









Influências dos Sistemas Agroflorestais e monocultivo de palma de óleo (*Elaeis guineensis*) na atividade dos fungos micorrízicos arbusculares na Amazônia

Influence of Agroforestry Systems and oil palm (*Elaeis guineensis*) monoculture on the activity of arbuscular mycorrhizal fungi in the Amazon

Rodrigo da Silva Maia ^{1*}, Gabriele Carolina Nunes Miranda ², Adler Glenda Gaia De Almeida ³,
Taynara Cristina de Sousa Silva ⁴, Rayane Caroline Pinto Pinto ⁵, Steel Silva Vasconcelos ⁶

¹Doutor em Ciências Ambientais, Instituto Federal do Pará, Tucuruí, Pará, Brasil. rodrigo.maia@ifpa.edu.br; rodrigomaia@hotmail.com. ²Graduanda em Ciências Biológicas, Instituto Federal do Pará, Tucuruí, Pará, Brasil. gabrielecarolina18@gmail.com. ³Graduanda em Ciências Biológicas, Instituto Federal do Pará, Tucuruí, Pará, Brasil. glendapaes20@gmail.com. ⁴Graduanda em Ciências Biológicas, Instituto Federal do Pará, Tucuruí, Pará, Brasil. taynaracristina.bio@gmail.com. ⁵Pós-graduanda em Docência para educação profissional, Instituto Federal do Pará, Tucuruí, Pará, Brasil. rayanebio2017@gmail.com. ⁶Doutor em recursos e conservação florestais, Embrapa Amazônia Oriental, Belém, Pará, Brasil. steel.vasconcelos@embrapa.br.

ARTIGO

Recebido: 11/05/2022
Aprovado: 28/12/2022

Palavras-chave:

Manejo do solo
Serviços ambientais
Agricultura alternativa

RESUMO

Na Amazônia o sistema convencional de cultivo da palma de óleo (*Elaeis guineensis*) está modificando a paisagem através do aumento do desmatamento, perda da biodiversidade e aumento do desgaste do solo. Um sistema alternativo de cultivo baseado na inserção de palma de óleo em Sistemas Agroflorestais (SAFs) foi proposto no município de Tomé-Açu (Pará, Brasil) a fim de avaliar o impacto desse sistema na qualidade do solo em comparação ao cultivo convencional (monocultivo). O objetivo deste estudo foi avaliar os impactos dois tipos de SAFs diferentes (com alta e baixa diversidade de espécies vegetais) sobre a porcentagem de colonização micorrízica (PCM) na palma de óleo e a densidade de esporos no solo em relação ao cultivo convencional. Foi avaliada a PCM em raízes finas (diâmetro ≤ 2 mm) e coletada amostras de solo (0-10 cm). A colonização micorrízica no cultivo de palma de óleo inserido nos SAFs foi maior em relação ao monocultivo, por outro lado a densidade de esporos foi mais elevada no sistema convencional. O manejo do solo baseado em Sistemas Agroflorestais com alta ou baixa diversidade de espécies vegetais podem contribuir para a colonização micorrízica na palma de óleo na Amazônia.

ABSTRACT

In the Amazon, the conventional oil palm system (*Elaeis guineensis*) is changing the landscape through increased deforestation, loss of biodiversity and increased soil erosion. An alternative cropping system based on oil palm insertion in Agroforestry Systems (AS) was proposed in the city of Tomé-Açu (state of Pará, Brazil) in order to evaluate the impact of this system on soil quality compared to conventional cultivation (monoculture). The objective of this study was to evaluate the impacts of two types of different AS (with high and low plant diversity) on the percentage of mycorrhizal colonization (PMC) on the oil palm and the spore density in the soil in relation to the conventional crop. The PMC was evaluated in fine roots (diameter ≤ 2 mm) and soil samples (0-10 cm) were collected. Mycorrhizal colonization in oil palm cultivation inserted in AS was higher in relation to monoculture, on the other hand spore density was higher in the conventional system. Soil management based on agroforestry systems with high or low diversity of plant species may contribute to mycorrhizal colonization in the oil palm of the Amazon.

Key words:

Soil management
Environmental services
Alternative agriculture

INTRODUÇÃO

A palma de óleo (*Elaeis guineensis*) tem sido uma das principais *commodities* usadas no mundo, apresentando os maiores rendimentos econômicos por hectare entre as plantas oleaginosas (CORLEY; TINKER, 2016), configurando como a terceira maior fonte de óleo para a indústria alimentícia,

também usada em grande escala na indústria farmacêutica, de cosméticos e na produção de biodiesel (CORLEY; TINKER, 2016; CARTER et al., 2007). Por isso as áreas de cultivo de palma de óleo (dendê) têm aumentado nas últimas décadas. No continente asiático a elevada expansão desse cultivo causou aumento do desmatamento e perda da biodiversidade, além de

mudança na configuração territorial, econômica e social (CARTER et al., 2007).

Esses problemas causados na Ásia são motivos de preocupação também na região Amazônica, onde ocorre a plena expansão da monocultura de palma de óleo devido às vantagens econômicas e a rápida adaptação da planta ao clima e ao solo da região (VIEGAS; MULLER, 2000). No estado do Pará, a partir da década de 1950, quando o governo do estado e a iniciativa privada introduziram a cultura do dendê, as paisagens rurais dos municípios localizados principalmente no nordeste paraense, começaram a ser marcadas por extensas monoculturas de dendê (NAHUM; SANTOS, 2016).

De acordo com Nahum e Santos (2016) muitos agricultores familiares do nordeste paraense, que antes plantavam para sua subsistência, deixaram de cultivar seus produtos (pimenta, mandioca, feijão) para viver exclusivamente da cultura da palma de óleo, o que deixa a economia familiar dependente de um único produto, afetando, portanto, as relações de trabalho no campo e a segurança alimentar. Além disso problemas ambientais podem ocorrer como poluição de rios e do solo através do uso de agrotóxicos, aumento do desmatamento e ameaça à conservação da biodiversidade (MAZOYER; ROUDART, 2010).

O cultivo sustentável da palma de óleo é possível de ser realizado de acordo com uma associação composta por diferentes setores (produtores de palma de óleo, comerciantes, investidores, ONGs ambientais e sociais) chamada Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO), sugere que práticas mais sustentáveis de produção da palma de óleo devem levar em consideração um manejo do solo que conserve os recursos naturais e a biodiversidade.

Nesse contexto, os fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs) são componentes chave da sustentabilidade solo-planta nos ecossistemas, devido aos serviços ambientais que prestam como o aumento na aquisição de água e nutrientes para as plantas, especialmente os nutrientes de baixa mobilidade no solo como o fósforo, além da melhoria na ciclagem de nutrientes (SMITH; READ, 2008). Para aumentar de maneira sustentável a eficiência do uso de nutrientes em regiões tropicais é fundamental tentar reproduzir o funcionamento dos ecossistemas naturais, o que torna questionáveis os sistemas de produção baseados em monocultivo (AL-KAISI; LOWERY, 2017).

Por isso o uso adequado da variedade de plantas a fim de manter a fertilidade do solo e aumentar a eficiência do uso de nutrientes, água e luz é apontado como imprescindível para o sucesso da agricultura tropical (ALTIERI, 2004). Essas características fazem parte dos Sistemas Agroflorestais (SAFs), que são sistemas de cultivo alternativo ao sistema convencional de produção baseado na monocultura e no uso excessivo de fertilizantes químicos e agrotóxicos (AL-KAISI; LOWERY, 2017). Sabe-se que o manejo do solo apresentado nos SAFs contribui para melhorar a atividade biológica, podendo também favorecer o papel das micorrizas nesses agroecossistemas (SIQUEIRA et al., 2010).

As características biológicas das palmas de óleo, como a ausência de pelos radiculares sugerem que essa palmeira se beneficia da colonização micorrízica (PHOSRI, 2010), existindo, portanto, fortes evidências de que a palma de óleo

por apresentar um desenvolvimento limitado do sistema radicular, possa ser funcionalmente dependente das micorrizas arbusculares para a absorção de nutrientes no solo (CORLEY; TINKER, 2016).

Diante dos problemas ambientais, sociais e econômicos que o cultivo da palma de óleo vem causando para as comunidades do nordeste paraense (NAHUM; SANTOS, 2016) e visando a adoção de uma estratégia de manejo mais sustentável para esse cultivo, foi criado no ano de 2008 o Projeto Dendê: “Sistemas agroflorestais na agricultura familiar”, desenvolvido no município de Tomé-Açu, nordeste do estado do Pará. O projeto abrange dois tipos diferentes de SAFs consorciados com palma de óleo, sendo que a diferença entre os SAFs está apenas na composição da diversidade de espécies vegetais e todos apresentam manejo orgânico em seus cultivos.

O objetivo deste estudo foi avaliar a colonização micorrízica arbuscular na palma de óleo (*Elaeis guineensis*) cultivada em dois tipos de Sistemas Agroflorestais e em um sistema convencional (monocultivo) e verificar os impactos dos tratamentos na densidade de esporos nesses ambientes.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado em dois tipos de Sistemas Agroflorestais (SAFs) consorciados com palma de óleo (*Elaeis guineensis*), na área experimental da Unidade Demonstrativa II, do Projeto Dendê: “Sistemas agroflorestais na agricultura familiar” localizado no município de Tomé-Açu (2° 40’ 54’’ S e 48° 16’ 11’’ W), região do nordeste paraense. O solo da região é classificado como Latossolo Amarelo argiloso (BAENA; FALESI, 1999). O clima da área de estudo é do tipo Am3 de acordo com o sistema de classificação de Köppen, com temperatura média anual do ar de 26,2 °C e precipitação anual de 2400 mm (PACHECO; BASTOS, 2008).

Os Sistemas Agroflorestais foram ocupados anteriormente por uma floresta secundária de aproximadamente 12 anos. O preparo da área ocorreu em 2007, nos meses de setembro e outubro, por meio da técnica de corte e trituração da vegetação, que resulta na deposição da vegetação triturada sobre o solo, formando uma cobertura morta (*mulch*). Os SAFs foram implementados em 2008, com 11 linhas duplas contendo palma de óleo, seguindo a forma de um triângulo equilátero, em cada linha dupla existem 18 plantas de palma de óleo e entre essas linhas são cultivadas as espécies vegetais que compõem os SAFs.

Na área experimental existem dois tipos de SAFs, onde cada sistema apresenta área de 2 ha e também diferenças na composição das espécies vegetais consorciadas com a palma de óleo, por isso foram classificados nesse estudo como: Sistema Adubadeira e Sistema Biodiverso. O Sistema Adubadeira caracteriza-se por apresentar espécies vegetais com função principal de produzir biomassa para o solo, como as leguminosas capazes de estabelecerem simbiose com bactérias fixadoras de N, enquanto que no Sistema Biodiverso as espécies vegetais são plantas frutíferas, oleaginosas, madeireiras, além de espécies com função de produzir biomassa para o solo (Tabela 1).

Tabela 1. Espécies vegetais consorciadas com palma de óleo no Sistema Adubadeira (Adu) e Biodiverso (Bio), no município de Tomé-Açu (PA).

Nome Científico	Família	Método de Propagação	Propágulos/ha	Espaçamento (m)	Tratamento	
					Adu	Bio
<i>Cajanus cajan</i>	Fabaceae	Sementes	50 Kg	0,25x1,50	X	X
<i>Calophyllum brasiliensis</i>	Calophyllaceae	Mudas	30	13x22,5		X
<i>Canavalia ensiformis</i>	Fabaceae	Sementes	80 Kg	0,30x0,30	X	X
<i>Crotalaria juncea</i>	Fabaceae	Sementes	5 Kg	0,25x0,25	X	X
<i>Euterpe oleracea</i>	Arecaceae	Mudas	125	6,0x6,0		X
<i>Gliricidia sepium</i>	Fabaceae	Estacas	280	3,0x12		X
<i>Gliricidia sepium</i>	Fabaceae	Estacas	540	2,0 (entre estacas)	X	
<i>Inga edulis</i>	Fabaceae	Mudas e Sementes	515	3,0x3,5x6,0		X
<i>Inga edulis</i>	Fabaceae	Sementes	540	3x5x17,5	X	
<i>Manihot esculenta</i>	Euphorbiaceae	Estacas	600	1,0x1,0x3,0		X
<i>Mucuna pruriens</i>	Fabaceae	Sementes	20 Kg	0,5x1,0	X	X
<i>Musa spp.</i>	Musaceae	Rizoma	595	3,0x3,0		X
<i>Oenocarpus bacaba</i>	Arecaceae	Mudas	85	4,5x22,5		X
<i>Sclerolobium paniculatum</i>	Fabaceae	Mudas e Sementes	28	14,0x22,5		X
<i>Tabebuia spp.</i>	Bignoniaceae	Mudas	28	14,0x22,5		X
<i>Theobroma cacao</i>	Malvaceae	Mudas	300	3,0x3,5		X
<i>Tithonia diversifolia</i>	Heliantheae	Estacas	331	2,0 (entres estacas)	X	X

A adubação do solo nos SAFs foi realizada de maneira orgânica a partir da adição de farinha de osso, torta de mamona, sulfato de potássio (obedecendo as condições permitidas pela resolução nº 64 de 18 de dezembro de 2008 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), fosfato natural, moinho de carvão, composto orgânico e cachos de palma de óleo secos. Além disso, periodicamente ocorreu a adição de fitomassa oriunda do manejo da poda da palma de óleo e de outras espécies presentes nos SAFs e aplicação de calagem no solo (1.3 Mg ha⁻¹ de cal).

O sistema convencional de palma de óleo, chamado nesse estudo de monocultivo, foi anteriormente uma floresta secundária de aproximadamente 13 anos, formada após repetidos ciclos de queima e pousio. O monocultivo foi implementado em 2006 com plantio de mudas em cova, no qual foi aplicado 800 g de superfosfato triplo (SFT) e em 2007 foi realizada a seguinte adubação: 200 g de ureia, 100 g de cloreto de potássio, 100 g de sulfato de magnésio, 13 g de bórax e 8 g de micronutrientes de cobertura na coroa da planta no início e no final do período chuvoso.

Nos quatro anos seguintes foram realizadas no monocultivo duas adubações por ano aplicando-se ureia, SFT, cloreto de potássio, sulfato de magnésio, borax e micronutrientes (Zincop 101). Atualmente a adubação é mecanizada, 3 a 4 vezes ao ano, na coroa da palma (raio de 2,4 metros) sendo utilizado 1 kg da formulação 12-2-20 de NPK. As folhas da palma de óleo também são podadas após cada colheita e são depositadas sobre o solo entre as linhas duplas.

Descrição do experimento

Nos sistemas agroflorestais Adubadeira e Biodiverso foram implementadas aleatoriamente 4 parcelas (30 m x 30 m), que seguem um padrão de disposição onde todas as parcelas incluem uma linha dupla de palma de óleo, separadas no centro pelo carreador, ao lado da linha dupla estão distribuídas as pilhas de folhas oriunda da poda da palma de óleo e próximo às pilhas estão as linhas de plantio das espécies vegetais que compõem os SAFs. No monocultivo de palma de óleo que está localizado próximo aos SAFs e apresenta a mesma idade (10 anos) da palma de óleo cultivada nos SAFs, foram estabelecidas aleatoriamente 4 parcelas (30 m x 30 m) que seguem um padrão de disposição onde cada parcela inclui uma linha dupla de palma de óleo separada no centro pelo carreador e ao lado da linha dupla estão distribuídas a pilha da poda das árvores de palma de óleo.

Coleta do solo e raízes de palma de óleo

Em setembro de 2017 foram coletadas com auxílio de um trado de 5 cm de diâmetro amostras de solo e raízes finas (diâmetro ≤ 2 mm) a 0-10 cm de profundidade nos tratamentos de SAFs Adubadeira e Biodiverso e no monocultivo. Nos SAFs foram coletados em cada parcela 6 amostras de solo compostas por 5 subamostras. Distribuídas da seguinte forma: (1) sob a projeção da copa das plantas de palma de óleo (aproximadamente 0,6 m), (2) entre as plantas de palma de óleo (aproximadamente 2 m), (3) na pilha de folhas da poda, (4) no carreador, (5) entre as linhas de plantio e (6) entre as plantas dos SAFs. As raízes finas (diâmetro ≤ 2 mm) foram coletadas em apenas dois pontos: (1) sob a projeção da copa das plantas

de palma de óleo (aproximadamente 0,6 m) e (2) entre as plantas de palma de óleo (aproximadamente 2 m).

No monocultivo foram coletados em cada parcela 4 amostras de solo compostas por 5 subamostras. Distribuídas da seguinte forma: (1) sob a projeção da copa das plantas de palma de óleo (aproximadamente 0,6 m), (2) entre as plantas de palma de óleo (aproximadamente 2 m), (3) na pilha de folhas da poda e (4) no carreador. As raízes finas (diâmetro ≤ 2 mm) foram coletadas em apenas dois pontos: (1) sob a projeção da copa das plantas de palma de óleo (aproximadamente 0,6 m) e (2) entre as plantas de palma de óleo (aproximadamente 2 m).

As amostras de solo foram colocadas em sacos plásticos identificados e transportadas até o Laboratório de Análise de Sistemas Sustentáveis (LASS) da Embrapa Amazônia Oriental, onde foram determinadas as propriedades físico-químicas (umidade, pH, P total, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , K^{+} , Fe, Zn, Mn, C org, N total e CTC) e a densidade de esporos de FMAs. No laboratório, o material foi peneirado a 2 mm, a fim de separar as raízes do solo e posteriormente as raízes finas (principalmente as raízes terciárias e quaternárias da palma de óleo) foram cuidadosamente identificadas de acordo com as características morfológicas das raízes de palma de óleo (*Elaeis guineensis*) descritas em trabalhos especializados (CORLEY; TINKER, 2016; JOURDAN, 2000; JOURDAN; REY, 1997), depois de selecionadas foi pesado aproximadamente 1 g de raiz para serem lavadas com água e conservadas em solução de 50% de etanol até o processamento de clareamento e coloração.

Colonização Micorrízica e densidade de esporos

A extração dos esporos (em amostras de 50 g de solo seco em ambiente natural) foi realizada com a técnica de peneiramento úmido (GERDEMANN; NICOLSON, 1963), seguida de centrifugação em água e em sacarose a 40% (JENKINS, 1964). Para a contagem do número de esporos foi usado um microscópio estereoscópico (4x). Apenas os esporos viáveis foram contados, isto é, aqueles que apresentaram suas estruturas preservadas. Para a avaliação da Percentagem de Colonização Micorrízica (PCM), as raízes foram submetidas a um processo de clareamento e coloração de acordo com Phillips e Hayman (1970). Foi analisado ao todo 100 pedaços de 1 cm de raízes finas escolhidos aleatoriamente por amostra em microscópio óptico (20x) e a avaliação da PCM foi realizada de acordo com o método da ampliação das interseções proposto por McGonigle et al. (1990). Adotou-se as interseções para quaisquer estruturas fúngicas (hifas, arbuscúlos, vesículas e esporos) presentes nas raízes.

Análise das propriedades químicas do solo

A determinação de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , pH, P total, K^{+} , Fe, Zn, Mn, C orgânico, N total e a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) foi conforme a metodologia proposta pela Embrapa (2017), com os seguintes procedimentos: Ca^{+2} , Mg^{+2} e Al^{+3} foram extraídos por KCl e determinados por absorção atômica (Ca^{+2} e Mg^{+2}) e por titulação (Al^{+3}). Os teores de P, K^{+} , Fe, Zn e Mn foram analisados a partir da extração com Mehlich e determinados por absorção atômica (K^{+} , Fe, Zn e Mn) e o P por colorimetria. A CTC foi determinada pela soma do total de bases trocáveis e alumínio.

Análise estatística

Os resultados foram testados quanto à normalidade e foi usada análise de variância (ANOVA) para verificar o efeito dos tratamentos SAFs e monocultivo sobre a densidade de esporos e a PCM na palma de óleo. As médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância. As análises foram realizadas no programa estatístico Bioestat 5.3.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propriedades químicas do solo

Nas variáveis químicas do solo, observou-se que entre os sistemas de cultivo avaliados não ocorreram diferenças significativas na maioria das características (Tabela 2), com exceção de duas variáveis, no qual notou-se maior presença de Fe no SAF biodiverso e maior presença de C orgânico no SAF adubadeira (Tabela 2). As diferenças das características químicas do solo foram mais significativas entre os SAFs e o monocultivo, onde observou-se maiores teores de Ca, Mg e N nos SAFs, além do pH e CTC; apenas os teores de K e Fe foram maiores no monocultivo em relação aos SAFs (Tabela 2).

A aplicação de calagem no solo dos tratamentos SAFs adubadeira e biodiverso provavelmente foi a causa do aumento do pH em relação ao monocultivo, o que também pode ter colaborado para aumentar a disponibilidade de Ca e Mg e reduzido o Al nesses tratamentos. A concentração elevada de Fe em todos os tratamentos está de acordo com as características dos solos da Amazônia que normalmente apresentam elevada concentração de Fe (SOMBROEK, 1984).

O maior teor de N no solo dos Sistemas Agroflorestais em relação ao monocultivo pode ser explicado pela presença de várias espécies de plantas da família Fabaceae nessas áreas (Tabela 1), desempenhando a sua função em aumentar a fixação de N no solo a partir da associação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio, além de produzir mais biomassa para o solo o que também pode ter sido responsável pela maior concentração de carbono nesses sistemas, conforme foi avaliado por Ramos et al. (2017) e Santiago et al. (2013) na mesma área experimental deste estudo.

Tabela 2. Características químicas do solo nos Sistema Adubadeira (Adu) e Biodiverso (Bio) e monocultura de palma de óleo, no município de Tomé-Açu (PA)

Tratamento	U	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	K	Fe	Mn	Zn	C	P	N
	%	H ₂ O	cmol _c .dm ⁻³				mg.dm ⁻³			g.kg ⁻¹				
SAF Adubadeira	8,86a	6,06a	5,02a	2,03a	0,00a	6,06a	10,08a	52,00b	93,46c	20,17a	1,82a	17,17a	0,32ab	1,67a
SAF Biodiverso	8,60a	6,00a	5,25a	2,08a	0,00a	6,00a	10,07a	49,33b	121,96b	21,83a	1,73ab	13,11ab	0,33a	1,64a
Monocultivo	7,11b	5,50b	3,66b	0,63b	0,10a	5,60a	6,86b	78,25a	161,75a	25,19a	1,63b	11,34b	0,31b	1,43b

U = Umidade do solo, CTC = Capacidade de Troca Catiônica. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

As espécies de plantas da família Fabaceae, portanto, apresentam um papel de “facilitadora” nos SAFs consorciados com palma de óleo, principalmente pela deposição de biomassa vegetal oriunda da poda das árvores que caracteriza como uma importante fonte de nitrogênio para o solo em sistemas que utilizam esse tipo de adubação orgânica (ATANGANA et al., 2014). Principalmente pela presença de algumas espécies de plantas na área de estudo como a *Gliricidia sepium* que garantem um rápido suprimento de nitrogênio no SAF, uma vez que apresentam um tempo de meia vida de 15 dias para a liberação do nitrogênio (GAMA-RODRIGUES et al., 2006).

Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs)

A Porcentagem de Colonização Micorrízica (PCM) foi maior no cultivo de palma de óleo inserido nos SAFs em relação ao monocultivo. Os tratamentos nos SAFs apresentaram a PCM com a média geral acima de 40%, enquanto que no monocultivo a média foi abaixo de 20% (Figura 1).

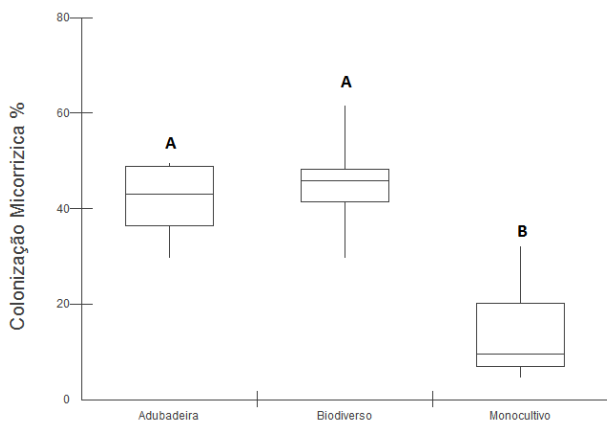


Figura 1. Porcentagem de colonização micorrízica nos tratamentos: SAF Adubadeira, SAF Biodiverso e monocultivo. Dados são médias \pm desvio padrão, $n=8$. A diferença significativa foi avaliada pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Sabe-se que os sistemas agrícolas intensivos caracterizados principalmente pelo uso excessivo de fertilizantes, agrotóxicos, revolvimento do solo e cultivo de apenas uma espécie de planta, práticas comuns na monocultura da palma de óleo, estão entre os principais fatores que impactam negativamente a colonização micorrízica (CARVALHO et al., 2010; SIQUEIRA et al., 2007).

Isso porque esse tipo de manejo impacta negativamente na conexão entre a rede de micélio extra radicular no solo, ocasionando a diminuição da atividade biológica dos FMAs no sistema solo-planta conforme foi demonstrado por vários estudos anteriores (EVANS; MILLER, 1990; JASPER et al., 1989; SCHENK et al., 1982).

O tipo de sistema de cultivo, isto é, agrofloresta ou monocultura podem influenciar nos serviços ecológicos das micorrizas arbusculares (RAKSHIT et al., 2017). Ao avaliar o efeito do monocultivo e do sistema agroflorestal sob o comprimento extra radicular do micélio (CEM) dos FMAs no solo em uma área tropical na Indonésia, Boddington e Dodd (2000) mostraram que o CEM foi maior significativamente no Sistema Agroflorestal em comparação ao monocultivo. O aumento da biomassa da raiz no solo proporcionado pelos

SAFs, possivelmente elevou a taxa de comprimento extra radicular do micélio no solo, além de ter aumentado a abundância e diversidade dos esporos.

Esses fatores podem resultar em maior colonização micorrízica e eficiência simbiótica nos cultivos associados aos SAFs. As hifas extra radiculares são consideradas o principal propágulo para a colonização micorrízica, principalmente em solos com cultivo reduzido e onde existem uma variedade de plantas hospedeiras (KABIR, 2005). A rede de hifas (micélio) extra radiculares são componentes complexos e dinâmicos da simbiose que interligam as raízes das plantas no solo aumentando o fluxo de transferência de nutrientes entre elas, no entanto, são bastante sensíveis a distúrbios no solo e ao manejo intensivo de cultivo e mais favoráveis de se estabelecerem em manejos sustentáveis baseados na agricultura orgânica e sistemas Agroflorestais (LEAKE et al., 2004; SIMARD; DURALL, 2004).

Por isso este estudo sugere que a variedade de espécies vegetais que compõe os SAFs nos tratamentos adubadeira e biodiverso, juntamente com o manejo orgânico do solo nesses sistemas foram responsáveis pelo aumento da colonização micorrízica no cultivo de palma de óleo, confirmando, portanto, a hipótese de que o manejo baseado no Sistema Agroflorestal favorece a colonização micorrízica na palma de óleo em relação ao monocultivo. Embora o presente estudo não tenha avaliado diretamente a rede de hifas extra radicular no solo desses tratamentos, mas os SAFs na área de estudo apresentaram maior estoque de raízes finas (diâmetro ≤ 2 mm) em relação ao monocultivo (COSTA, 2017), que é uma característica fundamental para a ampliação da rede de hifas no solo (LEAKE et al., 2004), desse modo, podendo influenciar no aumento da PCM na palma de óleo inserida nesses sistemas.

Assim a inserção de espécies agroflorestais, especialmente leguminosas, nos tratamentos dos SAFs com palma de óleo podem ter contribuído para o aumento do micélio extra radicular, ampliando também o número de propágulos de FMAs. Um estudo realizado no vale do semi-árido de Tehuacán-Cuicatlán no México mostrou que espécies da família *Fabaceae* podem servir como estratégias para aumentar a colonização micorrízica no solo funcionando como uma espécie de “ilha de recursos”, fornecendo não apenas nutrientes como também propágulos de FMAs e com isso diversas plantas associadas a essas espécies podem se beneficiar do maior número de propágulos de FMAs proporcionado pelas leguminosas (RICALDE; DHILLION, 2003). Em relação a PCM das raízes coletadas na base da palma de óleo, não houve diferença significativa entre os dois tipos de SAFs, exceto no monocultivo (Figura 2A). O SAF Biodiverso apresentou maior PCM nas raízes localizadas entre plantas de palma de óleo (Figura 2B). Apesar do SAF Biodiverso apresentar maior variedade de espécies de plantas comparado ao SAF Adubadeira o que pode ser positivo para o desenvolvimento das micorrizas no solo em virtude do aumento do número de hospedeiros, não se pode afirmar que esse foi o fator mais importante que contribuiu para a maior PCM nas raízes localizadas entre plantas de palma de óleo, uma vez que as espécies de plantas exibem diferentes suscetibilidades à colonização micorrízica (SMITH; READ, 2008).

Além da presença de espécies de plantas consorciadas, outro fator que pode ter contribuído para o aumento da PCM na palma de óleo inserida nos SAFs é o manejo orgânico do

solo. Sabe-se que a adição de matéria orgânica no solo, aumenta a porosidade e favorece o crescimento das hifas por reduzir a resistência mecânica no solo, criando, portanto, um efeito indireto para a ampliação da rede de hifas (JONER; JAKOBSEN, 1995). O efeito direto do manejo orgânico do solo é que este não exerce fortes impactos para o desenvolvimento das micorrizas em relação ao manejo na agricultura intensiva que utiliza produtos químicos como herbicidas, pesticidas e fungicidas que são reconhecidamente supressores da colonização micorrízica e do potencial infectivo no solo (AGNIHOTRI et al., 2017).

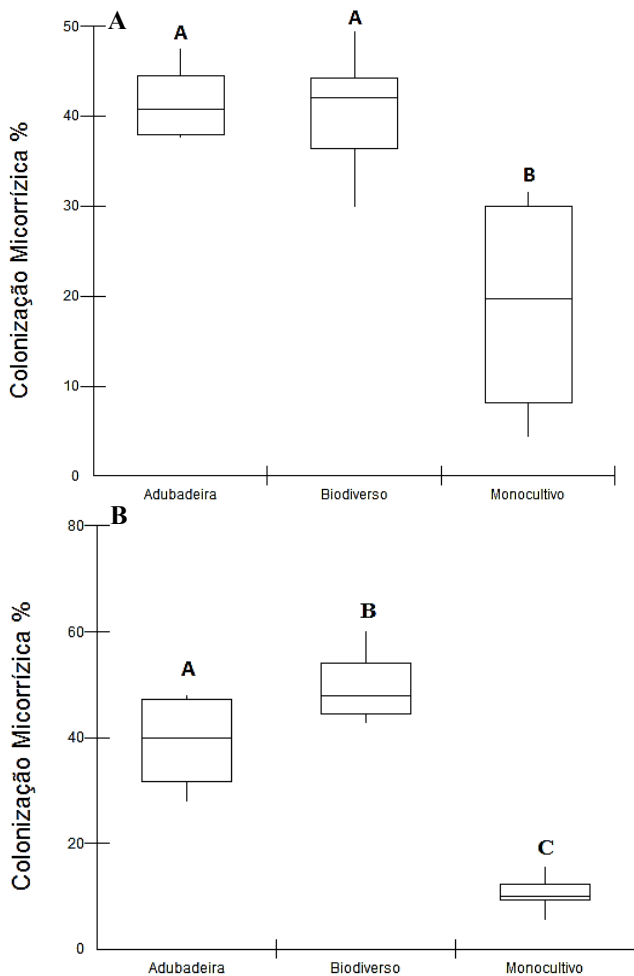


Figura 2. Porcentagem de colonização micorrízica nos locais de coleta dos tratamentos. (A) raízes coletadas na base da palma de óleo e (B) raízes coletadas entre palma de óleo. Dados são médias \pm desvio padrão, $n=4$. A diferença significativa foi avaliada pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Apesar da palma de óleo apresentar morfologia do sistema radicular com características desfavoráveis para absorção de nutrientes como raízes adventícias cilíndricas espessas e não produção de pelos radiculares (CORLEY; TINKER, 2016), o que provavelmente tornaria essa planta funcionalmente dependente da colonização micorrízica (PHOSRI et al. 2010), poucos estudos relataram a ocorrência da associação simbiótica entre os FMAs e palma de óleo em condições de campo e são raros os estudos que mostraram como ocorre o desenvolvimento dessa relação simbiótica desde a fase de plântula até a adulta.

A maioria dos trabalhos mostraram a simbiose entre as micorrizas e a palma de óleo na fase de semente ou muda (GALINDO-CASTEÑEDA; ROMERO, 2013; MENDEZ et al., 2013; BLAL et al., 1990). Chu (1997) observou que a PCM após seis meses de desenvolvimento de mudas de palma de óleo em casa de vegetação variou entre 36,54 a 56,65%, os maiores valores de PCM 56,65 e 55,35% foram encontrados quando as mudas foram inoculadas com espécies de *Gigaspora sp.* e *Scutellospora gilmorei*, respectivamente. Blal et al. (1990) ao avaliar o resultado da inoculação de FMAs em mudas de palma de óleo durante 12 semanas em solos tropicais na Costa do Marfim, observou também elevada PCM variando entre 48 a 72%.

A densidade de esporos no solo não foi afetada significativamente pelos tratamentos (Figura 3).

Diferente do processo de colonização radicular que é uma etapa mais sensível da atividade biológica das micorrizas por depender de diversos fatores (tipo de hospedeiro, características físico-químicas do solo e práticas de manejo), a produção de esporos segue uma estratégia de sobrevivência desses fungos, por isso os esporos apresentam resiliência para sobreviver sobre perturbações do solo através do manejo (JAMIOLKOWSKA et al., 2018) como é o caso do monocultivo em relação aos SAFs.

Os resultados deste estudo estão de acordo com Sturmer e Siqueira (2011) que ao avaliar a densidade e diversidade de esporos de FMAs no solo de áreas de pastagens, cultivos agrícolas e SAFs todos localizados na Amazônia oriental, mostraram não haver diferença significativa na densidade de esporos nessas áreas.

Muleta et al. (2008) encontraram resultado diferente do presente estudo ao avaliar o impacto dos SAFs e do monocultivo sobre a distribuição de esporos de FMAs no cultivo de café em uma região tropical na Etiópia. A maior densidade foi encontrada em áreas de SAFs, destacando a importância das espécies de leguminosas presentes nos SAFs, as quais funcionaram como multiplicadoras de esporos no solo, aumentando significativamente a densidade dessa estrutura fúngica na rizosfera do café.

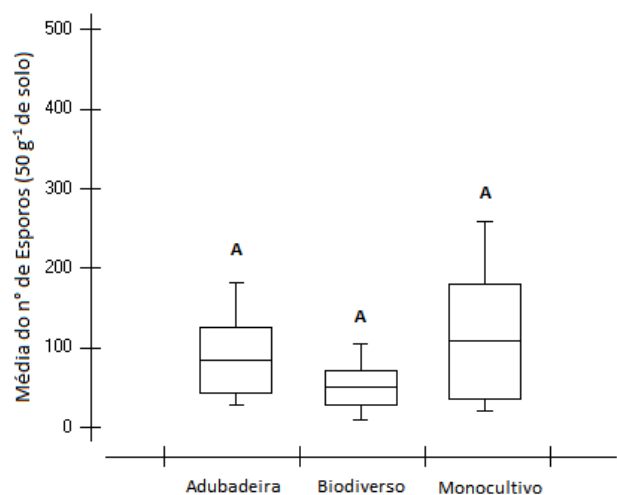


Figura 3. Densidade de esporos (nº esporos/50 g de solo) dos tratamentos: SAF Adubadeira, SAF Biodiverso e monocultivo. Dados são médias \pm desvio padrão, $n=4$. A diferença significativa foi avaliada pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os esporos podem sobreviver no solo durante vários anos e a avaliação da densidade de esporos no solo pode ser um reflexo de esporulações recentes do fungo ou da presença de esporos produzidas durante o pousio ou pelas espécies de plantas cultivadas anteriormente (SCHALAMUK; CABELLO, 2010). Por isso o histórico da ocupação da área nos tratamentos pode exercer fortes influências na densidade de esporos no solo, ressalta-se que o monocultivo da área de estudo foi ocupado anteriormente por uma floresta secundária de aproximadamente 13 anos, formada após repetidos ciclos de corte-queima e pousio. Em virtude da presença de esporos no solo nem sempre implicar em atividade recente dos FMAs no ambiente, as informações sobre essa variável nos sistemas agrícolas podem ser úteis, mas deve ser analisada com cautela.

CONCLUSÕES

A maior colonização micorrízica em palmas de óleo inserida nos SAFs, mostram que esses sistemas são estratégias que permitem aproveitar melhor as micorrizas arbusculares para auxiliar no processo de absorção de nutrientes do solo nos cultivos de palma de óleo na Amazônia oriental.

Sistema convencional de cultivo de palma de óleo (monocultivo) não alteram a densidade de esporos no solo, o que pode estar relacionado a seleção de algumas espécies resistentes a esse tipo de manejo.

AGRADECIMENTO

À equipe do Laboratório de Análises de Sistemas Sustentável (LASS) da Embrapa Amazônia Oriental e as instituições: Natura Inovações e Tecnologia de Produtos Ltda, Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu (CAMTA) e Embrapa Amazônia Oriental responsáveis pela elaboração e manutenção do Projeto “Dendê em Sistemas Agroflorestais na agricultura familiar” e a Agência Americana para o Desenvolvimento Internacional (United States Agency for International Development, USAID) responsável pelo apoio financeiro deste projeto e da pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGNIHOTRI, R.; RAMESH, A.; SINGH, S.; SHARMA, M. R. Impact of agricultural management practices on mycorrhizal functioning and soil microbiological parameters under soybean-based cropping systems. In: RAKSHIT, A.; ABHILASH, P.; SINGH, H.; GHOSH, S. Adaptive soil management: From theory to practices. 1 ed. Singapura, 2017. p. 572.

ATANGANA, A.; KHASA, D.; CHANG, S.; DEGRANDE, A. Tropical Agroforestry. 1 ed. London: Springer, 2014. p. 389.

AL-KAISI, M.; LOWERY, B. Soil health and intensification of agroecosystems. 1 ed. Londres: Elsevier, 2017. p. 395.

ALTIERI, M. A. Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2(1): 35-42, 2004. [10.1890/1540-9295](https://doi.org/10.1890/1540-9295)

BAENA, A. R. C.; FALESI, I. C. Avaliação do potencial químico e físico dos solos sob diversos sistemas de uso da terra na Colônia Agrícola de Tomé-Açu, Estado do Pará. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 1999. p. 23.

BLAL, B. C.; MOREL, C. V.; FARDEAU, J. C. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizae on phosphate fertilizer efficiency in two tropical acid soils planted with micropropagated oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Biology and fertility of soils*. 9:43-48, 1990. [10.1007/BF00335860](https://doi.org/10.1007/BF00335860)

BODDINGTON, C. L.; DODD, J. C. The effect of agricultural practices on the development of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi. i. field studies in an Indonesian ultisol. *Plant and Soil*. 218: 137-144, 2000. [10.1023/A:1014966801446](https://doi.org/10.1023/A:1014966801446).

BRASIL. Instrução Normativa n. 64 de 18 de dezembro de 2008. Aprova o regulamento técnico para os sistemas orgânicos de produção animal e vegetal e as listas de substâncias permitidas para uso nos Sistemas Orgânicos de Produção animal e vegetal. Brasília, 2008, p.21-26.

CARTER, C.; FINLEY, W.; FRY, J.; JACKSON, D.; WILLIS, L. Palm oil markets and future supply. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 109:307-314, 2007. [10.1002/ejlt.200600256](https://doi.org/10.1002/ejlt.200600256).

CARVALHO, A. M. X.; TAVARES, R. C.; CARDOSO, I. M.; KUUPER, T. W. Soil biology and agriculture in the tropics, soil biology 21: Mycorrhizal Associations in Agroforestry Systems. Springer, 2010 p. 208. [10.1007/978-3-642-05076-3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-05076-3).

CHU, E. Y. Influência dos fungos micorrízicos arbusculares e níveis de adubação do solo no crescimento inicial de mudas de dendê. Belém: Embrapa Amazonia Oriental, 1997. 20p.

CORLEY, R. H. V.; TINKER, P. B. The Oil Palm, 4th ed. Blackwell Science, Ltd., Oxford, UK, 5 ed. 2016

EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 3.ed. Brasília, Informação Tecnológica, 2017. 628p.

EVANS, D. G.; MILLER, M. H. The role of external mycelial network in the effect of soil disturbance upon vesicular-arbuscular colonization of maize. *New Phytologist*, 114:65-71, 1990. [10.1111/j.1469-8137.1990.tb00374.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1990.tb00374.x)

GALINDO-CASTANEDA, T.; ROMERO, H. Mycorrhization in oil palm (*Elaeis guineensis* and *E. oleifera* x *E. guineensis*) in the pre-nursery stage. *Agronomía Colombiana*. v. 31, n.1, p. 95-102, 2013.

GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, E. F.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; FREITAS, M. S. M.; VIANA, A. P.; JASMIM, J. M.; MARCIANO, C. R.; CARNEIRO, J. G. A. Sistemas agroflorestais: Bases Científicas para o Desenvolvimento Sustentável. 1 ed. Campo dos Goytacazes: Sociedade Brasileira de Sistemas Agroflorestais, 2006. p. 367.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil wet sieving and decanting. *Transactions of British Mycological Society*, 46:235-244, 1963. [10.1016/S0007-1536\(63\)80079-0](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0)

JAMIOŁKOWSKA, A.; KSIĘŻNIAK, A.; GAŁĄZKA, A.; HETMAN, B. Impact of abiotic factors on development of the community of arbuscular mycorrhizal fungi in the soil: a review. *International agrophysics*, 32: 133-140, 2018. [10.1515/intag-2016-0090](https://doi.org/10.1515/intag-2016-0090)

- JASPER, D. A.; ABBOTT, L. K.; ROBSON, A. D. Soil disturbance reduces the infectivity of external hyphae of VA mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 112: 93–99, 1989. [10.1111/j.1469-8137.1989.tb00313.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1989.tb00313.x)
- JENKINS, W. R. A rapid centrifugation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Report*, 48:692, 1964.
- JONER, E. J.; JAKOBSEN, I. Growth and extra cellular phosphatase activity of arbuscular mycorrhizal hyphae as influenced by soil organic matter. *Soil Biol Biochem*, (27):1153-1159, 1995. [10.1016/0038-0717\(95\)00047-I](https://doi.org/10.1016/0038-0717(95)00047-I)
- JOURDAN, C. Root System Architecture and Gravitropism in the Oil Palm. *Annals of Botany*, 85(6):861–868, 2000. <https://doi.org/10.1006/anbo.2000.1148>
- JOURDAN, C.; REY, H. Modelling and simulation of the architecture and development of the oil-palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) root system. *Plant and Soil*, 190(2):217–233, 1997. [10.1023/A:1004218030608](https://doi.org/10.1023/A:1004218030608).
- KABIR, Z. Tillage or no-tillage: impact on mycorrhizae. *Canadian journal of plant Science*, 85:23–29, 2005. [10.4141/P03-160](https://doi.org/10.4141/P03-160).
- LEAKE, J.; JOHNSON, D.; DONNELLY, D.; MUCKLE, G.; BODDY, L.; READ, D. Networks of power and influence: the role of mycorrhizal mycelium in controlling plant communities and agroecosystem functioning. *Canadian Journal of Botany*, 82:1016–1045, 2004. [10.1139/b04-060](https://doi.org/10.1139/b04-060).
- MAZOYER, M.; ROUDART, L. História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea. São Paulo. Ed. UNESP; Brasília, DF: NEAD, 2010. p. 568.
- McGONIGLE, T. P.; MILLER, M. H.; EVANS, D. G.; FAIRCHILD, G. L.; SWAN, J. A. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 115:495-501, 1990. [10.1111/j.1469-8137.1990.tb00476.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1990.tb00476.x).
- MENDEZ, Y. D. R.; ACEVEDO, E. C.; ROMERO, H. M. Efecto de la micorrización arbuscular sobre el crecimiento y desarrollo de plantulas de palma de aceite en etapa de previvero. *Ceniavances*, v. 175, n. 4, 2013. [10.26497/1872](https://doi.org/10.26497/1872)
- MULETA, D.; ASSEFA, F.; NEMOMISSA, S. Distribution of arbuscular mycorrhizal fungi spores in soils of smallholder agroforestry and monocultural coffee systems in southwestern ethiopia. *Biology and Fertility of Soils*, 44:653–659, 2008. [10.1007/s00374-007-0261-3](https://doi.org/10.1007/s00374-007-0261-3).
- NAHUM, J. S.; SANTOS, C. B. A dendeicultura na Amazônia paraense. *Geosp Espaço e Tempo*. 20(2):281-294. 2016.
- PACHECO N. A; BASTOS T. X. Frequência diária de chuva em Tomé-Açú. PA, Sao Paulo, 2008.
- PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of British Mycological Society*, 55:158-162, 1970. [10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3)
- PHOSRI, C.; RODRIHUEZ, A.; SANDERS, R.; JEFFRIES, P. The role of mycorrhizas in more sustainable oil palm cultivation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 135:187–193, 2010. [10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3). [10.1016/j.agee.2009.09.006](https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.09.006)
- RAKSHIT, A.; ABHILASH, P.; SINGH, H.B.; GOSH, S. Adaptive soil management: From Theory to Practices. 1 ed. Singapore: Springer, 2017. p. 572.
- RAMOS, H. M. N.; VASCONCELOS, S. S.; KATO, O. R.; CASTELLANI, D. C. Above- and belowground carbon stocks of two organic, agroforestry-based oil palm production systems in eastern Amazonia. *Agroforestry Systems*. 2017. [10.1007/s10457-017-0131-4](https://doi.org/10.1007/s10457-017-0131-4).
- RICALDE, S. L.; DHILLION, S. S. Endemic *Mimosa* species can serve as mycorrhizal “resource islands” within semiarid communities of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Mycorrhiza*, 13:129-136, 2013. [10.1007/s00572-002-0206-5](https://doi.org/10.1007/s00572-002-0206-5).
- SANTIAGO, W. R.; VASCONCELOS, S. S.; KATO, O. R. Nitrogênio mineral e microbiano do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia oriental. *Acta Amazonica*. 43(4):395–405, 2013. [10.1590/S0044-59672013000400001](https://doi.org/10.1590/S0044-59672013000400001).
- SCHALAMUK, S.; CABELLO, M. Effect of tillage systems on the arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) propagule bank in soils. In: A, Arya; A, Perelló. *Management of Fungal Plant Pathogens: Current Trends and Progress*. 1 ed. CAB International, 2010. [10.1079/9781845936037.0162](https://doi.org/10.1079/9781845936037.0162)
- SCHENK, N. C., SMITH, G. S., MITCHELL, D. J. AND GALLAHER, R. N. Minimum tillage effects on the incidence of beneficial mycorrhizal fungi on agronomic crops. *Florida Science*, 45:8-18, 1982. [10.4141/P03-160](https://doi.org/10.4141/P03-160)
- SIMARD, S. W.; DURALL, D. M. Mycorrhizal networks: a review of their extent, function, and importance. *Canadian Journal of Botany*. 82:1140–1165, 2004. [10.1139/b04-116](https://doi.org/10.1139/b04-116).
- SIQUEIRA, J. O.; SOARES, C. R. F. S.; SANTOS, J. G. D.; SCHNEIDER, J. CARNEIRO, M. A. C. Micorrizas e Degradação do solo: Caracterização, Efeitos e Ação Recuperadora. In: Tópicos em Ciência do solo, Viçosa, 2007. p. 423.
- SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. . Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil. 1. ed. Lavras: Editora UFLA, 2010. p.716.
- SMITH, S. E.; READ, D. J. Mycorrhizal symbiosis. 3.ed. London, Academic Press, 2008.
- SOMBROEK, W. G. Soils of the Amazon region. In: SIOLI, Harald. *The amazon: Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. 1 ed. Springer, 1984. 761 p.
- STÜRMER, S. L.; SIQUEIRA, J. O. Species richness and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi across distinct land uses in western brazilian amazon. *Mycorrhiza*, 21:255–267, 2011. [10.1007/s00572-010-0330-6](https://doi.org/10.1007/s00572-010-0330-6).
- VIEGAS, I. J. M.; MULLER, A. A. A cultura do dendezeiro na Amazônia brasileira. Belém: EMBRAPA Amazônia Oriental/ Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. p.474.