

Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares (glomeromycota) na savana de Alter do Chão, Pará, Brasil**Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (Glomeromycota) in the Alter do Chão Savanna, Pará, Brazil**Tatiane Santos Correia¹, Ludyanne da Silva Sousa², Adolfo Rubira Farias Fernandes², Marcos Diones Ferreira Santana², Túlio Silva Lara²

¹ Laboratório de Nutrição e Metabolismo de Plantas, Departamento de Biologia (DBI), Universidade Federal de Lavras (UFLA) – Lavras, MG, Brasil; ² Laboratório de Fisiologia Vegetal e Crescimento de Plantas (LaFV), Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas (ICTA), Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) – Santarém, PA, Brasil.

Correia, T. S.
statianecorreia@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7715-4946>

Sousa, L. da S.
ludyanne.sousa93@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-8187-8576>

Fernandes, A. R. F.
adolforubira7@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0001-0840-3918>

Santana, M. D. F.*
santana.mdf@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-0421-3420>

Lara, T. S.
tulio.lara@yahoo.com.br
<https://orcid.org/0000-0001-7474-1707>

*** Autor correspondente:**

Laboratório de Fisiologia Vegetal e Crescimento de Plantas, Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas, Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), campus Tapajós, Bloco 09, sala 05. Av. Vera Paz, s/n, Bairro Salé, 68040-255, Santarém, Pará, Brasil.

Resumo: O conhecimento sobre a diversidade dos Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA) na Amazônia paraense é limitado, sobretudo em ambientes de savana paraense, onde parece ser inexistente. Aqui, apresenta-se a primeira lista de táxons de FMA para a savana amazônica paraense, onde as famílias encontradas foram descritas morfológicamente e das quais são apresentados alguns aspectos ecológicos. O solo rizosférico foi coletado em outubro de 2020, em 10 pontos distintos da savana de Alter do Chão, em Santarém, Pará, a uma profundidade de 0 a 20 cm. Parte do solo foi direcionado para análise química e outra para extração dos esporos dos FMA. Os esporos foram quantificados e destinados a identificação, sendo os táxons determinados quanto a abundância relativa (AR), frequência isolada (FI) e Índice de Shannon (H'). Foi encontrada uma densidade de cerca de 17 esporos/g, sendo a diversidade distribuída entre quatro Ordens e 10 famílias. Gigasporales e Glomerales foram as ordens mais representativas e Glomeraceae e Racocetraceae as famílias mais frequentes (AR= 0,35 e H'= 0,17). Táxons mais raros, como Archaeosporaceae e Entrophosporaceae, também foram encontrados (FI= 0,08 e 0,06 respectivamente). O solo ácido, alto teor de alumínio e baixas concentrações de nutrientes, principalmente fósforo, podem ter favorecido a alta densidade de esporos e a alta diversidade dos FMA na savana amazônica paraense.

Palavras-chave: Amazônia paraense, Simbiose micorrízica, Taxonomia.

Abstract: Knowledge about the diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) in the Amazon region of Pará is limited, especially in the savanna environments of Pará, where data are nonexistent. Here, the first list of FMA taxa for the Amazonian savannah of Pará is presented, where the families found have been described morphologically, and some ecological aspects are presented. Rhizosphere soil was collected in October 2020 from ten distinct points within the Alter do Chão savanna, located in Santarém, Pará, at a depth of 0 to 20 cm. Part of the soil was allocated for chemical analysis, while another portion was used for spore extraction of AMF. The spores were quantified and prepared for identification, with taxa determined based on relative abundance (RA), isolated frequency (IF), and Shannon Index (H'). An average spore density of approximately 17 spores per gram was observed, with diversity distributed across four orders and ten families. Gigaspora and Glomerales were the most representative orders, while Glomeraceae and Racocetraceae were the most frequently encountered families (RA = 0.35 and H' = 0.17). Rarer taxa, such as Archaeosporaceae and Entrophosporaceae, were also detected (IF = 0.08 and 0.06, respectively). The acidic soil, high aluminum content, and low nutrient concentrations, particularly phosphorus, may have contributed to the high spore density and the diversity of AMF in the Amazonian savanna of Pará.

Keywords: Paraense Amazon, Mycorrhizal symbiosis, Taxonomy.

INTRODUÇÃO

Os Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA) formam associações simbióticas com mais de 80% das plantas vasculares da Terra (Ahammed & Hajiboland, 2024), auxiliando-as na absorção de nutrientes, como fósforo e o nitrogênio, aumentando a tolerância contra estresses bióticos e abióticos e melhorando os mecanismos de resistência às doenças (Chandrasekaran et al., 2019; Correia et al., 2022; Ingraffia et al., 2019; Ortas, 2012), e em troca, os FMA recebem parte do carbono fixado pelas plantas (Drigo et al., 2010). A partir dessas informações, entende-se que é possível utilizar os FMA nas culturas de plantas de interesse agrônomo e em espécies florestais, já que mudas inoculadas com FMA são ecologicamente mais competitivas e agronomicamente superiores em comparação a plantas sem FMA (Correia et al., 2022; Wang et al., 2019).

A classificação mais recente para organização dos FMA, filo Glomeromycota, tem sido desenvolvida por análises morfológicas a partir de seus esporos e moleculares, sendo atualmente reconhecidas cerca de 360 espécies (Spatafora et al., 2017; Wijayawardene et al., 2024). Nas regiões mais distantes dos grandes centros de pesquisa, existe uma menor incidência de pesquisadores sediados especialistas no estudo dos fungos, especialmente dos FMA, e consequentemente, tem-se menos conhecimento produzido sobre esses táxons. Do que se conhece, está essencialmente focado na aplicação dos FMA, de forma os estudos taxonômicos são raros e exclusivamente baseados na morfologia dos esporos (Freitas & Carrenho, 2013).

Na América do Sul, o Brasil é o país que mais produz conhecimento sobre os FMA, cerca de 44% dos trabalhos publicados, sendo que grande parte das pesquisas estão concentradas nos biomas da Mata Atlântica, Caatinga e Cerrado (Lugo & Pagano, 2019). Para a Amazônia, o conhecimento sobre esses fungos é reduzido, refletindo a ausência de especialistas e estudos envolvendo os FMA, resultando em lacunas taxonômicas e reduzindo as possibilidades de uso dessa parcela da biodiversidade (Jobim, 2015).

Em savanas amazônicas, áreas caracterizadas por uma fitofisionomia composta de plantas herbáceas, pequenos

arbustos, gramíneas, árvores espaçadas, geralmente quente e com pouca disponibilidade de água (Lima et al., 2018), o conhecimento sobre a diversidade de FMA é ainda mais restrito. Do pouco que se sabe, as espécies dessas áreas apresentam grande potencial para prospecção, como demonstrado por Correia et al. (2022) e Sousa et al. (2023) que utilizaram um mix de espécies de FMA oriundo da savana de Alter do Chão, região Oeste do Pará, como inoculante de micorriza e obtiveram resultados promissores para um bioestimulante de desenvolvimento vegetal. No entanto, considerando a pouca tradição nos estudos dos FMA e a escassa literatura de apoio à identificação, a elucidação taxonômica das espécies utilizadas não foi possível.

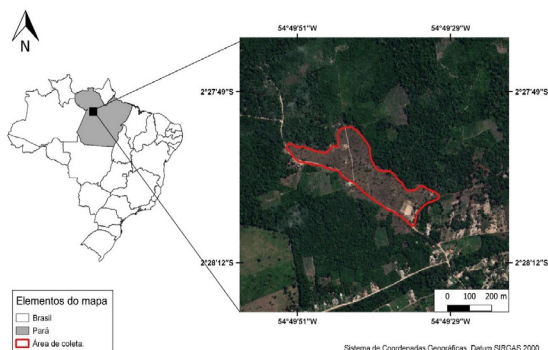
Sabendo do grande potencial dos FMA da savana amazônica e da ausência de informação sobre sua diversidade, tem-se em vista o desafio de ampliar os estudos taxonômicos e ecológicos sobre esses fungos, além de propor meios para sua conservação, incluindo a forma *ex situ*, principalmente diante da expansão da fronteira agrícola na região que avança para áreas ainda não estudadas, o que pode causar perda da biodiversidade (Fernandes et al., 2016). Dessa forma, apresenta-se a primeira lista de táxons de FMA que ocorrem na savana amazônica de Alter do Chão, Oeste do Pará, onde são descritas morfológicamente as famílias encontradas e alguns aspectos de sua ecologia são abordados.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O solo rizosférico foi coletado em área de savana, localizada na região de Alter do Chão, Oeste do estado do Pará (Fig. 1) em outubro de 2020. Nessa área, o solo predominante é do tipo latossolo, com clima predominante do tipo Am de monção tropical, com temperatura média anual de 25,9 °C, médias máximas de 26,9 °C e mínimas em torno de 25,1 °C, pluviosidade podendo chegar a 1991 mm, no período chuvoso entre janeiro e maio, quando ocorre o maior índice de precipitação (Álvares et al., 2013).

Figura 1
Área de coleta do solo rizosférico na savana amazônica de Alter do Chão, região Oeste do estado do Pará, Brasil



Coleta, extração e quantificação dos esporos dos FMA

Foram coletadas 15 amostras compostas de solo rizosférico de aproximadamente 500 g cada, distante 50 m uma da outra. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos separados, etiquetadas e acondicionadas em caixas térmicas até chegada no laboratório, onde uma parte foi destinada às análises químicas e físicas (Tab. 1).

Tabela 1
Propriedades químicas do solo rizosférico de uma área de savana amazônica da região Oeste do estado do Pará, Brasil

pH	K	Ca	Mg	Al	P
1: 2,5	cmolc dm ³				mg/dm ³
5,03	0,32	1,5	0,69	1,3	12,9

pH- potencial hidrogeniônico; K- potássio; Ca- cálcio; Mg-magnésio; Al- alumínio; P-fósforo.

A extração dos esporos de FMA se deu a partir de 100 g de cada amostra, sendo realizada de acordo com o método de peneiramento em via úmida de Gerdemann e Nicolson (1963), seguido de centrifugação com gradiente de sacarose a 50% (Jenkins, 1964). Após esse processo, os esporos foram transferidos para placas de Petri de 90 mm de diâmetro forradas com uma camada de papel absorvente quadriculado (1×1 cm²) e quantificados com auxílio de um microscópio estereoscópico.

Identificação dos FMA

Para identificação dos FMA, inicialmente os esporos foram separados em morfotipos e armazenados

separadamente em tubos do tipo Eppendorf de 2 mL de capacidade contendo 1 mL de água destilada. Devido à grande quantidade de esporos encontrados, apenas cinco pontos foram selecionados ao acaso para identificação dos FMA e de cada ponto, foram preparados entre lâmina e lamínula apenas 100 esporos, sendo 50 desses submetidos à reação com solução Álcool Polivinílico e Lactoglicerol (PVLG) e 50 submetidos à solução PVLG, acrescido do reagente de Melzer (Schenck & Pérez-Collins, 1990). Para facilitar a observação das características taxonômicas, foram acondicionados apenas 10 esporos por lâmina.

As lâminas foram armazenadas em temperatura ambiente por 48 horas para secagem e após, os esporos foram observados em microscópio óptico, fotografados e identificados com base na chave dicotômica de Goto (2009), além do auxílio do Banco Internacional de Glomeromycota (<https://www.i-beg.eu/>). As principais características observadas para a identificação foram a forma do esporo, coloração, reação a Melzer/PVLG, presença ou ausência de conteúdo germinativo, presença ou ausência de bulbo ou hifa de sustentação, forma de inserção da hifa no esporo, além do número de camadas.

Análise estatística

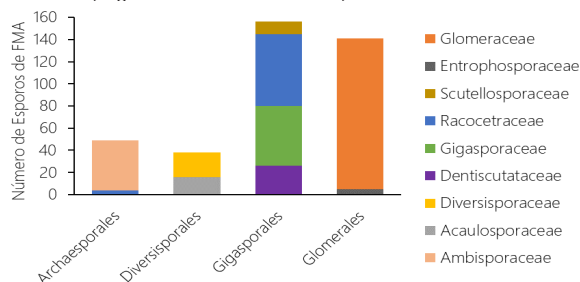
A população dos FMA foi avaliada de acordo com o número de esporos em 100 g de solo, além dos seguintes índices ecológicos: a) abundância relativa (AR) de ocorrência das espécies determinada através da porcentagem de indivíduos de cada espécie em relação ao total de espécies encontradas, b) frequência isolada (FI) determinada pela porcentagem de amostras em que as famílias ocorreram em relação ao número total de amostras, c) índice de diversidade de Shannon, calculado pela fórmula: $H' = -\sum p_i \log p_i$, $p_i = 1/N$, onde p_i corresponde ao número de esporos de determinada espécie e p é o número total de esporos e d) abundância relativa de cada espécie encontrada (p_i) pela fórmula: $p_i = n_i / N$, onde n_i é o número total de esporos de cada espécie de FMA e N é o número total de esporos.

RESULTADOS

Na área estudada de savana amazônica foram quantificados 16.769 esporos de FMA, o que representa uma densidade de cerca de 17 esporos/g de solo rizosférico. Dos esporos destinados a identificação ($n=500$), 23,2% ($n = 116$) não foram identificados devido à dificuldade de visualização das características descritivas dos esporos, provavelmente por conta da idade dos esporos ou dificuldade na preparação das lâminas. Do restante ($n = 384$), foram reconhecidas quatro ordens e 10 famílias.

Das ordens encontradas, Gigasporales foi a mais representativa com 40,6% ($n = 156$) dos esporos e a mais rica com quatro famílias, sendo Racocetraceae a mais abundante com 41,7% ($n = 65$), seguido de Gigasporaceae com 34,6% ($n = 54$), Dentiscutataceae com 16,7% ($n = 26$) e Scutellosporaceae com apenas 7% ($n = 11$). A ordem Glomerales foi a segunda mais abundante, com 36,7% ($n = 141$) dos esporos, e dentro dela, a família Glomeraceae foi mais frequente com 96,5% ($n = 136$) dos esporos, enquanto Entrophosporaceae foi a menos ocorrente, com apenas 3,5% ($n = 5$). A ordem Archaeosporales abrigou 12,8% ($n = 49$) dos esporos, e desse total, 91,8 % ($n = 45$) dos esporos pertenciam à família Ambisporaceae e apenas 8,2% ($n = 4$) a família Archaeosporaceae. A ordem Diversisporales foi a menos abundante com 9,9% ($n = 38$) dos esporos identificados com duas famílias, Diversisporaceae com 57,9% ($n = 22$) e Acaulosporaceae com 42,1% ($n = 16$) dos esporos do táxon (Fig. 2).

Figura 2
Número de esporos identificados e distribuídos por ordem e família dos Fungos Micorrízicos Arbusculares oriundos do solo rizosférico da savana de Alter do Chão, região Oeste do estado do Pará, Brasil



O índice de Shannon indicou a família Glomeraceae como a mais diversa (0,35), assim como apresentou a maior abundância relativa (0,35), seguido de Racocetraceae (IS =

0,17; AR = 0,17) e Gigasporaceae (IS = 0,14; AR = 0,14). A família Archaeosporaceae (IS = 0,01; AR = 0,01) e Entrophosporaceae (IS = 0,01; AR = 0,01) foram as menos diversas e com os menores valores de abundância relativa, sendo também as famílias com os menores índices de frequência isolada (FI = 0,08, 0,06 respectivamente) (Tab. 2).

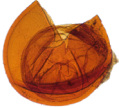
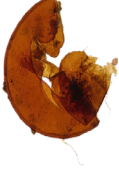
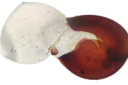
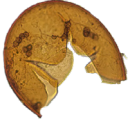
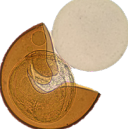
Tabela 2
Abundância relativa (AR), Índice de Shannon (IS) e Frequência Isolada (FI) das famílias de Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA) da savana amazônica de Alter do Chão, Oeste do estado do Pará, Brasil

Ordem	Família	AR	IS	FI
Archaeosporales	Archaeosporaceae	0,01	0,01	0,8
	Ambisporaceae	0,12	0,12	1
Diversisporales	Acaulosporaceae	0,04	0,04	1
	Diversisporaceae	0,06	0,06	1
Gigasporales	Dentiscutataceae	0,07	0,07	1
	Gigasporaceae	0,14	0,14	1
	Racocetraceae	0,17	0,17	1
	Scutellosporaceae	0,03	0,03	1
Glomerales	Entrophosporaceae	0,01	0,01	0,6
	Glomeraceae	0,35	0,35	1

Na tabela 3 são apresentadas as principais características morfológicas das famílias encontradas na savana amazônica paraense de Alter do Chão.

Tabela 3
Descrição morfológica para famílias de Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA) identificadas oriundas da savana amazônica de Alter do Chão, Oeste do estado do Pará, Brasil

Família	Descrição morfológica	Esporo
Glomeraceae	Esporo formado terminalmente numa hifa, sem componente germinativo e com perídio do esporocarpio.	
Racocetraceae	Esporo formado em uma célula bulbosa, constituído por exósporo e endósporo com apenas um componente germinativo; apresenta placa germinativa de média complexidade.	
Gigasporaceae	Não apresenta ornamentações na parede externa, pois sua origem parte da célula bulbosa e sem placa germinativa.	
Ambisporaceae	Camada mais externa quebradiça com parede resistente constituída por três camadas: exósporo, mesósporo e endósporo.	

Família	Descrição morfológica	Esporo
Dentiscutataceae	Esporo sem ornamentação na parede; com formação originada a partir da célula bulbosa; a placa germinativa pode variar entre baixa e alta complexidade.	
Diversisporaceae	Parede ornamentada constituída por duas camadas estruturais internas flexíveis.	
Acaulosporaceae	Constituído por exósporo e mesosporo, podendo ou não ter endósporo com ornamentação beaded.	
Scutellosporaceae	Formação inicial originada de uma célula bulbosa; as paredes são compostas por exósporo, mesosporo e endósporo; a placa germinativa pode variar entre baixa e alta complexidade.	
Entrophosporaceae	Esporo constituído pelas camadas exósporo e endósporo; parede interna mais espessa com presença de um plug no ponto de inserção da hifa.	
Archaeosporaceae	Parede simples com componente germinativo, apresentando três camadas externas e uma camada interna destacável.	

DISCUSSÃO

A Savana de Alter do Chão apresenta condições favoráveis para a prospecção de inúmeras espécies de FMA, já que foram encontradas quatro, das cinco ordens conhecidas (Spatafora et al., 2017) e dez famílias. Provavelmente alguns fatores podem contribuir com essa diversidade como a característica dos solos da região e os solos ácidos com alta concentração de alumínio, por exemplo, que podem favorecer a prevalência de táxons como Glomerales e Gigasporales (Bedini et al., 2010; Hassan et al., 2011; Long et al., 2010; Maia et al., 2010; Sánchez-Castro et al., 2017; Siqueira et al., 2010). Pontes et al. (2017) na região de savana de Planaltina, no Distrito Federal, e Azevedo et al. (2014) no estado do Acre, também observaram a prevalência de FMA dessas mesmas ordens em solos com características similares.

As propriedades químicas do solo são fatores relevantes que podem influenciar a diversidade e o número de esporos dos FMA, como demonstrado por Santos e Carrenho (2011) quando observaram que o teor de fósforo, por exemplo, estava negativamente relacionado com o número de esporos. No presente estudo, cuja área estudada apresenta baixo teor de fósforo (Sobral et al., 2015), foi encontrada alta densidade de esporos, 17 esporos por grama. No entanto, isso não parece ser uma regra já que Prates et al. (2021), no estado da Bahia, observaram que em solo com ausência de adubação, consequentemente com baixo teor de fósforo, a densidade foi de 0,86 esporos por grama de solo, enquanto Silva Jr e Cardoso (2006) estudando o solo de sistema agroflorestal na Amazônia Central, também com deficiência de fósforo, encontraram uma densidade entre 0,54 a 2,4 esporos por grama.

O grande número de esporos encontrados por este estudo pode ainda dever-se a espessura das raízes na rizosfera da savana de Alter do Chão, já que nessa região, a vegetação é composta por muitas gramíneas (Lima et al., 2018), sendo por isso, a presença de alta densidade de raízes finas, favorecendo a produção de esporos em função da maior área superficial de raiz e turnover das raízes (Medeiros & Ferreira, 2018; Zangaro et al., 2008).

Quanto a diversidade, Freitas e Carrenho (2013) relataram que *Acaulospora* Gerd. & Trappe e *Glomus* Tul. & C. Tul. foram os gêneros mais abundantes encontrados em área de floresta nativa na Amazônia, cerca de 44% dos táxons, sendo que Silva Jr. e Cardoso (2006) encontraram resultados similares para a Amazônia Central. No entanto, nossos resultados não corroboraram com essa premissa, já que Acaulosporaceae e Diversisporaceae, por exemplo, foram encontradas em baixa densidade, possivelmente devido à alta incidência de irradiação e consequentemente altas temperaturas e pH, diferindo do nicho ótimo para estas famílias (Davison et al., 2021; Vieira et al., 2020; Vista, 2016; Welemariam et al., 2018) trazendo a reflexão de que cada ambiente abriga uma diversidade específica ou restrita.

Os FMA da ordem Glomerales encontram-se amplamente distribuídos na maioria dos ecossistemas, desde florestais a desertos, em regiões tropicais, temperadas e árticas (Jobim, 2015). Assim como foi abundante na savana amazônica

que parece apresentar nicho ótimo considerando a elevada precipitação, baixo pH e teor de fósforo (Boff et al., 2014; Davison et al., 2021). Entrophosporaceae é composta por apenas duas espécies, ambas com frequência rara na Amazônia Central (Freitas & Carrenho, 2013), raridade observada para Archaeosporaceae com pouco conhecimento sobre elas (Nobre et al., 2018; Oliveira & Moreira, 2019).

Mesmo diante de pouco estudos, os FMA da região de savana amazônica de Alter do Chão apontam para grande potencial de uso no desenvolvimento vegetal (Correia et al., 2022; Santos et al., 2020, 2023; Santos et al., 2021; Santos Júnior et al., 2021; Sousa et al., 2023). Essa diversidade pode ser maior devido às condições propícias oferecidas pelo bioma Amazônico, em especial, as áreas de savana (Jobim, 2020; Jobim et al., 2018). Porém, a dificuldade de identificar as espécies, devido, entre outros fatores, na falta de tecnologia no interior da Amazônia pode dificultar o rompimento da fronteira do conhecimento. Outro aspecto de grande relevância é a conversão de ambientes naturais de savana em áreas agrícolas, que impactam negativamente no conhecimento da diversidade e suas interações (Fernandes et al., 2016; Pontes et al., 2017).

CONCLUSÃO

A savana amazônica de Alter do Chão possui grande densidade de esporos e alta diversidade, um indicativo de que suas características edafoclimáticas e vegetação contribuem para manter o ecossistema em funcionamento. Contudo, a raridade de alguns táxons e a falta de conhecimento sobre esses fungos, gerada em grande parte pela falta de tradição no estudo dos fungos em regiões distantes dos grandes centros de pesquisa, deixa um alerta sobre a preservação e conservação desses ambientes para assegurar a existência das espécies e possibilitar sua prospecção.

REFERÊNCIAS

- Ahammed, G. J., & Hajiboland, R. (2024). *Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Higher Plants: Fundamentals and Applications*. Singapore. Springer Nature Singapore.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. de M., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Azevedo, J. M. A., Assis, G. M. L., Saggin Junior, O. J., & Azevedo, H. S. F. S. (2014). Riqueza e frequência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares em genótipos de amendoim forrageiro no Acre, Norte do Brasil. *Acta Amazonica*, 44(2), 157-168. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672014000200001>
- Bedini, S., Turrini, A., Rigo, C., Argese, E., & Giovannetti, M. (2010). Molecular characterization and glomalin production of arbuscular mycorrhizal fungi colonizing a heavy metal polluted ash disposal island, downtown Venice. *Soil Biology And Biochemistry*, 42(5), 758-765. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.01.010>
- Boff, V. L., Mello, A., & Manesch, R. (2014). Fungos Micorrízicos Arbusculares em mudas de Paricá: Colonização, dependência e relações com o desenvolvimento das plantas. *Enciclopedia Biosfera*, 10(18), 1824-1831.
- Chandrasekaran, M., Chanratana, M., Kim, K., Seshadri, S., & Sa, T. (2019). Impact of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Photosynthesis, Water Status, and Gas Exchange of Plants Under Salt Stress—A Meta-Analysis. *Frontiers in Plant Science*, 10(457), 1-10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00457>
- Correia, T. S., Lara, T. S., Santos, J. A. dos, Sousa, L. da S., & Santana, M. D. F. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi promote physiological and biochemical advances in *handroanthus serratifolius* seedlings submitted to different water deficits. *Plants*, 11(20), 2731. <https://doi.org/10.3390/plants11202731>
- Davison, J., Moora, M., Semchenko, M., Adenan, S. B., Ahmed, T., Akhmetzhanova, A. A., Alatalo, J. M., Al-Quraishi, S., Andriyanova, E., & Anslan, S. (2021). Temperature and pH define the realised niche space of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 231(2), 763-776. <https://doi.org/10.1111/nph.17240>
- Drigo, B., Pijl, A. S., Duyts, H., Kielak, A. M., Gamper, H. A., Houtekamer, M. J., Boschker, H. T. S., Bodelier, P. L. E., Whiteley, A. S., van Veen, J. A., & Kowalchuk, G. A. (2010). Shifting carbon flow from roots into associated microbial communities in response to elevated atmospheric CO₂. *PNAS*, 107(24), 10938-10942. <https://doi.org/10.1073/pnas.0912421107>
- Fernandes, R. A., Ferreira, D. A., Saggin-Junior, O. J., Stürmer, S. L., Paulino, H. B., Siqueira, J. O., & Carneiro, M. A. C. (2016). Occurrence and species richness of mycorrhizal fungi in soil under different land use. *Canadian Journal of Soil Science*, 96(3), 271-280. <https://doi.org/10.1139/cjss-2015-0011>
- Freitas, R. de O., & Carrenho, R. (2013). *Guia Digital Fungos Micorrízicos Arbusculares - Reserva Florestal Adolpho Ducke e Adjacências*. Ppbio, Manaus.
- Gerdemann, J. W., & Nicolson, T. H. (1963). Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions Of The British Mycological Society*, 46(2), 235-244. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(63\)80079-0](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0)
- Goto, B. T. (2009). *Taxonomia de glomeromycota: revisão morfológica, chaves dicotômicas e descrição de novos táxons*. [Tese de Doutorado em Biologia de Fungos, Universidade Federal de Pernambuco, Recife].

- Hassan, S. E. D., Boon, E., St-Arnaud, M., & Hijri, M. (2011). Molecular biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in trace metal-polluted soils. *Molecular Ecology*, 20(1), 3469-3483. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2011.05142.x>
- Ingraffia, R., Amato, G., Frenda, A. S., & Giambalvo, D. (2019). Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi on nutrient uptake, N₂ fixation, N transfer, and growth in a wheat/faba bean intercropping system. *PLoS One*, 14(3), e0213672. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213672>
- Jenkins, W. R. (1964). A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter*, 48(9), 629.
- Jobim, K. (2015). *Fungos micorrízicos arbusculares (Glomeromycota) em diferentes níveis de profundidade em fragmentos florestais, Sete Lagoas, MG*. [Dissertação de Mestrado em Sistemática e Evolução, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal].
- Jobim, K. (2020). *Espécies esporocárpicas de fungos micorrízicos arbusculares (Glomeromycota): taxonomia, sistemática e evolução*. [Tese de Doutorado em Sistemática e Evolução, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal].
- Jobim, K., Vista, X. M., & Goto, B. T. (2018). Updates on the knowledge of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (Glomeromycotina) in the Atlantic Forest biome – an example of very high species richness in the Brazilian landscape. *Mycotaxon*, 133(1), 209-209. <https://doi.org/10.5248/133.209>
- Lima, N. E. D., Carvalho, A. A., Lima-Ribeiro, M. S., & Manfrin, M. H. (2018). Caracterização e história biogeográfica dos ecossistemas secos neotropicais. *Rodriguésia*, 69(4), 2209-2222. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201869445>
- Long, L. K., Yao, Q., Guo, J., Yang, R. H., Huang, Y. H., & Zhu, H. H. (2010). Molecular community analysis of arbuscular mycorrhizal fungi associated with five selected plant species from heavy metal polluted soils. *European Journal Of Soil Biology*, 46(5), 288-294. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2010.06.003>
- Lugo, M. A., & Pagano, M. C. (2019). Overview of the Mycorrhizal Fungi in South America, In: M. C. Pagano, & M. A. Lugo, *Mycorrhizal Fungi in South America*. Fungal Biology. Cham: Springer International Publishing.
- Maia, L. C., Silva, B. S., & Goto, B. T. (2010). Estrutura, ultraestrutura e germinação de glomerosporos. In: E. J. B. N. Cardoso, *Micorrizas, 30 anos de pesquisas no Brasil*. (30, pp. 75- 116). Lavras, UFLA.
- Medeiros, P. S. de, & Ferreira, L. V. (2018). Densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em uma cronossequência de florestas secundárias na Amazônia oriental. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi – Ciências Naturais*, 13(2), 247-259. <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v13i2.360>
- Nobre, C. P., Costa, M. G., Goto, B. T., & Gehring, C. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi associated with the babassu palm (*Attalea speciosa*) in the eastern periphery of Amazonia, Brazil. *Acta Amazonica*, 48(4), 321-329. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201800092>
- Oliveira, L. A., & Moreira, F. W. (2019). *Conhecimento, conservação e uso de FUNGOS: colonização das raízes de plantas da Amazônia por fungos micorrízicos arbusculares*. Manaus: Inpa.
- Ortas, I. (2012). The effect of mycorrhizal fungal inoculation on plant yield, nutrient uptake and inoculation effectiveness under long-term field conditions. *Field crops research*, 125, 35-48. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.08.005>
- Pontes, J. S. de, Oehl, F., Pereira, C. D., Machado, C. T. de T., Coyne, D., Silva, D. K. A. da, & Maia, L. C. (2017). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the Brazilian's Cerrado and in soybean under conservation and conventional tillage. *Applied Soil Ecology*, 117-118, 178-189. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.04.023>
- Prates, C. J. N., Viana, A. E. S., Bonfim, J. A., Santos, C. V., & Trindade, D. B. (2021). Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares na cultura da mandioca em função do preparo de solo e da adubação. *Agroecossistemas*, 13(1), 84-103. <http://dx.doi.org/10.18542/ragros.v13i1.8608>
- Sánchez-Castro, I., Gianinazzi-Pearson, V., Cleyet-Marel, J. C., Baudoin, E., & Van Tuinen, D. (2017). Glomeromycota communities survive extreme levels of metal toxicity in an orphan mining site. *Science Of The Total Environment*, 598, 121-128. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.084>
- Santos Júnior, I. A. dos, Correia, T. S., Souza, B. C. de O. Q. de, Santana, M. D. F., & Lara, T. S. (2021). Avaliação da Multiplicação dos Esporos de Fungos Micorrízicos Arbusculares na Savana de Alter do Chão, Pará. *Agroecossistemas*, 13(1), 46-62. <http://dx.doi.org/10.18542/ragros.v13i1.8283>
- Santos, C. S., Lara, T. S., Santana, M. D. F., & Santos Junior, I. A. (2021). Soil sterilization for arbuscular mycorrhizal fungi and the influence of remaining spores on maize plants growth. *Scientia Amazonia*, 10(3), 10-18.
- Santos, F. E. F., & Carrenho, R. (2011). Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em remanescente florestal impactado (Parque Cinquentenário – Maringá, Paraná, Brasil). *Acta Botanica Brasilica*, 25(2), 508-516. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062011000200026>
- Santos, J. A., Lara, T. S., Correia, T. S., Santos, C. S. dos, & Barros, L. de S. (2023). Physiological And nutritional advantages to maize plants inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. *Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro*, 1, 1-15.
- Santos, J. A., Lara, T. S., Correia, T. S., & Sousa, L. S. (2020). Influência da densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares nativos da Savana no desenvolvimento do milho (*Zea mays*). *Revista Brasileira de Ciências da Amazônia*, 9(4), 21-28. <https://doi.org/10.47209/2317-5729.v9.n.4.p.21-28>
- Schenck, N. C., & Perez-Collins, Y. (1990). *Manual for the identification of va mycorrhizal fungi*. Synergistic Publication.
- Silva Jr, J. P. da, & Cardoso, E. J. B. N. (2006). Micorriza arbuscular em cupuaçu e pupunha cultivados em sistema agroflorestal e em monocultivo na Amazônia Central. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(5), 819-825. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000500014>

- Siqueira, J. O., Souza, F. A. de, Cardoso, E. J. B. N., & Tsai, S. M. (2010). *Micorrizas: 30 anos de Pesquisa no Brasil*. Ufla.
- Sobral, L. F., Barretto, M. C. de V., Silva, A. J. de, & Anjos, J. L. dos. (2015). *Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo*. Embrapa Tabuleiros Costeiros.
- Sousa, L. S. da, Correia, T. S., Farias, F. S. dos, Santana, M. D. F., & Lara, T. S. (2023). Influence of arbuscular mycorrhizal fungi density on growth and metabolism of *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S.O. Grose seedlings. *Physiologia Plantarum*, 175(6), 1-14. <http://dx.doi.org/10.1111/ppl.14067>
- Spatofora, J. W., Aime, M. C., Grigoriev, I. V., Martin, F., Stajich, J. E., & Blackwell, M. (2017). The fungal tree of life: from molecular systematics to genome-scale phylogenies. *Microbiology Spectrum*, 5(5), 1-32. <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.funk-0053-2016>
- Vieira, L. C., Silva, D. K. A. da, Escobar, I. E. C., Silva, J. M. da, Moura, I. A. de, Oehl, F., & Silva, G. A. da. (2020). Changes in an Arbuscular Mycorrhizal Fungi Community Along an Environmental Gradient. *Plants*, 9(1), 52. <https://doi.org/10.3390/plants9010052>
- Vista, X. M. (2016). *Riqueza de fungos micorrízicos arbusculares em remanescente de Mata Atlântica de tabuleiro costeiro do Rio Grande do Norte*. [Dissertação de Mestrado em Biodiversidade, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal].
- Wang, J., Zhong, H., Zhu, L., Yuan, Y., Xu, L., Wang, G. G., Zhai, L., Yang, L., & Zhang, J. (2019). Arbuscular Mycorrhizal Fungi Effectively Enhances the Growth of *Gleditsia sinensis* Lam. Seedlings under Greenhouse Conditions. *Forests*, 10(7), 567. <https://doi.org/10.3390/f10070567>
- Welemariam, M., Kebede, F., Bedadi, B., & Birhane, E. (2018). Effect of community-based soil and water conservation practices on arbuscular mycorrhizal fungi types, spore densities, root colonization, and soil nutrients in the northern highlands of Ethiopia. *Chemical And Biological Technologies In Agriculture*, 5(1), 9. <https://doi.org/10.1186/s40538-018-0121-4>
- Wijayawardene, N. N., Hyde, K. D., Mikhailov, K. V., Péter, G., Aptroot, A., Pires-Zotarelli, C. L. A., Goto, B. T., Tokarev, Y. S., Haelewaters, D., Karunarathna, S. C., Kirk, P. M., Santiago, A. L. C. M de A., Saxena, R. K., Schoutteten, N., Wimalase-na, M. K., Aleoshin, V. V., Al-Hatmi, A. M. S., Ariyawansa, K. G. S. U., Assunção, A. R., ... Karpov, S. A. (2024). Classes and phyla of the kingdom Fungi. *Fungal Diversity*, 128(1), 1-165. <https://doi.org/10.1007/s13225-024-00540-z>
- Zangaro, W., Assis, R. L., Rostirola, L. V., Souza, P. B., Gonçalves, M. C., Andrade, G., & Nogueira, M. A. (2008). Changes in arbuscular mycorrhizal associations and fine root traits in sites under different plant successional phases in southern Brazil. *Mycorrhiza*, 19(1), 37-45. <https://doi.org/10.1007/s00572-008-0202-5>