertura (milheto, crotalária e

brachiaria). Nas duas análises de solo realizadas na área (2019 e 2021), verificou-se um solo com 88,7% de areia, 1,39% de silte e 9,91% de argila.

Amostragem do solo

Uma amostragem do solo físico-químico foi realizada em outubro de 2021, respeitando um grid amostral, baseado nas características da área, onde foram coletadas 48 amostras compostas da camada de profundidade de 0,0-0,20 m como mostra nas “(Figuras 3 e 4)”. Cada amostra foi composta por seis subamostras coletadas com um perfurador em um raio de 3 m, realizamos durante o período do projeto duas amostragens, em outubro de (2022 e 2023), nas áreas da mata e agrícola, compostas por 48 amostras cada, com a finalidade de caracterização do solo, para comparação com outras variáveis e caracterização temporal para delimitação de zonas de manejo levando-se em consideração as variáveis que serão analisadas.

Cinco propriedades químicas do solo foram consideradas neste estudo: matéria orgânica MO, capacidade de troca de cátion (CTC, mmolc decímetro⁻³), saturação de base (V, %), fósforo (P, mg dm⁻³) e potássio (K, mmolc decímetro⁻³) (Van Raij et al., 2001). Essas propriedades químicas do solo foram escolhidas devido à sua importância agronômica. A disponibilidade de P e K são utilizadas na prescrição de fertilizantes fosfato e potássio, e o CTC e V são comumente utilizados na recomendação de calagem.

Análise dos atributos

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, utilizando o software Minitab 18® para obtenção das medidas de posição (média e mediana), medida de dispersão (desvio-padrão) e medidas de forma da distribuição (coeficiente de variação), avaliado conforme descrito por Gomes (2000), apresentado na (tabela 1).

Tabela 1- Classificação dos valores do coeficiente de correlação de Pearson (r).

Coeficiente de correlação (r)	Classificação
0,0 a 0,1	Muito baixa
0,1 a 0,3	Baixa
0,3 a 0,5	Moderada
0,5 a 0,7	Muita alta
0,7 a 0,9	Alta
0,9 a 0,10	Quase perfeita

Fonte: Gomes, (2000).

Coleta das raízes e avaliação da colonização micorrízica arbuscular

A metodologia de coletas de raízes para a avaliação da colonização micorrízica arbuscular foi baseada no proposto por Zangaro e colaboradores (2013) com modificações. Para tal, em cada um dos pontos de análise na área avaliada foi realizada a coleta em aleatorizados de 4 amostras de solo (utilizando cilindros de 50 mm de diâmetro a 50 mm de profundidade), demonstrada na “(figura 3 e 4)”. Estas quatro amostras de solo foram unidas e diluídas em água corrente sobre peneiras que permitem a retenção das raízes finas. A seleção manual sob estereomicroscópio buscará coletar todas as raízes finas (< 2mm de diâmetro) e com características de vitalidade.

Figura 3: Coleta de solo para análise antes do mix de cobertura.



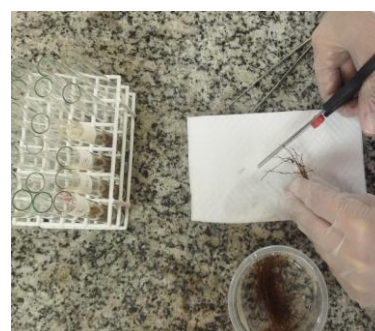
Fonte: Própria (2022).

Figura 4: Coleta de solo para análise com o mix implantado na área.



Fonte: Própria (2023).

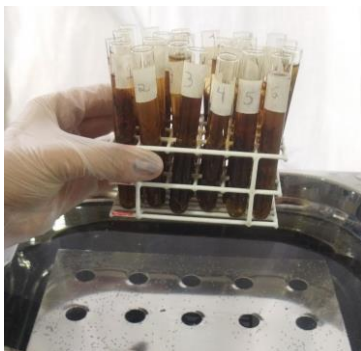
Figura 5: Picagem das raízes coletadas para em 1 cm, para clarificação.



Fonte: Própria (2023)

Uma vez selecionadas cerca de 1g de raízes de cada ponto de análise será fixado em álcool 70%. Após pelo menos 24h de fixação as raízes foram submetidas a clarificação (10% KOH), acidificação (1% HCl) como mostra na “(figura 6)” e coloração em azul de tripano (0,05%) (Brundrett et al. 1996) “(figura 7)”. A avaliação da porcentagem de colonização foi realizada pelo método da placa riscada de Giovannetti e Mosse (1980), no qual se buscou identificar as estruturas características dos FMA (hifas intracelulares, extracelulares, arbúsculos e vesículas) demonstrado na “(figura 8)”.

Figura 6: Clarificação das raízes no banho maria a 50°C por 30 Min.



Fonte: Própria (2023).

Figura 7: Realizando a coloração das raízes com azul tripiano.



Fonte: Própria (2023).

Figura 8: Avaliação de micorriza arbuscular, método de placa riscada.



Fonte: Própria (2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das avaliações foi possível observar a presença de fungos micorrízicos nas raízes analisadas, em ambos os períodos de coleta (antes e após a implantação do mix). As estruturas característica das micorrizas podem ser observadas nas Figuras 9 e 10, onde observa-se de forma nítida a presença de vesículas e arbúsculos, estruturas essas que são encontradas apenas em FMA, resultando assim na confirmação da presença do mesmo no solo analisado ao decorrer das estações.

As características desejáveis no solo proporcionando para as plantas que podem ter sido influenciadas pela sua presença são rápido crescimento e desenvolvimento, a ciclagem de nutrientes, o acúmulo de matéria orgânica e formação de liteira, apoiada em sistemas radiculares mais profundos e eficientes em buscar nutrientes não disponíveis e refúgio de fauna silvestre, conforme relatado por Franco (1991).

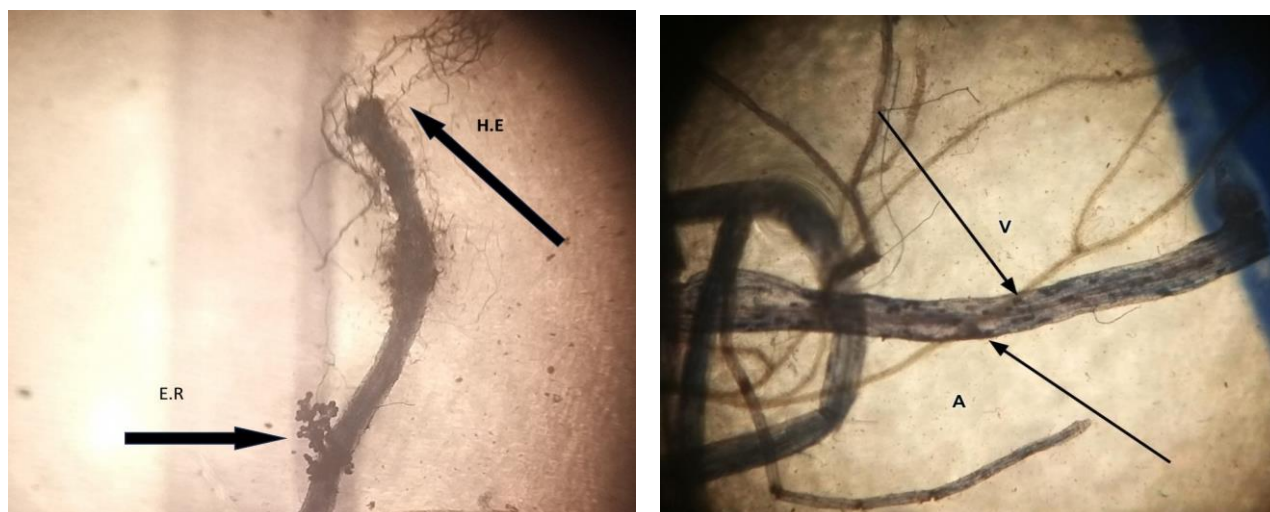


Figura 9- Estruturas reprodutivas (E.R) , Hinfas Extras (H.E) e Arbúsculos (A) e vesículas (V), na raiz, avaliação coletada no mix, lupa eletrônica 2x. **Fonte:** Própria (2022).



Figura 10 – Vesículas (V) e Arbúsculos (A) na raiz, avaliação coletada no mix, lupa eletrônica 2x. **Fonte:** Própria (2022).

A ocorrência da micorriza em condições naturais é frequente nos dados obtidos no projeto houve uma grande ocorrência natural, este fato é importante pois a micorriza arbuscular tem sido considerada como uma alternativa para a redução no uso de insumos (fertilizantes e pesticidas).

Atualmente 85% das plantas de espécies tropicais apresentam associação micorrízica e o tipo de micorriza vesículo-arbuscular (MVA) é largamente distribuída, ocorrendo em cerca de 70% das espécies. Embora apresente limitações no conhecimento de ocorrência individual de espécies em relação ao solo, clima e vegetação (Abbott & Robson, 1991).

Para uma melhor análise da distribuição espacial das micorrizas na área de estudo, foram

analisados 48 pontos na área experimental, georreferenciados com GPS topográfico, antes e após a implantação do mix de cobertura representando os anos de (2022 e 2023), também foram realizadas a análise de variância dos dados e estão apresentados na (tabela 1).

Os resultados obtidos das avaliações demonstraram que a quantidade de arbusculos após o mix de cobertura aumentou significativamente, não sendo possível sua contagem, demonstrando que o mix teve relevância para melhoria da microbiologia do solo. As vesículas também se apresentaram em maior quantidade após o mix de cobertura, podendo ser observado na (tabela 2), onde estatisticamente foi encontrada diferenças entre a análises antes e após utilização do mix de cobertura, apresentando um resultado bem significativo na área em estudo.

Outro resultado que apresentou bastante relevância foi os pontos de análises em que não possuem incidências de micorrizas, conforme pode ser observado na (tabela 2), que em média decresceu (17,52 A) para (4,44 B) o de pontos sem estruturas micorrízicas arbusculares.

Os dados foram submetidos à análise de variância a 5% de confiança, onde apresentaram um valor igual a 0,00, nas duas avaliações realizadas (quantidade de vesículas e pontos sem incidência de micorriza). Assim, os valores foram submetidos ao teste de Tukey a 5% de significância e o resultado está apresentado na (tabela 2).

Tabela 2: Análise de Variância das estruturas antes e após implantação do mix de cobertura. Teste de Tukey a 5%.

	Antes	Após
Vesículas	7,55 A	54,43 B
Pontos sem incidência de micorriza	17,54 A	4,44 B

Nas linhas, médias seguidas por pelo menos uma letra maiúscula igual não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

As avaliações demonstraram a importância sobre os estudos das micorrizas arbusculares no solo do cerrado, como a simbiose do fungo com a planta são benéficos pois aumenta a absorção de nutrientes ocorrendo ciclagem no solo.

A eficiência da associação micorrízica no crescimento e na produtividade das culturas está vinculada à disponibilidade de nutrientes do solo e sua absorção pelas plantas, que pode ser alterada através das múltiplas práticas agrícolas, efetuadas durante o seu cultivo. Bolan (1991) atribui a resposta da planta hospedeira associada aos fungos micorrizas arbusculares, principalmente à sua absorção de nutrientes.

Tabela 3: Análise de correlação de Pearson para as variáveis analisadas, para no ano de 2022

2022							
	V	A	HI	HE	N	CR	CA
pHSMP	-0.23	-0.10	-0.03	0.03	0.22	-0.22	-0.10
pHCaCl2	-0.01	0.27	-0.31	-0.33	-0.02	-0.01	-0.27
M.O.(g/dm-3)	0.17	-0.04	0.04	-0.01	-0.10	0.03	-0.04
K(mmolc/dm-3)	-0.20	-0.07	0.16	0.09	0.02	-0.04	-0.07
Ca(mmolc/dm-3)	-0.06	-0.14	0.01	0.02	0.16	-0.19	-0.14
Mg(mmolc/dm-3)	-0.18	-0.18	-0.03	0.15	0.21	-0.25	-0.18
Al(mmolc/dm-3)	0.42	0.10	-0.14	-0.06	-0.19	0.19	0.10
SB(mmolc/dm-3)	-0.14	-0.17	0.00	0.09	0.19	-0.23	-0.17
CTC(mmolc/dm-3)	0.05	-0.12	0.02	0.08	0.05	-0.09	-0.12
Sat.Bases(V%)	-0.20	-0.14	-0.01	0.06	0.22	-0.24	-0.14
S(mg/dm-3)	-0.17	-0.01	0.07	0.14	-0.02	0.06	-0.01
Cu(mg/dm-3)22	0.25	0.31	-0.17	-0.19	-0.33	0.32	0.31
Fe(mg/dm-3)22	0.26	0.44	-0.56	-0.27	-0.31	0.24	0.44
Mn(mg/dm-3)22	0.24	0.34	-0.30	-0.30	-0.29	0.21	0.34
Zn(mg/dm-3)22	0.10	0.07	0.06	-0.19	-0.04	0.04	0.07

V = Vesícula; A = Arbúsculo; HI = Hifa Intra.C; HE = Hifa Extra.C; N = Nenhuma estrutura encontrada; CR = colonização radical total; e CA = colonização arbuscular.

Tabela 4: Análise de correlação de Pearson para as variáveis analisadas, para no ano de 2023

2022							
	V	A	HI	HE	N	CR	CA
pHSMP	0.10	-0.19	-0.01	-0.01	-0.05	-0.08	-0.19
pHCaCl2	0.37	-0.53	0.05	-0.11	0.05	-0.13	-0.53
M.O.(g/dm-3)	-0.07	0.01	0.15	0.19	0.06	0.11	0.01
K(mmolc/dm-3)	0.16	-0.42	0.40	0.04	0.21	-0.26	-0.42
Ca(mmolc/dm-3)	-0.12	-0.09	0.31	0.18	0.06	-0.11	-0.09
Mg(mmolc/dm-3)	-0.03	-0.15	0.19	0.14	0.09	-0.12	-0.15
Al(mmolc/dm-3)	0.17	-0.02	-0.15	-	-	0.16	-0.02
SB(mmolc/dm-3)	-0.07	-0.15	0.28	0.16	0.09	-0.13	-0.15
CTC(mmolc/dm-3)	-0.15	-0.02	0.33	0.19	0.14	-0.08	-0.02
Sat.Bases(V%)	-0.00	-0.18	0.17	0.11	0.02	-0.12	-0.18
S(mg/dm-3)	-0.22	0.10	-0.09	0.40	0.13	-0.09	0.10
B(mg/dm-3)22	-0.03	0.14	-0.22	0.15	-0.22	0.23	0.14
Cu(mg/dm-3)22	-0.07	0.03	0.27	-0.05	0.02	-0.00	0.03
Fe(mg/dm-3)22	0.40	-0.26	-0.09	-0.34	-0.18	0.17	0.26
Mn(mg/dm-3)22	-0.10	-0.05	0.33	0.01	0.05	-0.07	-0.05
Zn(mg/dm-3)22	0.23	-0.14	-0.06	-0.15	-0.21	0.21	-0.14

V = Vesícula; A = Arbúsculo; HI = Hifa Intra.C; HE = Hifa Extra.C; N = Nenhuma estrutura encontrada; CR = colonização radical total; e CA = colonização arbuscular.

Para melhor avaliação e análise dos resultados obtidos, os dados de colonização micorrízica foram correlacionados com os dados de análise de solo para compreender uma possível relação de algum aspecto do solo com a presença de fungos micorrízicos arbusculares, estes dados são demonstrados nas Tabelas 3 e 4, com os resultados para os anos de 2022 e 2023 respectivamente.

Somente pH apresentou correlação negativa nos dois anos para colonização arbuscular, mostrando que alterações no pH podem alterar a quantidade de micorrizas no solo de forma inversamente proporcional e o Fe que sua correlação apresentou-se positiva, desta forma com aumento ou melhoria na sua disponibilidade do Fe existe a possibilidade de aumento da

colonização micorrízica no solo.

Pelos resultados é possível observar correlações significativas entre alguns nutrientes do solo, porém em sua maioria ela não se repetiu na mesma condição, nos dois anos analisados, desta forma é importante que se tenha continuação da pesquisa para avaliação melhor dos fatores que podem estar relacionados com aumento de micorrizas no solo.

Nos mapas de variabilidade espacial de distribuição dos atributos analisados também é possível verificar que com a implantação do mix de cobertura, também aumentou a colonização micorrízica e os nutrientes, potássio (K), enxofre (S) e ferro (Fe), melhorando a microbiota do solo, podendo ser comprovado através da análise de correlação entre os atributos analisados.

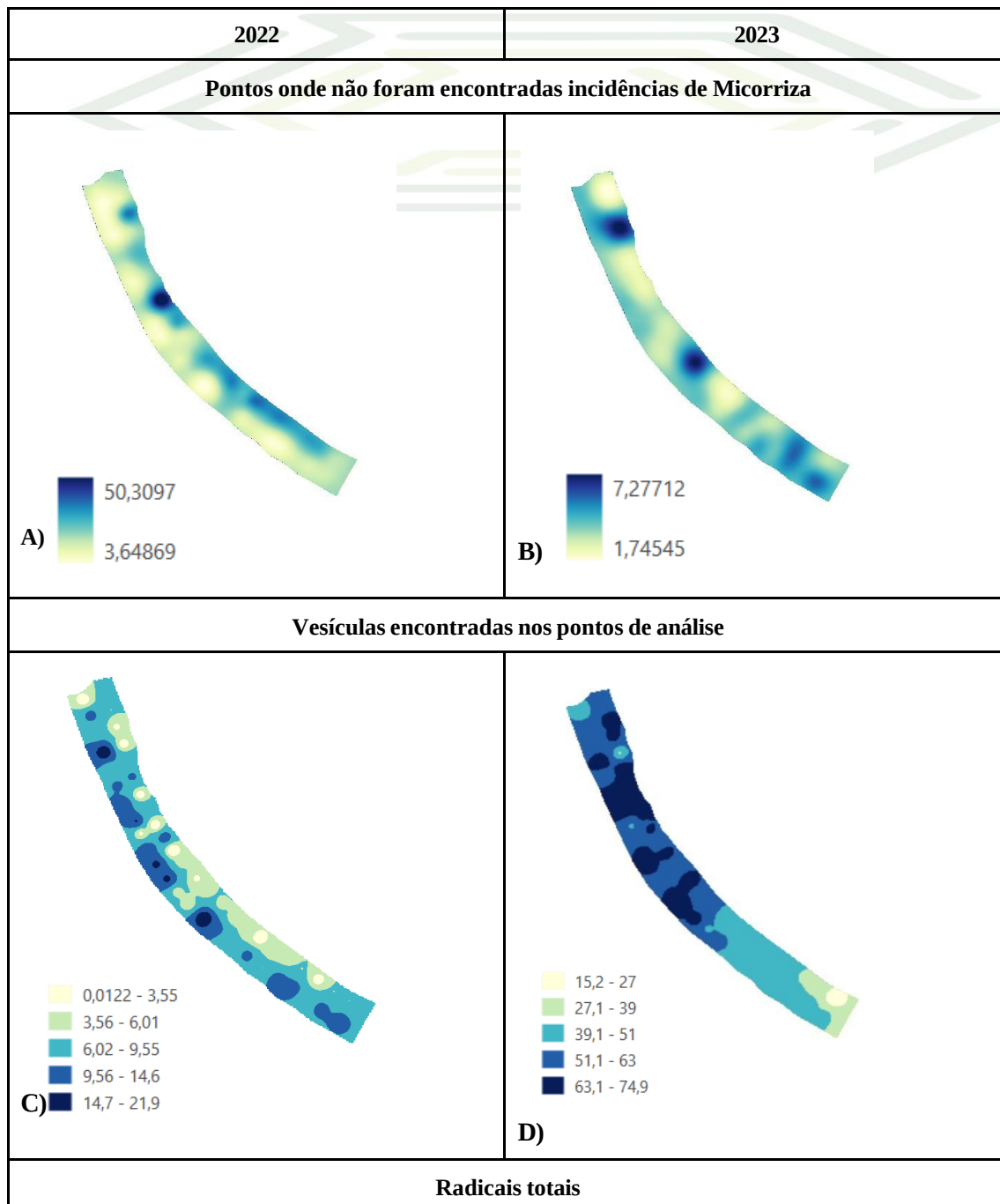
Através dos mapas de variabilidade espacial de fungos micorrízicos arbusculares, obtivemos dados significativos do ano de 2022 antes da implantação do mix e no ano de 2023 com a implantação realizada, onde o mapa (A) apresenta pouca incidência ou quase nada de presença de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) na área de pesquisa, onde a coloração azul- escuro indica pontos onde não foram encontrados fungos micorrízicos. Já no ano de 2023 onde o mapa (B) com o mix de cobertura implantado é encontrado uma grande quantidade de micorrizas arbusculares.

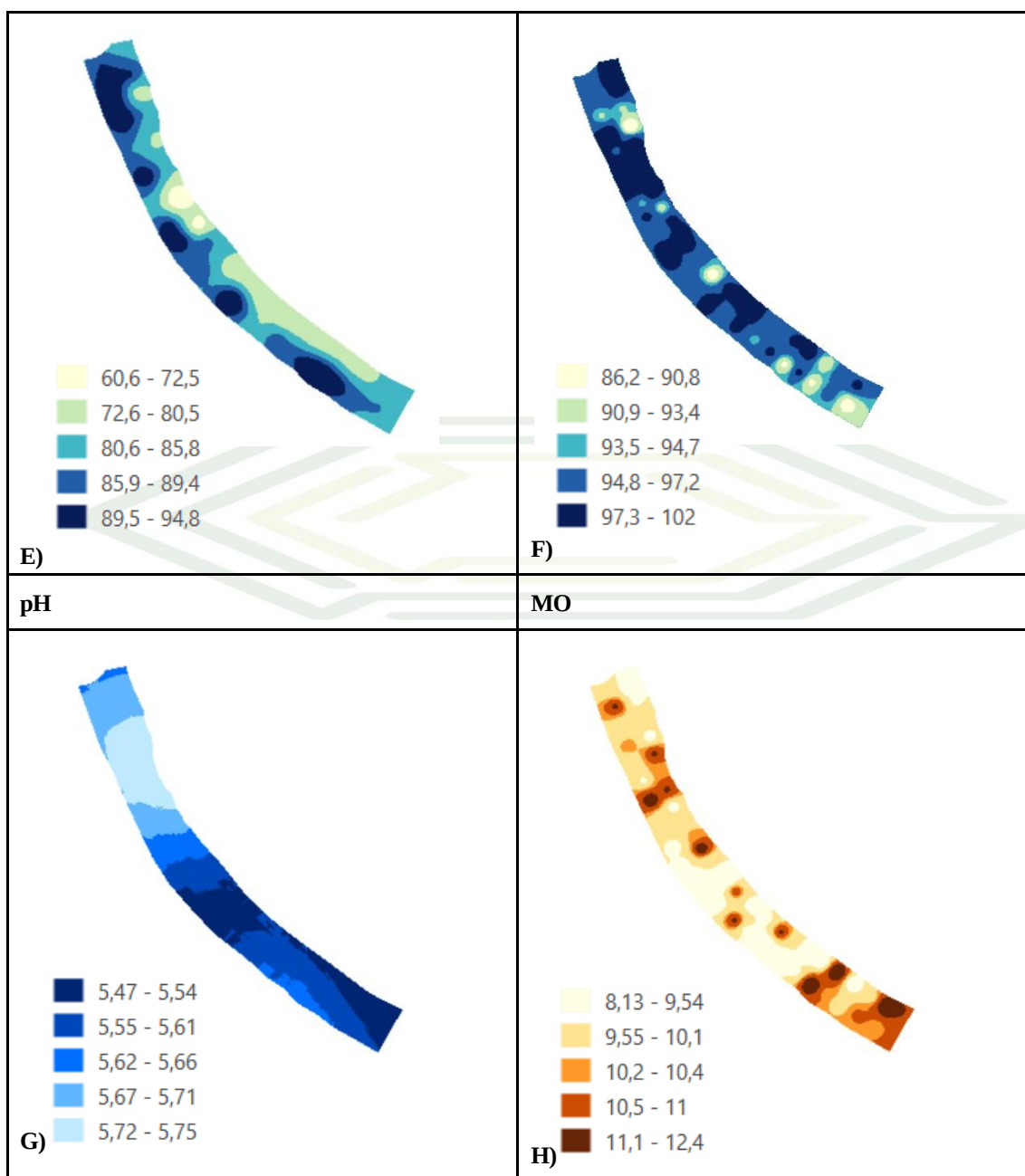
Nos mapas de variabilidade espacial do ano 2022 (C) e 2023 (D), é possível analisar a predominância de vesículas arbusculares no ano de 2023 com mix implantado demonstrando a importância do mix de cobertura para o solo, melhorando a microbiota e a ciclagem de nutrientes.

As Figuras 11 E do ano 2022 e Figura 11 F do ano 2023 os radicais livres obtivemos as concentrações totais quantitativas das micorrizas na área de pesquisa, pelo mapa da Figura G pode ser verificado que o pH do solo apresentou-se adequado às condições de solo do local analisado, esse fato se deve à correta correção realizada e assim solo estava proveniente para o desenvolvimento das micorrizas durante os ano de 2023.

No mapa apresentado na Figura 11 H é possível verificar que houve aumento na matéria orgânica no solo, apresentado também na (tabela 3 e 4) onde a partir do mix obtivemos um aumento significativo, dessa condição no solo, o que já era previsto, devido às culturas utilizadas.

Figura 11: Variabilidade espacial de distribuição de fungos micorrízicos arbusculares encontrados nas análises dos anos de 2022 e 2023.





Fonte: Própria (2022).

CONCLUSÕES

O mix de cobertura possibilitou melhorias na microbiologia do solo, observando-se aumento da quantidade de vesículas. O pH apresentou correlação negativa nos dois anos para colonização arbuscular, mostrando que alterações no pH podem alterar a quantidade de micorrizas no solo de forma inversamente proporcional e o Fe que sua correlação apresentou-se positiva, desta forma com aumento ou melhoria na sua disponibilidade do Fe existe a possibilidade de aumento da colonização micorrízica no solo.

Com os mapas de variabilidade espacial, foi possível observar as concentrações de

micorrizas arbusculares e a influência de outros atributos sobre o seu aumento ou diminuição no solo do cerrado sul-matogrossense. O conhecimento dessas interações permitirá a utilização de espécies de fungos micorrízicos arbusculares mais eficientes para cada situação particular, dos diversos sistemas de produção agrícola praticados na região dos Cerrados.

REFERÊNCIAS

ABREU, G. M.; SCHIAVO, J. A.; ABREU, P. M.; BOBADILHA, G. S.; ROSSET, J. S. Crescimento inicial e absorção de fósforo e nitrogênio de *Enterolobium contortisiliquum* inoculada com fungos micorrízicos arbusculares. **Revista de Ciências Agrárias**, 2018.

Abbott, L.K. & Robson, A.D. 1991. Factors influencing the occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizas. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. Amsterdam, v.35, p.121-150.

BERUDE, M. C., Almeida, D. S., Riva, M. M., Cabanêz, P. A., Amaral, A. A. 2015. **Micorrizas e sua importância Agroecológica**. Enciclopédia Biosfera, 11(22): 132-146.

Bolan, N.S.A. 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. **Plant and Soil**, The Hague, v.134, p.189-207.

BRUNDRETT, M.; BEEGHER, N.; DELL, B.; GROOVE, T.; MALAJCZUK, N. **Working with mycorrhizas in forestry and agriculture**. ACIAR Monograph, Canberra, 1996

CAVALCANTE, U.M.T.; MAIA, L.C.; NOGUEIRA, R.J.M.C.; SANTOS, V.F. **Respostas fisiológicas em mudas de maracujazeiro amarelo** (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.) inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e submetidas a estresse hídrico. *Acta Botanica Brasilica*, v.15, n.3, p.379-390, 2001.

DERAM, A. et. al. Seasonal patterns of cadmium accumulation in *Arrhenatherum elatius* (Poaceae): influence of mycorrhizal and endophytic fungal colonization. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 40, p. 845-848, 2008.

GIOVANNETTI, M.; B. MOSSE. **An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular infection in roots**. *New Phytol.* 84: 489-500, 1980. HOFFMANN, L. V.; BARROSO, P. A.V. . Para Entender Micorrizas Arbusculares. 2006 (Documento).

Hu, J., Li, M., Liu, H., Zhao, Q., Lin, X., 2019. Intercropping with sweet corn (*Zea mays* L. var. *rugosa* Bonaf.) expands P acquisition channels of chili pepper (*Capsicum annuum* L.) via arbuscular mycorrhizal hyphal networks. **Journal of Soils and Sediments** 19 (4), 1632–1639.

Jansa, J., Forczek, S., Rozmoš, M., Püschel, D., Bukovská, P., Hršelová, H., 2019. **Arbuscular mycorrhiza and soil organic nitrogen: network of players and interactions**. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* [online] 6, 10. Disponível: <https://doi.org/10.1186/s40538-0190147-2>. Acesso: 9 out. 2019.

Jorhi, A. K., Oelmüller, R., Dua, M., Yadav, V., Kumar, M., Tuteja, N., Varma, A., Bonfante, P. Persson, B. L., Stroud, R. M., 2015. **Fungal association and utilization of phosphate by plants: success, limitations, and future prospects.** *Frontiers in Microbiology* [online] 6. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00984>

KOIDE, T.R; MOSSE, B. **A history of research on arbuscular mycorrhiza.** *Mycorrhiza*, v.14, p.145-163, 2004.

LAURINDO, L. K. ; SOUZA, T. A. F. ; SILVA, L. J. R. ; CASAL, T. B. ; KORMANN, S. ; PIRES, K. J. C. **Fungos micorrízicos arbusculares.** In: Tancredo Souza; Lídia Klestadt Laurindo. (Org.). Indicadores da qualidade do solo em sistemas agroflorestais e ecossistemas associados. 1ed.Curitiba: Curitiba: PPGEAN, 2020, v. 1, p. 07-23.

LIMA, R.L.F.A.; SALCEDO, I.H. e FRAGA, V.S. Propágulos de fungos micorrízicos arbusculares em solos deficientes em fósforo sob diferentes usos, da região semi-árida no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2007. vol. 31, n. 2, p. 257-268

OLSSON, P.A.; WILHELMSSON, P. The growth of external AM fungal mycelium in sand dunes and in experimental systems. **Plant and Soil**, v.226, p.161-169, 2000

RILLIG, M.C.; MUMMEY, D.L. **Mycorrhizas and soil structure.** *New Phytologist*, v.171, p.41-53, 2006.

SCHÜBLER, A.; SCHWARZOTT, D.; WALKER, C. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. **Mycological Research**, v.105, p.1413-1421, 2001

SELOSSE, M.A. et. al. Symbiotic microorganisms, a key for ecological success and protection of plants. **Comptes Rendus Biologies**, v. 327, p. 639-648, 2004.

SMITH, S.E.; READ, D.J. **Mycorrhizal Symbiosis.** 2nd ed. San Diego: Academic Press, 605p. 1997.

VERAS, J. S. da N. Estágios de regeneração da Caatinga e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares. 2018. Dissertação (Mestrado em Biologia de Fungos) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

ZANGARO, W., ROSTIROLA, L. V., DE SOUZA, P.B. et al. **Root colonization and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi in distinct successional stages from an Atlantic rainforest biome in southern Brazil.** *Mycorrhiza* 23, 221–233 (2013).

Submetido em: 29/04/2024

Aceito em: 30/07/2024

Publicado em: 31/07/2024

Avaliado pelo sistema *double blind review*