

## Ocorrência de fungos micorrízicos em pau-rosa (*Aniba duckei kosterm*) e mogno (*Swietenia macrophylla king*) em diferentes épocas de coleta na região de Manaus

Occurrence of mycorrhizal fungi in rosewood (*Aniba duckei kosterm*) and mahogany (*Swietenia macrophylla king*) at different collection times in the Manaus region

Presencia de hongos micorrízicos en palo de rosa (*Aniba duckei kosterm*) y caoba (*Swietenia macrophylla king*) en diferentes épocas de recolección en la región de Manaus

Recebido: 08/03/2021 | Revisado: 14/03/2021 | Aceito: 30/03/2021 | Publicado: 10/04/2021

**Francisco Adilson dos Santos Hara**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3215-953X>

Universidade Federal do Amazonas, Brasil

E-mail: fhara@ufam.edu.br

**Antonio Carlos Santos Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8616-7754>

Universidade Federal do Amazonas, Brasil

E-mail: fhara@ufam.edu.br

**Francisco Wesen Moreira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8763-254X>

Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Brasil

E-mail: wesen@inpa.gov.br

**Jhony Vendruscolo**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3043-0581>

Universidade Federal do Amazonas, Brasil

E-mail: jhony@ufam.edu.br

**Luiz Carlos Costa de Souza**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4681-2114>

Universidade Federal do Amazonas, Brasil

E-mail: luiz.costa.15@gmail.com

**Luiz Antonio de Oliveira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2008-7292>

Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Brasil

E-mail: luizoli51@gmail.com

### Resumo

As associações micorrízicas são estratégias utilizadas pela maioria das plantas vasculares, com o intuito de aumentar a área de absorção de água e nutrientes. No entanto, o estabelecimento dessa associação é modelado pelos fatores ambientais, entre elas a precipitação pluviométrica. O objetivo desse estudo foi avaliar a relação entre precipitação pluviométrica e a colonização micorrízica em plantas de pau-rosa e mogno. Foram realizadas coletas de raízes e solos rizosféricos nos meses de agosto/2005, dezembro/2005 e março/2006. As variáveis analisadas foram o percentual de colonização micorrízica (%), a intensidade de colonização (%) e a densidade de esporos no solo sob o plantio. De maneira geral, a colonização micorrízica foi maior no sistema radicular do pau-rosa. Os esporos micorrízicos apresentaram variação sazonal marcante, com maior densidade registrada na rizosfera do pau-rosa no mês de março, e mogno no mês de dezembro. A colonização média das raízes por FMA foi influenciada pela disponibilidade hídrica, com maior taxa de colonização e de esporos no período de maior quantidade de chuvas. O mogno apresentou maiores concentrações de Ca, Mg e, menores concentrações de Mn nas folhas do que o pau-rosa. Ambas as espécies mostraram as mesmas sequências de concentração de macronutrientes nas folhas: Ca>K>Mg>P. A sequência de concentração de micronutrientes nas folhas no pau-rosa foi Fe>Mn>Zn e no mogno foi Fe>Zn>Mn. Houve correlação significativa positiva das colonizações radiculares por fungos micorrízico-arbusculares e teores de Ca e Mg nas folhas do pau-rosa no mês de dezembro e, negativa para os teores de Zn nas folhas do mogno nos meses de março e dezembro.

**Palavras-chave:** Nutrição de plantas; Associação micorrízica planta-fungo; Colonização micorrízica; Microbiologia do solo; Espécies florestais amazônicas.

### Abstract

Mycorrhizal associations are strategies used by most vascular plants, in order to increase the area of absorption of water and nutrients. However, the establishment of this association is modeled by environmental factors, including

rainfall. The aim of this study was to evaluate the relationship between rainfall and micorrizic colonization in rosewood and mahogany plants. Collections of roots and rhizospheric soils were carried out in August / 2005, December / 2005 and March / 2006. The variables analyzed were the percentage of mycorrhizal colonization (%), the intensity of colonization (%) and the density of spores in the soil under planting. In general, mycorrhizal colonization was greater in the root system of rosewood. Mycorrhizal spores showed a marked seasonal variation, with greater density recorded in the rhizosphere of the rosewood in the month of March, and mahogany in the month of December. The average colonization of roots by FMA was influenced by water availability, with a higher rate of colonization and spores in the period of greatest amount of rainfall. Mahogany showed higher concentrations of Ca, Mg and lower concentrations of Mn in the leaves than rosewood. Both species showed the same macronutrient concentration sequences in the leaves: Ca > K > Mg > P. The sequence of micronutrient concentration in the leaves on the rosewood was Fe > Mn > Zn and on the mahogany, it was Fe > Zn > Mn. There was a significant positive correlation between root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi and levels of Ca and Mg in the leaves of the rosewood in the month of December and, negative for the levels of Zn in the leaves of the mahogany in the months of March and December.

**Keywords:** Plant nutrition; Mycorrhizal plant-fungal association; Mycorrhizal colonization; Soil microbiology; Amazon forest species.

### Resumen

Las asociaciones de micorrizas son estrategias utilizadas por la mayoría de las plantas vasculares para incrementar el área de absorción de agua y nutrientes. Sin embargo, el establecimiento de esta asociación está modelado por factores ambientales, incluida la lluvia. El objetivo de este estudio fue evaluar la relación entre las lluvias y la colonización micorrízica en plantas de palo de rosa y caoba. Las recolecciones de raíces y suelos rizosféricos se realizaron en agosto de 2005, diciembre de 2005 y marzo de 2006. Las variables analizadas fueron el porcentaje de colonización micorrízica (%), la intensidad de la colonización (%) y la densidad de esporas en el suelo en siembra. En general, la colonización micorrízica fue mayor en el sistema radicular del palo de rosa. Las esporas micorrízicas mostraron una marcada variación estacional, registrándose mayor densidad en la rizosfera del palo de rosa en marzo y de la caoba en diciembre. La colonización promedio de raíces por FMA estuvo influenciada por la disponibilidad de agua, con mayor tasa de colonización y esporas en el período de mayor cantidad de lluvia. La caoba mostró mayores concentraciones de Ca, Mg y menores concentraciones de Mn en las hojas que el palo de rosa. Ambas especies mostraron las mismas secuencias de concentración de macronutrientes en las hojas: Ca > K > Mg > P. La secuencia de concentración de micronutrientes en las hojas del palo de rosa fue Fe > Mn > Zn y en la caoba fue Fe > Zn > Mn. Hubo una correlación positiva significativa entre la colonización de raíces por hongos micorrízico-arbusculares y los niveles de Ca y Mg en las hojas del palo de rosa en diciembre, y negativa para los niveles de Zn en las hojas de la caoba en los meses de marzo y diciembre.

**Palabras clave:** Nutrición vegetal; Asociación planta-hongos micorrízicos; Colonización micorrízica; Microbiología del suelo; Especies de la selva amazónica.

## 1. Introdução

Nos ecossistemas amazônicos, os microrganismos do solo possuem grande importância para a manutenção e ciclagem de nutrientes no solo (Fanin et al., 2015), pois trata-se de um bioma com solos naturalmente biodiversos onde predominam os latossolos e ultissolos de baixa fertilidade (Fracetto et al., 2012). Neste contexto, destaca-se os fungos micorrízicos, que auxiliam no estabelecimento das plantas nos ecossistemas. As associações micorrízicas permitem um melhor uso de reservas de fósforo solúvel, aumentando assim, a eficiência de fertilizantes aplicados no solo (Cardoso e Cuyper, 2006), possuem potencial antibacteriano, podendo proteger as plantas contra fitopatógeno (Santos et al., 2021) e promovem a tolerância a baixos níveis de água no solo (Bonacina et al., 2020).

De acordo com Cardoso e Kuyper (2006) os fungos micorrízicos podem ser os mais importantes e menos compreendidos quando se refere à aquisição de nutrientes e crescimento de plantas na agricultura. Eles levam a um aumento na produtividade do solo e, eventualmente, são benéficos para os agroecossistemas (Lin et al. 2012). Em ecossistemas tropicais, a limitação pelo fósforo no solo é comum devido ao alto grau de intemperização em que se encontram os solos, tornando-o pouco disponível para as plantas (Novais e Smith, 1999). A disponibilidade de certos nutrientes no solo, especialmente desse elemento, influencia fortemente a simbiose micorrízica (Hailemariam et al., 2017). Mas não é só quanto ao fósforo que as plantas são favorecidas pela associação com fungos micorrízicos arbusculares. Oliveira et al. (1999) observaram uma correlação entre a colonização radicular por FMAs e a concentração de Ca, Zn, Cu, S e N em oito espécies florestais da

Amazônia. Oliveira *et al.* (2003) também encontraram uma correlação entre a colonização radicular com FMAs e os teores de Ca, K e Zn em cinco cultivares de bananeira, assim como em outro estudo, Oliveira e Oliveira (2004) encontraram correlações entre os teores de Ca, Mg, P e Cu presentes na parte foliar do cupuaçuzeiro bem como as de Fe, Zn, Ca e Cu no guaranazeiro. Deve ser ressaltado que esses dois estudos foram feitos na região de Manaus, a mesma onde foi realizado o presente estudo.

Por outro lado, na região explorada pela Petrobras para a extração de gás natural e petróleo, no município de Coari, na bacia do rio Urucu, Moreira *et al.* (2019 a,b), essa simbiose FMA- plantas aparentemente não favorece a absorção de água e nutrientes pelas plantas, uma vez que há pouca ou ausência de hifas nas raízes, quando colonizadas pelos fungos micorrízicos presentes naqueles solos. Segundo esses autores, os fungos daquela região não produzem naturalmente, hifas em quantidade suficiente para que essa simbiose favoreça as plantas.

No Estado do Amazonas ocorre dois períodos distintos de distribuição das chuvas, as quais se concentram no período de dezembro a abril, com período de estiagem que vai de junho a setembro. Este fenômeno pode interferir no estabelecimento da associação micorrízica em espécies florestais (Oliveira, 2001; Oliveira e Oliveira, 2004), tendo em vista que a umidade do solo pode afetar a germinação dos esporos (Moreira, 2006). A umidade do solo próxima da capacidade de campo favorece o desenvolvimento da simbiose, e as alternâncias entre os períodos secos e chuvosos podem favorecer a esporulação dos FMA. No entanto, existem discrepâncias entre estudos quanto ao estabelecimento dos fungos micorrízicos em função da umidade do solo. Bonfim *et al.* (2010) afirmam que a restrição de disponibilidade hídrica nos meses de baixa precipitação induz nos microrganismos associados à planta, a ativação de mecanismos de adaptação, como o aumento da esporulação. Oliveira e Oliveira (2003) e Oliveira e Moreira (2019), citam que a micorrização ocorre principalmente em raízes finas e novas, que devem estar presentes no momento da coleta para que as colonizações por FMAs sejam observadas, situação que pode variar de acordo com a espécie vegetal e sua localização no sistema florestal.

O mogno (*Swietenia macrophylla* King) e o pau-rosa (*Aniba duckei* Kosterm) são espécies nativas da Amazônia (Lorenzi, 2003) de alto valor econômico. O mogno é uma espécie produtora de madeira com alto valor de mercado, enquanto o pau rosa produz um óleo muito explorado pela indústria de perfumaria. O cultivo dessas plantas envolve a utilização de práticas agrícolas adequadas para a obtenção de povoamentos florestais produtivos. O sucesso do estabelecimento dessas espécies depende da capacidade de suportarem as variações edafoclimáticas e, conseqüentemente, apresentar altos percentuais de sobrevivência no campo e menor necessidade de tratamentos culturais. Neste sentido, a associação com fungos micorrízicos é fundamental para o estabelecimento dessas espécies, pois pode auxiliar na nutrição mineral e absorção de água para o metabolismo das plantas nos períodos de menor precipitação. São considerados os fatores: a sazonalidade, os fatores edáficos, a dependência do hospedeiro, a idade das plantas hospedeiras, as habilidades de esporulação dos FMAs e os padrões de distribuição dos esporos de FMA nos solos (Li *et al.*, 2007).

Há diversas pesquisas realizadas com associações micorrízicas na Amazônia com culturas anuais (Miranda *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2009), bem como com espécies perenes (Oliveira, 2001; Oliveira e Oliveira, 2004; Moreira *et al.*, 2019 a,b). No entanto, são necessárias mais pesquisas para compreender como se estabelecem essas relações em espécies regionais, contribuindo assim para a pesquisa sobre microbiologia do solo na Amazônia.

O presente trabalho teve como objetivo, verificar a ocorrência de fungos micorrízicos em pau-rosa (*Aniba duckei* Kosterm) e mogno (*Swietenia macrophylla* King) plantados em duas propriedades rurais da Comunidade do Brasileirinho, no município de Manaus em três épocas distintas quanto à precipitação pluviométrica, e ainda verificar como essas associações contribuem para as características nutricionais das duas espécies.

## 2. Metodologia

### 2.1 Localização da área de estudo

O trabalho foi realizado na comunidade do Brasileirinho, limite com Zona Leste da cidade de Manaus – AM, com as bordas da floresta, numa área invadida da SUFRAMA, na Estrada do Puraquequara. As coordenadas geográficas da área são 3° 01' 20" Latitude e 59° 53' 45" Longitude, numa altitude de 92 metros acima do nível do mar. O clima é classificado com Af, de acordo com a classificação de Köppen. A umidade relativa média do ar é bastante elevada, igual ou superior a 80% (Ribeiro, 1976; Figueroa e Nobre, 1990). Os dados de precipitação pluviométrica cedidos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) do Ministério de Agricultura foram 57,9 mm em agosto/2005, 216,6 mm em dezembro/2005 e 409,9 mm em março/2006. A unidade de solo que predomina na região é o Latossolo Amarelo. Neste trabalho foram utilizadas metodologias quantitativas para aquisição dos dados de associação micorrízicas e do estado nutricional das folhas das espécies estudadas. A metodologia quantitativa possibilitou a coleta de dados numéricos por medições em laboratório, já a metodologia qualitativa permitiu a interpretação destes dados e a elaboração de opiniões sobre o fenômeno (Pereira, et al., 2018).

As plantas de pau-rosa (*Aniba duckei* Kosterm) foram plantadas em uma propriedade rural e o mogno (*Swietenia macrophylla*, King) em outra propriedade da comunidade do Brasileirinho no período de março a maio de 2001, pelo projeto “Enriquecimento de propriedades rurais com espécies vegetais de valores econômicos” do CPCA/INPA. As propriedades nas quais as espécies foram selecionadas sofreram derrubadas da mata, seguida de queima para a implantação dos sistemas agroflorestais. Foram realizadas roçagens quando necessário, e os plantios não receberam nenhum tipo de adubação.

### 2.2 Coletas de raízes e solo rizosférico

Em cada propriedade foram coletados raízes e solos rizosféricos de 20 plantas por espécie, selecionadas aleatoriamente dentro do plantio. Foram consideradas cada planta como repetição para análise estatística.

As coletas das raízes e solo rizosférico foram realizados de forma sistemática segundo a metodologia descrita em Oliveira et al. (1999). As amostras de raízes e solos rizosféricos foram coletadas nos meses de agosto e dezembro de 2005 e março de 2006, correspondendo aos períodos de estiagem, início e no meio do período chuvoso, respectivamente na cidade de Manaus. Após a coleta, as amostras foram identificadas e encaminhadas para o laboratório de microbiologia do solo e laboratório temático de solo.

Para a coleta de solos e raízes foi utilizada uma pá de jardinagem para escavação ao longo da raiz principal oriunda da base do tronco de um indivíduo arbóreo, até encontrar as raízes secundárias que apresentavam o diâmetro adequado para as análises da quantificação do nível de colonização micorrízica. Foram coletados cerca de 150g de raízes pequenas por planta com cerca de 2 mm de diâmetro e, cerca de 200 g de solo rizosférico para a avaliação dos esporos dos FMA.

### 2.3 Colonização micorrízica nas raízes das plantas e concentração de esporos no solo

Essas análises foram realizadas no Laboratório de Ecologia e Biotecnologia de Microrganismos da Amazônia (LEBMAM/INPA). Para isso, foram cortados 50 fragmentos de raízes por planta, de aproximadamente um centímetro de comprimento e de espessura inferior a 2 mm cada e colocados em tubos de ensaio, sendo um tubo para cada planta (repetição) e submetidos ao método de coloração segundo a metodologia de Kormanick et al. (1980). Adotou-se o método da lâmina para quantificar os níveis de colonização radicular, segundo a metodologia de Giovanetti e Mosse (1980) Os dados da presença de colonização radicular foram registrados na forma de percentagem.

As lâminas preparadas foram levadas para a visualização em lupas. No momento da avaliação foram considerados fragmentos positivos em relação à colonização, aqueles que apresentaram hifas, arbúsculos e/ou vesículas ou ainda a

conjugação dessas estruturas. Em relação às hifas foram consideradas positivas para fungos micorrízicos, aquelas que não apresentaram septos, que é característica dos fungos Zigomicetos, ou seja, fungos não patogênicos. Considerou-se para cada planta, 100% de colonização, quando se observou presença das estruturas nos 50 fragmentos.

Procedeu-se ainda, uma análise quantitativa dos esporos micorrízicos em 30 g de solo em cada época de amostragem, seguindo as metodologias de Gerdemann e Nicolson (1963). A unidade utilizada para esta variável foi número de esporos/ g de solo.

#### **2.4 Análises químicas dos solos e folhas**

As análises químicas dos solos e folhas foram realizadas no Laboratório Temático de Solos e Plantas do INPA. As amostras de solo foram secas ao ar e posteriormente, feitas as análises micorrízicas e químicas das mesmas, a partir de metodologias descritas em Gerdemann e Nicolson (1963) e Embrapa (1997) respectivamente. As amostras de solo foram analisadas para P (mg kg<sup>-1</sup>); K, Ca, Mg (cmolc kg<sup>-1</sup>); Al (cmolc kg<sup>-1</sup>); pH. Os elementos Ca e Mg foram extraídos com KCl 1 N e determinados por espectrofotometria de absorção atômica. O Al foi extraído com KCl 1 N e determinado por titulometria. Já a acidez potencial (Al<sup>3+</sup>) foi determinada com solução tamponada de acetato de cálcio 1 N pH 7.0 e o pH medido em água destilada (1:2,5).

Foram realizadas análises dos tecidos foliares seguindo as metodologias descritas em Embrapa (1988). As folhas foram secas em estufa a 65°C até peso constante (72 horas), sendo em seguida trituradas em moinho com 1 mm de malha, antes das determinações químicas.

Foram avaliados os nutrientes P, K, Ca, Mg, Zn, Fe e Mn por digestão úmida HNO<sub>3</sub> + HClO<sub>4</sub> (3:1) e medidos por espectrofotometria de absorção atômica.

#### **2.5 Análise estatística dos dados**

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x3, representando as espécies (pau-rosa e mogno) e épocas de coleta (Agosto/2005, Dezembro/2005 e Março/2006). Os tratamentos foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $0,01 \geq p \leq 0,05$ ). Para as características em que houve efeito isolado e interação dos tratamentos foi realizado o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) para análise dos contrastes das médias. Foram realizadas análises de regressão entre a colonização micorrízica e as características nutricionais das folhas das plantas nos três períodos de coleta.

### **3. Resultados e Discussão**

#### **3.1 Resultado da análise do solo**

Os solos das áreas em que as plantas amostradas estão estabelecidas são ácidos, com baixa ou média concentração de Ca e P, baixas concentrações de Mg e K e, baixa e alta concentração de alumínio trocável de acordo com Cochrane et al. (1985) (Tabela 1). O solo rizosférico do mogno mostrou maiores concentrações de Ca e P, mas também, maior concentração de Al do que o observado no solo rizosférico do pau-rosa. Os dados mostrados na Tabela 1 confirmam que os dois proprietários rurais não adubaram ou colocaram calagem nas áreas cultivadas com essas duas espécies madeireiras e que as pequenas diferenças entre eles são encontradas nos solos de terra firme regionais (Cochrane et al., 1985)

**Tabela 1.** Características químicas do solo das rizosferas das plantas de pau-rosa e mogno plantadas ao longo do ramal do brasileirinho, Manaus – AM. Média das três épocas da coleta.

	pH	Ca	Mg	Al	K	P
Solos rizosféricos	H <sub>2</sub> O	----- cmolc kg <sup>-1</sup> -----				mg kg <sup>-1</sup>
Pau-rosa	4,6 B	0,30 B	0,28 B	0,56 B	0,05 B	3,5 B
Mogno	4,5 B	0,38 M	0,20 B	1,15 A	0,09 B	6,5 M

A – Alto; B – Baixo; M - Médio (Cochrane et al., 1985). Fonte: Autores.

### 3.2 colonização por fungos micorrízicos arbusculares

Na Tabela 2 encontra-se os valores médios da colonização por fungos micorrízicos arbusculares (%) em plantas de pau-rosa e mogno em função das épocas com diferentes níveis de precipitação. O pau-rosa apresentou maior colonização micorrízica em relação ao mogno (Tabela 2). Outros trabalhos também observaram diferentes níveis de colonização em várias espécies florestais nativa da Amazônia. Moreira (2006), em seus estudos, registrou uma variação da colonização micorrízica de 0 a 46% com a eritrina (*Erythrina glauca* Willd), (46%), virola vermelha (*Virola theiodora* Warb), (24%), pau-de-balsa (*Ochroma lagopus* S.W) (19,8%), mututi (*Pterocarpus officinalis* Jack) (13.5%), sendo as mais densamente colonizadas. Oliveira et al. (1999) observaram o percentual de 30,9% no cumaru (*Dipteryx odorata*) e de 52,6% no marupá (*Simarouba amara* Aubl.). Oliveira (2019) também encontrou diferença entre a andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* K. Schum.) e sapota do solimões (*Quararibea cordata* H. & B.).

Ao se analisar isoladamente a colonização micorrízica, observa-se que a precipitação influenciou esta característica. Tanto para o pau-rosa como para o mogno, a colonização aumentou com o aumento da precipitação pluviométrica (Tabela 2). Esses resultados contradizem os resultados de Guitton (1996), mas confirma os de Oliveira e Oliveira (2005), Silva Jr. e Cardoso (2006) e Oliveira (2019), que observaram maiores taxas de colonização no período de maior disponibilidade hídrica. Moreira (2006) cita que o índice pluviométrico favorece a germinação dos esporos, e conseqüentemente uma maior taxa de colonização micorrízica. A maior precipitação também estimula a formação de novas raízes, favorecendo o estabelecimento e funcionamento da simbiose (Oliveira, 2001).

**Tabela 2.** Colonização por fungos micorrízicos arbusculares (%) em plantas de pau-rosa e mogno no Ramal do Brasileirinho, Manaus-AM em épocas com diferentes níveis de precipitação.

Época/Precipitação (P)	Espécies	
	Pau-rosa	Mogno
	%	
Ago - (57,9 mm)	0 cA	0 cA
Dez - (216,9 mm)	12,7 bA	14,1 bA
Mar - (409,9 mm)	74,1 aA	57,0 aB
Médias	28,93 A	23,7 B

\* As médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1 %. Fonte: Autores.

Embora neste trabalho as espécies não tenham apresentado colonização micorrízica nas raízes durante o período seco, convém ressaltar que outras espécies florestais podem estabelecer a simbiose neste período, como é o caso observado por Moreira (2006) para a eritrina (*Erythrina glauca* Willd.), pau-de-balsa (*Ochroma lagopus* S.W) e vermelhinho (*Senna silvestris*). Nesse estudo o autor encontrou índices de colonização por hifas superiores a 20%, sugerindo que na época seca as plantas têm dificuldades em obter nutrientes do solo, o que pode ser facilitado pela maior presença de hifas que vesículas. Na simbiose, as hifas servem para captar nutrientes e água do solo, enquanto as vesículas são estruturas de reservas do fungo.

Houve diferença significativa entre as duas espécies somente no período de maior disponibilidade hídrica (Tabela 2). Oliveira (2019) também detectou diferenças na taxa de colonização entre espécies perenes nos períodos de maior disponibilidade hídrica.

### 3.3 Densidade de esporos micorrízicos no solo rizosférico

Na tabela 3 está descrita a densidade de esporos de fungos micorrízicos nas rizosferas de plantas de pau-rosa e mogno em função da época com diferentes níveis de precipitação. O número de esporos na rizosfera das espécies coletadas variou significativamente entre as épocas de coleta ( $p < 0,05$ ) (Tabela 3). Não foi detectada diferença significativa entre as espécies. Durante o mês de agosto/2005, por motivos técnicos, não foi possível ser realizada a análise dos esporos das amostras de solo rizosférico. Sendo assim, a análise desta variável baseou-se nos meses de dezembro/2006 e março/2007. Não houve diferença significativa entre as espécies para a densidade de esporos no solo rizosférico das plantas (Tabela 3). No entanto, observou-se diferenças significativas entre as médias obtidas nos dois períodos de coleta.

**Tabela 3.** Densidade de esporos de fungos micorrízicos na rizosfera em raízes de plantas de pau-rosa e mogno plantadas ao longo do Ramal do Brasileirinho. Manaus-AM.

Épocas/ precipitação (mm)	Espécies	
	Pau-rosa	Mogno
	N. esporos/30 g solo	
Dez/05 - P (216,9 mm)	11 b	15 a
Mar/06 - P (409,9 mm)	16 a	8 b

\*As médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1 %. P – Precipitação. Fonte: Autores.

No solo rizosférico do pau-rosa, a densidade de esporos foi maior no mês de março, enquanto no do mogno ocorreu no mês de dezembro (Tabela 3). Maiores esporulações dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) ocorrem quando não há muitas raízes novas e finas que permitam o fungo se desenvolver em simbiose com a planta, sugerindo que a fisiologia de produção de novas raízes por essas duas espécies de plantas é diferente uma da outra. O aumento na densidade de esporos em meses de maiores precipitações também foi verificado por, Miranda (1981), Coelho et al. (1994), Guitton (1996) e Nobre et al. (2010), os quais demonstraram que para algumas espécies, a esporulação é maior no período de maior precipitação pluviométrica. Daniels e Trape (1980) afirmam que condições de maior umidade do solo favorece a esporulação micorrízica em algumas espécies vegetais.

Já em um estudo realizado com cafeeiros em sistemas agroflorestais por Bonfim et al. (2010), a maior densidade de esporos foi observada na estação seca. A restrição de disponibilidade hídrica nessa estação induziu os microrganismos associados à planta e a manifestação de mecanismos de adaptação, como a elevação da esporulação (Durazzini et al., 2016). Colozzi Filho e Cardoso (2000), estudando a dinâmica de FMAs em cafeeiro, verificaram que na época chuvosa, quando normalmente ocorre o maior crescimento vegetativo das culturas, a esporulação no solo foi menor; maior número de esporos foi verificado na época seca, após o florescimento do cafeeiro. Tal fato foi confirmado por Maia et al. (2009). Essas informações corroboram com as observadas em nosso estudo.

De acordo com Oliveira (2001), a variação temporal da densidade de esporos pode ser significativa ou não, dependendo da espécie e época de avaliação, fato esse constatado no presente trabalho. No entanto, alguns autores citam que o desenvolvimento das micorrizas é favorecido em condições de deficiência de água (Maia et al., 2009; Bonfim et al., 2010 e Caproni et al. (2007). Segundo Machio et al. (1992), os fungos micorrízicos adaptam-se a ambientes abióticos adversos (condições físicas, químicas e biológicas), dependendo da umidade para a sua multiplicação. Segundo Sigueira (1993), as alternâncias entre ciclos de umedecimentos dos solos são condições que estimulam a esporulação dos fungos micorrízicos.

Por outro lado, Gomes (2019) citada por Oliveira e Moreira (2019) mostrou que em SAF as espécies se comportaram diferentemente quanto à sazonalidade da colonização radicular por FMAs. O cacau mostrou as menores colonizações radiculares em março e dezembro de 2018 e, maiores nos meses de junho e setembro, enquanto o urucum e o araçá-boi mostraram as menores colonizações no mês de junho. Como as três espécies mostraram respostas diferentes à sazonalidade sob as mesmas condições edafoclimáticas, Oliveira e Moreira (2019) acreditam que na realidade, as colonizações radiculares por FMAs podem ser um indicativo da presença de raízes novas e finas nas épocas de coletas no campo, uma vez que esses fungos têm dificuldades de infectarem raízes grossas, velhas e suberizadas. Assim, quanto maior a presença de hifas nas raízes das plantas, maior é a produção de raízes finas e novas na época de coleta de campo, o que foi também haventado por Oliveira e Oliveira (2004) e Oliveira e Moreira (2019).

### 3.4 Análises da concentração de nutrientes nas folhas

Na tabela 4 estão descritas as concentrações de macronutrientes Ca, K, Mg e P em folhas de pau-rosa e mogno nas diferentes épocas do ano. Houve efeito significativo apenas para o cálcio e magnésio. Não houve efeito de época e nem da interação entre época e espécie em relação à concentração de macronutrientes nas folhas, mas houve diferença significativa entre as espécies. A concentração de cálcio e magnésio foram maiores nas folhas de mogno (Tabela 4). Não houve diferença significativa entre as espécies em relação à concentração de potássio e fósforo nas folhas. Oliveira (2019) também detectou diferença significativa entre espécies perenes para os teores de Ca e Mg. Segundo Oliveira *et al.* (1999), as diferenças entre as espécies quanto aos teores de nutrientes nas folhas sugerem que elas apresentam diferentes habilidades para absorver estes nutrientes do solo ou que apresentam variações nas eficiências de uso interno destes elementos. A demanda nutricional das duas espécies ocorreu de forma semelhante e da seguinte maneira: Ca>K>Mg>P (Tabela 4). Isso demonstra que as duas espécies podem competir pelos mesmos nutrientes caso sejam plantadas numa mesma área (OLIVEIRA *et al.*, 1999). Lima (2006), trabalhando com o pau-rosa, verificou que a ordem de acúmulo dos macronutrientes não variou nos diferentes períodos e em função da idade. No trabalho do Lima (2006), a sequência observada foi de N>K>Ca>Mg>P. Esses resultados mostram que as espécies florestais divergem nas demandas nutricionais, possivelmente em função de possuírem estratégias distintas de absorção de nutrientes do solo.

**Tabela 4.** Concentração de macronutrientes Ca, K, Mg e P em folhas de pau-rosa e mogno cultivados no Ramal do Brasileirinho, Manaus-AM.

Espécies	Ca				K				Mg				P			
	Ago	Dez	Mar	Médias	Ago	Dez	Mar	Médias	Ago	Dez	Mar	Médias	Ago	Dez	Mar	Médias
	$\text{g kg}^{-1}$												ppm			
Pau-rosa	7,1	6,8	7,1	7,0 b	5,3	4,7	4,0	4,7 a	1,7	1,9	1,7	1,7 b	0,6	0,7	0,5	0,6 a
Mogno	12,2	10,6	10,6	10,8a	5,2	4,8	4,7	5,1 a	2,2	2,5	2,3	2,3 a	0,9	1,0	1,1	1,0 a

\* Médias com a mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Autores.

Na Tabela 5 estão descritas as concentrações de micronutrientes Fe, Zn e Mn em folhas de pau-rosa e mogno nas diferentes épocas do ano. Foi verificada alguma influência da sazonalidade e das espécies quanto aos teores dos micronutrientes Fe, Zn e Mn (Tabela 5). Quanto ao Fe, houve efeito apenas das épocas de coletas no pau-rosa, não havendo diferença significativa entre as duas espécies estudadas. Para o pau-rosa, a maior concentração de Fe na parte aérea foi observada no período de maior precipitação (março), o que coincidiu com a maior taxa de infecção micorrízica (Tabela 2), sugerindo que a associação com esses fungos auxiliou na absorção desse micronutriente. Na parte aérea do mogno, o ferro não variou em função da disponibilidade hídrica (Tabela 5), não sendo possível correlacionar com a taxa de infecção micorrízica, que foi relacionada com a disponibilidade hídrica (Tabela 2). Os dados sobre a absorção de micronutrientes, principalmente o Fe, são inconsistentes, em função de que poucos estudos foram realizados para correlacionar micorrização com absorção de micronutrientes. Segundo Caris et al. (1998), a absorção de Fe na associação micorrízica depende de combinações planta-fungo, como também das condições químicas, físicas e biológicas do solo.

**Tabela 5.** Concentração de micronutrientes Fe, Zn e Mn em folhas de pau-rosa e mogno cultivados ao longo do Ramal do Brasileirinho, Manaus-Brasileirinho.

Espécies	Fe				Zn				Mn			
	Ago	Dez	Mar	Médias	Ago	Dez	Mar	Médias	Ago	Dez	Mar	Médias
	$\text{mg kg}^{-1}$											
Pau-rosa	79 b	87 b	237 a	135 A	10 b	19 a	17 a	15 A	20 b	28 a	25 ab	25 A
Mogno	155 a	158 a	186 a	166 A	4 b	18 a	16 a	13 A	4 b	14 a	7 ab	8, B

\* Médias com a mesma letra minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Autores.

Em relação ao Zn e ao Mn, seus teores nas folhas das duas espécies aumentaram com o aumento da disponibilidade hídrica (Tabela 5). Esses resultados também indicam uma possível influência da associação micorrízica na absorção desses dois micronutrientes, já que a variação desses elementos foi semelhante à variação da taxa de infecção (Tabela 2). Ao analisar as médias gerais, não houve diferença no teor de Zn entre as espécies (Tabela 5). Quanto ao Mn, houve maior concentração nas folhas do pau-rosa em relação ao mogno. Isso sugere uma maior exigência nutricional do pau-rosa pelo Mn em relação ao mogno. Em trabalho desenvolvido com milho e FMA, Faber et al. (1990) observaram que a micorriza pode melhorar a

absorção de Zn em solos naturais, que apresentam, normalmente, baixos teores deste elemento. Estes pesquisadores sugerem, ainda, que essa simbiose pode ser manejada de forma a melhorar a nutrição deste micronutriente pelo hospedeiro. Segundo Marschner e Dell (1994), as micorrizas podem contribuir com 25% das necessidades do Zn para as plantas.

Analisando as médias desses elementos nas folhas (Tabela 5), observa-se que a ordem de absorção foi  $Fe > Zn > Mn$ , para ambas as espécies. Esse resultado difere do resultado encontrado por Oliveira (2019) para a sapota-do-solimões, cupuaçu e andiroba, cuja sequência de absorção foi  $Fe > Mn > Zn$ , enquanto que Oliveira (2001) encontrou a sequência  $Mn > Fe > Zn > Cu$  no cupuaçuzeiro e no guaranazeiro.

Estudando os micronutrientes Fe, Zn e Mn no pau-rosa, Lima (2006), não observou diferença quanto à concentração desses elementos em função dos períodos de coleta. Essas diferenças, quanto aos teores nutricionais dentro das épocas, sugerem que as espécies apresentam diferentes mecanismos para absorção de nutrientes em solos de baixa fertilidade e ácidos e/ou variações nas eficiências de uso interno destes elementos.

### 3.5 Relação entre associações micorrízicas e os teores de nutrientes nas folhas

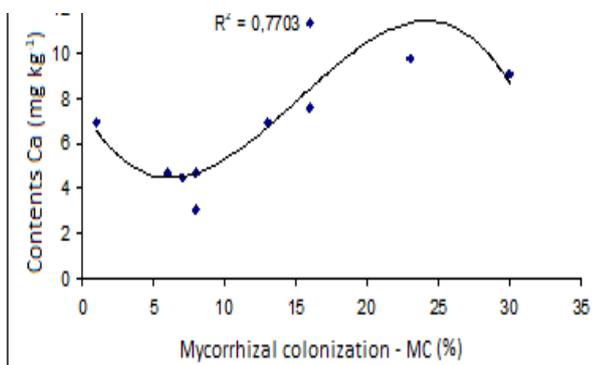
As Figuras 1, 2 descrevem a relação entre a taxa de colonização micorrízica e os teores de Ca e Mg nas folhas de pau-rosa, respectivamente no mês de dezembro. As Figuras 3 e 4 descrevem a relação entre a taxa de colonização micorrízica e os teores de zinco nas folhas do mogno, respectivamente no mês de março e dezembro. Foram ajustadas apenas quatro curvas de regressão entre a taxa de colonização e os nutrientes nas folhas das plantas. Neste sentido, foram detectadas relações significativas entre o Ca, Mg e Zn em relação às taxas de colonização micorrízica (Figuras 1, 2, 3 e 4).

Para o pau-rosa foram ajustados modelos cúbicos entre as taxas de colonização micorrízicas e os teores de Ca e Mg apenas para o mês de dezembro/2005. Nesse mês, observa-se um aumento na concentração linear desses nutrientes nas folhas quando as taxas de colonização por FMA variaram de 5 a 25 %. Acima ou abaixo dessas taxas, a correlação deixou de ser linear, comportando-se de forma cúbica (Figuras 1 e 2). Oliveira (2019) detectou correlações lineares entre a taxa de colonização micorrízica e teores de Ca e Mg nas folhas de cupuaçuzeiro. Oliveira e Oliveira (2004) também relatam correlações lineares entre o Ca e Mg foliares e a colonização micorrízica em cupuaçuzeiro. Em relação ao mogno, foram observadas relações significativas apenas para o Zn nos meses de dezembro e março (Figuras 3 e 4), que correspondem aos períodos de maior disponibilidade hídrica, sendo que para os dois meses foram ajustados modelos cúbicos da mesma forma que o observado no pau-rosa para o Ca e Mg (Figuras 1 e 2).

As correlações entre a colonização micorrízica e os teores de Ca e Mg nas folhas foram positivas (Figuras 1 e 2), enquanto os teores de Zn foram negativos (Figuras 3 e 4), o que pode ser explicado pelo fato da associação micorrízica favorecer a absorção do Ca e Mg, conforme observado por outros autores (Oliveira e Oliveira, 2004; Oliveira, 2019).

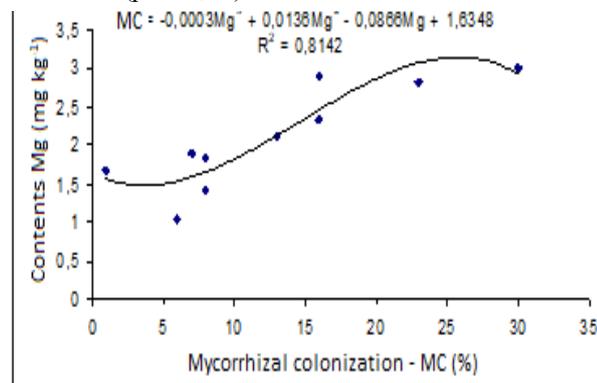
Por outro lado, a correlação negativa entre a colonização radicular por fungos micorrízicos arbusculares e os teores foliares de Zn observada no mogno nos meses de dezembro e março (Figuras 3 e 4) pode estar relacionada com o teor mais elevado de P no solo onde essa espécie foi cultivada, bem superior ao observado no solo cultivado pelo pau-rosa (Tabela 1). Segundo Watts-Williams et al. (2013, 2015), em solos com baixos teores de P, a absorção de Zn e outros micronutrientes por plantas micorrizadas pode ser favorecida, mas em solos com teores mais elevados de P, a absorção desses micronutrientes pode ser menor.

**Figura 1.** Relação entre as taxas de colonização por FMA e teores de Ca nas folhas de pau-rosa no mês de dezembro ( $p \leq 0,05$ ).



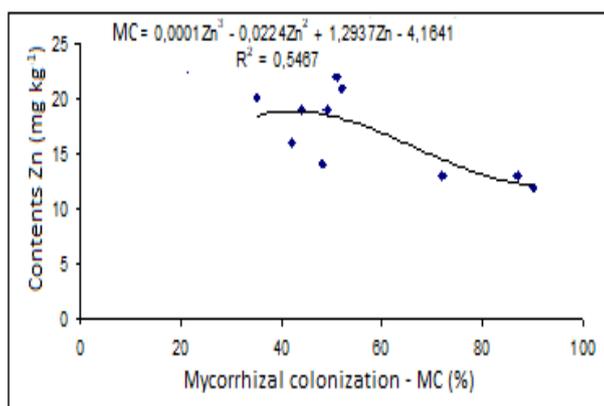
Fonte: Autores.

**Figura 2.** Relação entre as taxas de colonização por FMA e teores de Mg nas folhas de pau-rosa no mês de dezembro ( $p \leq 0,05$ ).



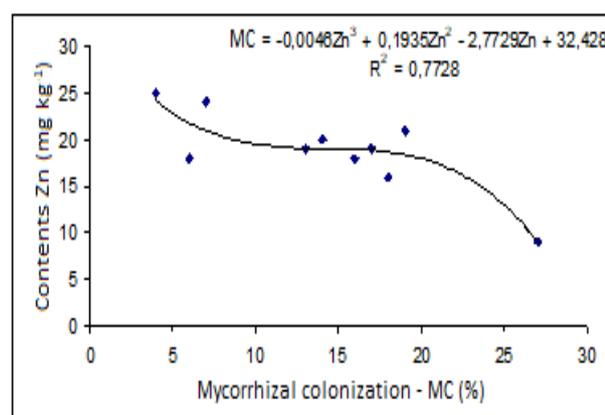
Fonte: Autores.

**Figura 3.** Relação entre as taxas de colonização por FMA e teores de Zn nas folhas de mogno no mês de março ( $p \leq 0,05$ ).



Fonte: Autores.

**Figura 4.** Relação entre as taxas de colonização por FMA e teores de Zn nas folhas de mogno no mês de dezembro ( $p \leq 0,01$ ).



Fonte: Autores.

#### 4. Conclusão

O pau-rosa apresentou maior taxa de colonização micorrízica em relação ao mogno, sendo os maiores índices registrados em março.

Os esporos micorrízicos apresentaram variação sazonal marcante, com maior densidade registrada na rizosfera do pau-rosa no mês de março, e mogno no mês de dezembro.

A colonização média das raízes por FMA foi influenciada pela disponibilidade hídrica, com maior taxa de colonização e de esporos no período de maior quantidade de chuvas

O mogno apresentou maiores concentrações de Ca, Mg e, menores concentrações de Mn nas folhas do que o pau-rosa.

Ambas as espécies mostraram as mesmas seqüências de concentração de macronutrientes nas folhas:  $Ca > K > Mg > P$ .

A seqüência de concentração de micronutrientes nas folhas no pau-rosa foi  $Fe > Mn > Zn$  e no mogno foi  $Fe > Zn > Mn$ .

Houve correlação significativa positiva das colonizações radiculares por fungos micorrízico-arbusculares e teores de Ca e Mg nas folhas do pau-rosa no mês de dezembro e, negativa para os teores de Zn nas folhas do mogno nos meses de dezembro e março.

Com base nos resultados apresentados sugere-se realizar um estudo da taxa de colonização micorrízicas com o pau-rosa e o mogno por um período de tempo mais longo e correlacionar ainda com os aspectos nutricionais dessas espécies.

## Agradecimentos

Ao CNPq pelo financiamento da pesquisa.

## Referências

- Bonacina, C., Cruz, R. M. S., Zaina, I. C., Alberton, O. & Souza, S. G. H. de. (2020) Fungos micorrízicos arbusculares na tolerância a seca: resposta no metabolismo antioxidante de *Ocimum basilicum* L. *Research, Society and Development*, 9(12): e32991211016. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i12.11016>.
- Bonfim, J. A., Matsumoto, S. N., Lima, J. M., César, F. R. C. F., & Santos, M. A. F. (2010) Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e aspectos fisiológicos em cafeeiros cultivados em sistema agroflorestal e a pleno sol. *Bragantia*, 69(1), 201-206. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000100025>.
- Caproni, A. L., Franco, A. A., Granha, J. D. O., & Souchie, E. L. (2007) Ocorrência de Fungos Micorrízicos Arbusculares em resíduo da mineração de bauxita revegetado com espécies arbóreas. *Acta botânica brasílica*, 21(1), 99-106. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062007000100009>.
- Cardoso, I. M., & Kuyper, T. W. (2006) Mycorrhizas and tropical soil fertility. *Agriculture, ecosystems & environment*, 116(1-2), 72-84. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.03.011>.
- Caris, C., Hördt, W., Hawkins, H. J., Römheld, V., & George, E. (1998) Studies of iron transport by arbuscular mycorrhizal hyphae from soil to peanut and sorghum plants. *Mycorrhiza*, 8(1), 35-39. <https://doi.org/10.1007/s005720050208>.
- Cochrane, T. T., Sánchez, L. G., Azevedo, L. G., Porras, J. A., & Garver, C. L. (1985). *Land in Tropical América. A teoria na América Tropical*. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), EMBRAPA-CPC.
- Colozzi Filho, A. & Cardoso, E. J. B. N. (2000) Detecção de fungos micorrízicos arbusculares em raízes de cafeeiro e de crotalária cultivada na entrelinha. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35(10), 2033-2042. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000001000015>.
- Daniels, B. A., & Trappe, J. W. (1980). Factors affecting spore germination of the VAM Fungus, *Glomus epigaeus*. *Mycologia*, 72(1), 456-471. <https://doi.org/10.1080/00275514.1980.12021207>.
- Durazzini, A. M. S., Teixeira, M. A., & Adami, A. A. V. (2016) Quantificação de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) em solo sob diferentes cultivos de cafeeiros. *Revista Agrogeoambiental*, 8(1), 83-91. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v8n42016923>.
- EMBRAPA (1979). *Manual de métodos de análise de solos*. 2 ed. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. EMBRAPA
- EMBRAPA (1988). *Análise foliar: Laboratório de Análises de Solos e Plantas*. Manaus-AM: Centro Nacional de Pesquisas de Seringueira e Dendê.
- EMBRAPA (1997). *Manual de métodos de análise de solos* Rio de Janeiro-RJ: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo/EMBRAPA
- Faber, B. A., Zasoski, R.J., Burau, R.G., & Uriu, K. (1990) Zinc uptake by corn as affected by vesicular-arbuscular mycorrhizae. *Plant and Soil*, 129(2), 121-130. <https://doi.org/10.1007/BF00032404>.
- Fanin, N., Hattenschwiler, S., Schimann, H., & Fromin, N. (2015). Interactive effects of C, N and P fertilization on soil microbial community structure and function in an Amazonian rain forest. *Functional Ecology*, 29(1), 140-150. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12329>.
- Figuerola, S. N., & Nobre, C. A. (1990). Precipitations distribution over Central and Western Tropical South America. *Climáise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática*, 5(1), 36-45.
- Fracetto, G. G., Azevedo, L. C., Fracetto, F. J., Andreote, F. D., Lambais, M. R., & Pfening, L. H. (2013). Impact of Amazon land use on the community of soil fungi. *Scientia Agricola*, 70(2), 59-67. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000200001>.
- Gerdemann, J. W., & Nicolson, T. H. (1963). Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decating. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 46(1), 235-244. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(63\)80079-0](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0).
- Giovanetti, M. L., & Mosse, B. (1992). An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytol.*, 84(1), 489-500. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x>.
- Guitton, T. L. (1996). *Micorrizas vesículo-arbusculares em oito espécies florestais da Amazônia: Efeitos de fatores sazonais e edáficos em plantios experimentais de terra firme na região de Manaus – AM*. Manaus: INPA (Dissertação de Mestrado).

- Hailemariam, M., Birhane, E., Gebresamuel, G., Gebrekiros, A., Desta, Y., Alemayehu, A. & Norgrove, L. (2017) Arbuscular mycorrhiza effects on *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. growth under varying soil water and phosphorus levels in Northern Ethiopia. *Agroforestry Systems*, 92(1), 485-498. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0146-x>
- Kormanick, P. P., Bryan, W. C., & Schultz, R. C. (1980). Procedures and equipment for satining large numbers of plant root samples for endomycorrhizal assay. *Can. J. Microbiol.*, 26(1), 536 -538. <https://doi.org/10.1139/m80-090>.
- Lima, R. B. S. (2006). *Características fisiológicas e conteúdo de óleos voláteis em folhas de pau-rosa (Aniba rosaedora Ducke) em diferentes períodos de precipitação, na Amazônia Central*. Manaus: INPA (Dissertação de mestrado)
- Lin, X., Feng, Y., Zhang, H., Chen, R., Wang, J., Zhang, J., & Chu, H. (2012). Long-term balanced fertilization decreases arbuscular mycorrhizal fungal diversity in an arable soil in North China revealed by 454 pyrosequencing. *Environmental Science & Technology*, 46(11), 5764-5771. <https://doi.org/10.1021/es3001695>.
- Lorenzi, H. (2003). *Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas*. Instituto Plantarum.
- Maia, S. M. F., Xavier, F. A. S., Oliveira, T. S., Mendonça, E. S., & Araújo Filho, J. A. (2006). Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semiárido cearense. *Revista Árvore*, 30(1), 837-848. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000500018>.
- Marschner, H., & Dell, B. (1994). Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*, 159(1), 89-102. <https://doi.org/10.1007/BF00000098>.
- Miranda, J. C. C. de, Vilela, L., & Miranda, L. N. de (2005). Dinâmica e contribuição da micorriza arbuscular em sistemas de produção com rotação de culturas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40(1), 1005-1014. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005001000009>.
- Miranda, J. C. C. (1981). Ocorrência de fungos endomicorrízicos nativos em um solo de Cerrado do Distrito Federal e sua influência na absorção de fósforo por *Brachiaria decumbens* Stapf. *Rev. bras. Ci. Solo*, 5(1), 102-105. <https://doi.org/000119/S0100-204X199900040001900022>.
- Malavolta, E. (1992). *ABC da análise de solos e folhas: amostragem, interpretação e sugestões de adubação*. Agronômica Ceres
- Moreira, F. W. (2006) *Características químicas dos solos e colonização radicular por fungos micorrízicos arbusculares em plantas introduzidas em clareiras da Província Petrolífera de Urucu, Amazonas*. Manaus: INPA/UFAM. Dissertação de Mestrado.
- Moreira, F. W., Oliveira, C. M., Maia, J. L. Z., & Oliveira, L. A. (2019a). Micorrizas arbusculares e composição mineral das folhas de espécies usadas na recuperação de clareiras da Província de Urucu, Amazonas. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, 10(5), p.47-55. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.005.0005>.
- Moreira, F. W., Oliveira, C. M., Maia, J. L. Z., & Oliveira, L. A. (2019b). Fungos micorrízicos arbusculares nas plantas e características químicas dos solos de clareiras da Província Petrolífera de Urucu, AM. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, 10(5), 56-68. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.005.0006>.
- Nobre, C. P., Júnior, A. S. D. L. F., Goto, B. T., Barbara, R. L. L., & Nogueira, M. D. C. (2010). Fungos micorrízicos arbusculares em sistema de aléias no Estado do Maranhão, Brasil. *Acta Amazonica*, 40(4), 641-646. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000400002>.
- Novais, R. F., & Smith, T. J. (1999). *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. UFV, DPS.
- Oliveira, A. N. (2001). *Fungos micorrízicos arbusculares e teores de nutrientes em plantas de cupuaçu e guaraná de um sistema agroflorestal na região de Manaus, AM*. Manaus: INPA/UFAM. (Dissertação de mestrado).
- Oliveira, A. N., Oliveira, L. A., & Figueiredo, A. (2003). Colonização micorrízica e concentração de nutrientes em três cultivares de bananeiras em um latossolo amarelo da Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 33(3), 345-352. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672003000300001>.
- Oliveira, A. N., & Oliveira, L. A. (2004). Associação micorrízica e teores de nutrientes nas folhas de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) e guaranazeiro (*Paullinia cupana*) de um sistema agroflorestal em Manaus, Amazonas. *Rev. bras. Ci. Solo*, 28(1), 1063-1068. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000600015>.
- Oliveira, A. N., & Oliveira, L. A. (2003). Sazonalidade, colonização radicular e esporulação de fungos micorrízicos arbusculares em plantas de cupuaçuzeiro e de pupunha na Amazônia Central. *Rev. Ciênc. Agrár.*, 40:145-154. <https://periodicos.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/2357/748>.
- Oliveira, A. N., & Oliveira, L. A. (2005) Seasonal dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi in plants of *Theobroma grandiflorum* Schumand *Paullinia cupana* Mart. of an agroforestry system in Central Amazonia, Amazonas state, Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology*, 36(3), 262-270. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822005000300011>.
- Oliveira, L. A. (1991). Ocupação racional da Amazônia: o caminho para preservar. In: Val, L. A., Figliuolo, R., Feldberg, E. (eds). *Bases Científicas para Estratégia de Preservação e Desenvolvimento d Amazônia: Fatos e Perspectivas*. Manaus: INPA.
- Oliveira, L. A., & Guitton, T. L., Moreira, F. W. (1999). Relações entre as colonizações por fungos micorrízicos arbusculares e teores de nutrientes foliares em oito espécies florestais da Amazônia. *Acta Amazonica*, 29(2), 183-193. <https://doi.org/10.1590/1809-43921999292193>.
- Oliveira, L. A., & Moreira, F. W. (2019) Colonização das raízes de plantas da Amazônia por fungos micorrízicos arbusculares. Oliveira, L. A., Jesus, M. A., Matsuura, A. B. J., Gasparotto, L., Oliveira, J. G. S., Lima-Neto, R. G., Rocha, L. C. (EDS.). *Conhecimento e uso de fungos*. MANAUS: INPA.
- Oliveira, L. H. (2019) *Fungos micorrízicos arbusculares e aspectos nutricionais de três espécies perenes de um SAF em Manaus-AM*. Manaus: INPA (Dissertação de mestrado).
- Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da Pesquisa Científica*. Santa Maria-RS: Universidade Federal de Santa Maria. [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic\\_Computacao\\_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1)

Ribeiro, M. N. G. (1976). Aspectos climáticos de Manaus. *Acta Amazonica*, 6(2), 229-233. <https://doi.org/10.1590/1809-43921976062229>.

Santos, E. L. Dos ., Muniz, B. C. ., Barbosa, B. G. V. ., Morais , M. M. C. ., Silva, F. . A. Da & Silva, F. S. B. da (2021) A inoculação com FMA é alternativa para potencializar a atividade antibacteriana in vitro de extratos de *Libidibia ferrea*?. *Research, Society and Development*, 10(1):e10010111435. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11435>.

Silva Jr., J. P., & 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(1), 819-825. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000500014>.

Silva, G., Siqueira, J. O., & Stürmer, S. L. (2009). Eficiência de fungos micorrízicos arbusculares isolados de solos sob diferentes sistemas de uso na região do Alto Solimões na Amazônia. *Acta Amazônica*, 39(1), 477-488. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672009000300001>.

Siqueira, J. O., & Franco A. A. (1988). *Biotecnologia do solo: Fundamentos e Perspectivas*. Ciências Agrárias no Trópicos Brasileiros. Lavras: MEC – Ministério da Educação, ABEAS, ESAL, FEPE.

Watts-Williams, S. J., Patti, A. F. & Cavagnaro, T. R. (2013). Arbuscular mycorrhizas are beneficial under both deficient and toxic soil zinc conditions. *Plant and Soil*, 371(1), 299–312. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1670-8>.

Watts-Williams, S. J., Smith, F. A., McLaughlin, M. J., Patti, A. F., & Cavagnaro, T. R. (2015). How important is the mycorrhizal pathway for plant Zn uptake? *Plant and Soil*, 390(1), 157–166. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2374-4>.