



ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



## Micorrizas Arbusculares como Indicador Biológico para Seleção de Modelos de Agroecossistemas Multifuncionais: 2. Frutícola

Virgínia de Souza Pereira<sup>1</sup>, Vanderlise Giongo<sup>2</sup>, Regina Lúcia Félix de Aguiar Lima<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA), Universidade de Pernambuco Campus Petrolina, BR 203 Km 2, sn – Campus Universitário - Cidade Universitária, CEP 56.300-000, Petrolina -Pernambuco; E-mail: virginiaspereira@yahoo.com.br; <sup>2</sup> Docente permanente do PPGCTA e Pesquisadora da Embrapa Semiárido, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; BR-428, Km 152, s/n - Zona Rural, Petrolina - Pernambuco, 56302-970. Email: vanderlise.giongo@embrapa.br. <sup>3</sup> Professora Adjunta da Universidade de Pernambuco do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA), Campus Petrolina, regina.aguiar@upe.br.

Artigo recebido em 30/09/2020 e aceito em 28/07/2021

### RESUMO

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) estão presentes em agroecossistemas associados às plantas cultivadas, como fruteiras arbóreas. Eles atuam aumentando a absorção de água e nutrientes, contudo as práticas agrícolas adotadas afetam a associação micorrízica. O objetivo desse estudo foi avaliar o efeito do uso de misturas de plantas para adubação verde, aplicadas com ou sem revolvimento do solo, sobre as micorrizas arbusculares em um pomar de mangueiras no semiárido brasileiro. O pomar de mangueiras consistia em experimento de campo, de longa duração, montado com parcelas subdivididas, em blocos casualizados com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por dois sistemas de manejo (com e sem revolvimento do solo), e as subparcelas com três tipos de adubo verde: coquetel vegetal - CV1 (75% leguminosas +25% não-leguminosas); coquetel vegetal 2 - CV2 (25% leguminosas+ 75% não-leguminosas) e vegetação espontânea. Amostras de solo e raízes foram avaliadas para quantificação do número de esporos de FMA nativos e a colonização micorrízica de mangueiras nos estádios vegetativo, floração e frutificação. A colonização micorrízica das mangueiras foi semelhante entre os sistemas manejos e as misturas de plantas para adubação, dentro de cada estágio fenológico ( $p < 0,05$ ). A colonização micorrízica total e vesicular foi maior no estágio de frutificação e se correlacionou negativamente com o teor de fósforo. O número de esporos de FMA no solo diminuiu durante o estágio de frutificação, e no sistema de manejo com revolvimento do solo.

Palavras-chave: TSM, Análise de Ondaletas, Mann-Kendall, ENOS e ODP.

## Arbuscular Mycorrhizae as a Biological Indicator for Selection Models of Multifunctional Agroecosystems: 2. Fruit tree

### ABSTRACT

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are present in agroecosystems associated with cultivated plants, such as tree fruits. Acting by increasing the absorption of water and nutrients, however, the agricultural practices adopted affect the mycorrhizal association. Aim of this study was to evaluate the effect of the use of mixtures of plants for green manuring, applied with or without soil revolvment, on arbuscular mycorrhizae in mango trees of the Brazilian semiarid. Mango orchard were evaluated in a field, on long-term experiment, assembled with subdivided plots, in randomized blocks with four replicates. The plots were constituted of two management systems (no-tillage an tillage), and the subplots with three types of green manure: plant mixture (75% legumes+25% non-legumes); plant mixture 2 (25% legumes+75% non-legumes) and plant mixture 3 (spontaneous vegetation). The density of native AMF spores and mycorrhizal colonization on vegetative, flowering and fruiting stages of mango were quantified and evaluated by ANOVA ( $p < 0.05$ ). Mycorrhizal colonization was similar between the manure systems and the mixtures of plants for fertilization, within each phenological stage. The total and vesicular mycorrhizal colonization was higher at the fruiting stage and correlated negatively with the phosphorus content. The density of FMA spores in the soil decreased in the fruiting stage, in the management of incorporation of green manure by soil tillage.

Keywords: plant mixture; soil tillage; phenology; AMF; *Mangifera indica*

### Introdução

A comunidade de microrganismos no solo é importante para a manutenção das suas características físicas, químicas e biológicas,

inclusive em agroecossistemas (Santos et al., 2020). Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são componentes da biologia do solo que

formam associações com raízes de plantas da maioria das famílias botânicas, e nos diversos ecossistemas terrestres, sejam eles naturais ou cultivados (Smith e Read, 2008; Tedersoo et al., 2019).

O benefício promovido pela associação micorrízica está no aumento da absorção de água e nutrientes para a planta, que favorece o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das plantas (Lima et al., 2013; Tedersoo e Bahram, 2019; Fernandez et al., 2019), sendo amplamente registrados incrementos na absorção de fósforo (P) e efeitos negativos sobre a colonização micorrízica de plantas em solo com alto teor de P (Ferrol, et al., 2018; Withers et al., 2018). Os FMAs se caracterizam como uma ferramenta biotecnológica que contribui para a sustentabilidade do processo de produção agrícola. Assim, em ambientes agrários, são desejáveis manejos que possam favorecer a atividade dos FMA, especialmente em áreas de plantio de fruteiras comerciais, práticas como agroecossistemas podem agrupar sustentabilidade e produtividade (Lima et al., 2013; Prates Junior et al., 2019; Jiang et al. 2020; Mercado-Blanco et al., 2018; Bizo et al., 2020).

Os manejos adotados na agricultura podem afetar a ocorrência e a diversidade de FMA no solo, positiva ou negativamente, e assim afetar o estabelecimento da associação e a obtenção de benefícios resultantes (Smith e Read, 2008; Bowles et al., 2016; Mercado-Blanco et al., 2018; Palla et al., 2020). O manejo do solo com uso de misturas de plantas para adubação verde com ou sem revolvimento do solo pode melhorar a qualidade edáfica e favorecer os componentes da biologia do solo (Scrase et al., 2019), sendo isso particularmente importante no semiárido pela baixa fertilidade do solo (Brandão et al., 2017; Santos et al., 2016; Jesus et al., 2019). Há registro de favorecimento da absorção de fósforo por plantas associadas a FMAs em solo do semiárido (Lima, 2020).

Nesse sentido, tem-se a importância da realização de estudos em áreas cultivadas no semiárido brasileiro visando conhecer os efeitos dos diversos tipos e formas de aplicação de adubos verdes sobre a atividade micorrízica (Mercado-Blanco et al., 2018; Palla et al., 2020). A exemplo do estudo de Dantas (2015) que relata que a associação com FMA pode atuar de modo a suprir a necessidade de fósforo de plantas na região semiárida.

O polo de fruticultura irrigada no submédio do vale do São Francisco é um centro econômico de agricultura industrial importante no semiárido, tanto pelo aspecto econômico quanto

pelo aspecto social. A maior parte da produção é destinada à exportação, devido à alta qualidade dos frutos (Souza et al., 2016; Barros et al., 2016). A mangueira (*Mangifera indica* L.) é uma das principais fruteiras cultivadas na região, ocupando grandes áreas. Dentre os manejos adotados na cultura, além da irrigação, há o revolvimento do solo, capina da vegetação espontânea, adubação orgânica, utilização de defensivos agrícolas e de fertilizantes inorgânicos (Oliveira, 2020), sendo que algumas dessas práticas podem resultar em aumento ou em redução do estabelecimento da simbiose micorrízica.

Diante do exposto, se justifica o desenvolvimento de estudos em campo em agroecossistemas para caracterizar a influência de manejos conservacionistas na mangicultura irrigada no semiárido e seus efeitos sobre a atividade das micorrizas arbusculares. Considerando-se a hipótese de que as micorrizas arbusculares ocorrem nos agroecossistemas de mangueiras associadas ao sistema radicular e contribuindo para o crescimento, nutrição e a produtividade das culturas em condições de campo, sob influência dos manejos aplicados e da fenologia das plantas durante o ciclo produtivo. Os resultados têm aplicação potencial na agricultura industrial praticada no polo frutícola da região. O conhecimento produzido pode contribuir para indicação de manejos que favoreçam os FMA no solo e os efeitos benéficos para as plantas, colaborando para a adoção de manejos sustentáveis na fruticultura irrigada.

O objetivo nesse estudo foi avaliar efeito do uso de misturas de plantas para adubação verde, aplicadas com ou sem revolvimento do solo, sobre a atividade dos fungos micorrízicos arbusculares de mangueiras cultivada no semiárido, em diferentes estádios fenológicos. Adicionalmente, busca-se utilizar os FMAs como indicadores biológicos na seleção de modelos de agroecossistemas multifuncionais e sustentáveis.

## Material e métodos

O estudo foi realizado em experimento de longa duração de cultivo de mangueiras (*Mangifera indica* L. 'Kent'), em condições de campo. No experimento o manejo adotado inclui aplicação de adubação verde de diferentes tipos aplicadas por deposição superficial ou por revolvimento

Experimento pomar de mangueiras: caracterização e histórico da área

O experimento foi instalado na Estação Experimental Bebedouro da Embrapa Semiárido, em Petrolina-PE, em 2009. Está situado nas

coordenadas geográficas do ponto central da área são 09°09' de latitude Sul e 40°22' de longitude Oeste, com altitude média 365,5 m, clima do tipo BSwH, segundo a classificação proposta por Köpen, com temperatura média anual de 26 °C. O período chuvoso é irregular, geralmente entre novembro e abril, com baixos valores de precipitação, com média anual de 228 mm. A área tem relevo plano, com solo do tipo argissolo vermelho-amarelo, com textura média/argilosa cujas características químicas estão descritas na Tabela 1, determinadas a partir de análises do solo (Donagema et al., 2011).

O histórico de uso da área de instalação do experimento, houve a vegetação nativa era originalmente caatinga hiperxerófila arbórea-arbustiva, tendo sido substituída por culturas anuais na década de 70 e mantidas por cerca de 15 anos, e por cultivo de tamareiras na década de 80 e mantido por 20 anos. Em 2008, foi implantado

experimento de cultivo de mangueira, o qual permanece em campo até o presente. Em 2009 teve início o procedimento de cultivo de plantas de cobertura para aplicação como adubo verde nas entrelinhas das mangueiras. Desde o início desse experimento, foram realizados nove ciclos de cultivo de plantas de cobertura, os quais aconteceram nos seguintes períodos: 2009/2010, 2010/2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 e 2018.

O experimento de cultivo de mangueiras tem sistema de manejo que inclui o cultivo de plantas de cobertura nas entrelinhas das árvores, constituída de misturas de plantas que ao final do ciclo de crescimento tem sua fitomassa aplicada ao solo, por deposição na superfície ou incorporado por revolvimento. Esse estudo foi realizado a partir de amostras coletadas entre os anos 2017 e 2018.

Tabela 1. Caracterização química do solo da Estação Experimental Bebedouro da Embrapa Semiárido, em Petrolina-PE

| Camada de solo (cm) | pH   | C.E.<br>dS.m <sup>-1</sup> | P<br>mg.dm <sup>-3</sup> | S(base)<br>Cmolc.dm <sup>-3</sup> | CTC  | V<br>% |
|---------------------|------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------------|------|--------|
| 0-5                 | 7,44 | 0,83                       | 48,35                    | 6,98                              | 7,03 | 99,20  |
| 5-10                | 7,10 | 0,48                       | 26,74                    | 4,74                              | 4,82 | 98,22  |

pH-Acidez do solo; C.E-condutividade elétrica; P- Fósforo; S- Soma de bases; CTC-Capacidade de Troca de Cátions; V-Saturação por bases.

Experimento de cultivo de mangueiras e manejo de adubação verde

O cultivo de mangueira foi montado com delineamento experimental em blocos casualizados, cada bloco contendo duas parcelas de 24 m x 45 m divididas em 3 subparcelas de 24 m x 15 m, com quatro repetições. O fator de parcela foi o sistema de aplicação da adubação verde e o de subparcelas, as composições do adubo verde. Cada subparcela contendo nove árvores, distribuídas em três linhas, com três plantas em cada linha, totalizando 27 árvores por parcela. O espaçamento entre árvores na linha foi igual a 5 m e nas entrelinhas, 8 m.

O cultivo de plantas de cobertura para uso na adubação verde nos tratamentos com coquetéis vegetais foi feito nas entrelinhas das mangueiras, deixando borda de 1 m livre entre as linhas de plantio das árvores plantasse as espécies para adubação verde. Assim, se ocupou 6 m da área central de cada entrelinha, em 15 m do comprimento da subparcela, totalizando 90 m<sup>2</sup> de área cultivada com as plantas de cobertura. O tratamento de vegetação espontânea não incluiu a

ação de cultivo, nele permitiu-se que plantas que ocorreram naturalmente no mesmo período de cultivo dos coquetéis vegetais crescessem e se desenvolvessem na área de entrelinhas.

Foram adotados dois sistemas de aplicação da adubação verde: deposição da fitomassa na superfície do solo (sem revolvimento) ou incorporação da fitomassa ao solo (com revolvimento). Esses sistemas foram combinados com três composições de adubo verde: coquetel vegetal 1 (75% leguminosas + 25% gramíneas e oleaginosas - CV1), coquetel vegetal 2 (25% leguminosas + 75% gramíneas e oleaginosas - CV2) ou vegetação espontânea (VE).

Os coquetéis vegetais foram estabelecidos nas entrelinhas com utilização de quatorze espécies de plantas leguminosas e não-leguminosas (gramíneas e oleaginosas). No coquetel vegetal 1, a proporção de espécies utilizada foi de 75% de leguminosas + 25% de não leguminosas, enquanto no coquetel vegetal 2 a proporção de espécies foi de 25% de leguminosas + 75% de não leguminosas. O cultivo dos

coquetéis nas entrelinhas das mangueiras foi realizado utilizando proporções diferentes de dose de semente (Tabela 2).

A vegetação espontânea se constituiu das plantas com ocorrência natural nas entrelinhas das mangueiras, tendo sido constituída principalmente pelas espécies *Desmodium tortuosum* (Sw.) DC., *Macroptilium lathyroides* (L.) Urb., *Digitaria bicornis* (Lam.) Roem. Schult., *Dactyloctenium aegyptium* (L.) Willd., *Commelina diffusa* Burm. f., *Acanthospermum hispidum* DC., *Euphorbia chamaeclada* Ule, *Waltheria rotundifolia* Schrank, *Waltheria* sp. L., *Tridax procumbens* L., *Ipomoea mauritiana* Jacq., *Ipomoea bahiensis* Willd. Ex Roem. Schult. e

*Amaranthus deflexus* L.

O corte da fitomassa dos coquetéis vegetais e da vegetação espontânea para aplicação ao solo, como adubação verde foi feita na época floração plena da maioria das espécies, geralmente cerca de 70 dias após a semeadura. No processo de aplicação da fitomassa por deposição superficial, a parte aérea das plantas foi cortada com roçadeira manual, a 5 cm acima da superfície do solo. Após o corte, a fitomassa foi depositada sobre o solo, nas entrelinhas de mangueira. Enquanto o processo de aplicação da fitomassa por incorporação ao solo foi feito por aração à 20 cm de profundidade, seguida de gradagem.

Tabela 2. Quantidade de sementes usadas na composição dos coquetéis vegetais (CV) para adubação verde do experimento de cultivo de mangueira

| Espécies                                                     | CV1                 | CV2  |
|--------------------------------------------------------------|---------------------|------|
|                                                              | kg ha <sup>-1</sup> |      |
| Leguminosas                                                  |                     |      |
| <i>Crotalaria spectabilis</i> Roth                           | 5,2                 | 1,7  |
| <i>Crotalaria juncea</i> L.                                  | 13,5                | 4,5  |
| <i>Canavalia ensiformis</i> (L.) D.C. (Feijão de porco)      | 187,5               | 62,5 |
| <i>Calopogonium mucunoides</i> Desv. (Calopogônio)           | 3,7                 | 1,2  |
| <i>Stizolobium aterrimum</i> Piper e Tracy (Mucuna preta)    | 101,2               | 33,7 |
| <i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp. (Feijão guandu)            | 12,7                | 4,2  |
| <i>Dolichos lablab</i> L. (Lab-lab)                          | 60,0                | 20,0 |
| <i>Mucuna cochinchinensis</i> (Lour.) A.Chev. (Mucuna cinza) | 101,2               | 33,7 |
| Não leguminosas - Oleaginosas                                |                     |      |
| <i>Helianthus annuus</i> L. (Girassol)                       | 3,1                 | 9,3  |
| <i>Ricinus communis</i> L. (Mamona)                          | 30,0                | 90,0 |
| <i>Sesamum indicum</i> L. (Gergelim)                         | 1,0                 | 3,0  |
| Não leguminosas - Gramíneas                                  |                     |      |
| <i>Zea mays</i> L. (Milho)                                   | 15,0                | 45,0 |
| <i>Pennisetum americanum</i> (L.) Leeke (Milheto)            | 1,0                 | 3,0  |
| <i>Sorghum vulgare</i> Pers. (Sorgo)                         | 2,5                 | 7,5  |

CV1: coquetel vegetal 1 (75% leguminosas + 25% gramíneas e oleaginosas); CV2: coquetel vegetal 2 (25% leguminosas + 75% gramíneas e oleaginosas).

A irrigação foi feita por gotejamento, com vazão média de 1,6 L h<sup>-1</sup>, definida com base na evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), calculada pelo método de Penman-Monteith, a partir de dados diários coletados em uma estação meteorológica instalada próximo ao local do experimento. O coeficiente de cultivo para determinação da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) foi o proposto por Doorembos e Pruitt (1977).

A irrigação, no período da semeadura até o corte das plantas de cobertura para adubação verde, foi feita apenas nas entrelinhas das mangueiras. Após a aplicação da fitomassa, a irrigação foi suspensa para proporcionar estresse hídrico e paralisar o crescimento vegetativo das plantas, sendo reestabelecida em setembro, após o florescimento de 50% do pomar.

O manejo do experimento incluiu adubação mineral por fertirrigação, aplicada

igualmente em todas as parcelas e realizada de acordo com a recomendação para a cultura nos seus diferentes estádios fenológicos.

O experimento não foi inoculado com esporos ou outros propágulos de FMA, no estudo as avaliações micorrízica são relacionadas à infectividade micorrízica natural do solo por propágulos FMA nativos, principalmente por esporos, presentes nos solos dos ecossistemas terrestres de um modo geral.

#### Amostragem e análises

Para este estudo foram coletadas amostras de raízes e de solo rizosférico na planta de mangueira central de cada subparcela, nos anos de 2017 e 2018. Foram coletadas amostras compostas de dois pontos sob a copa, na camada de 0-10 cm de profundidade, na linha de plantio das mangueiras. A coleta foi repetida em três períodos: primeiro quando as plantas estavam em estágio vegetativo (06/2017), depois no estágio de floração (10/2017) e por fim, no estágio de frutificação (01/2018), totalizando 72 amostras.

As raízes de mangueira foram obtidas nas coletas e processadas para avaliação da colonização micorrízica a partir de FMA nativos da área do experimento. As raízes finas e novas foram catadas do solo e preparadas para avaliação da colonização micorrízica pelo clareamento com KOH (2,5%) e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> alcalina (3%), seguido de acidificação (HCl 1%) e coloração com azul de tripano (1%) (Johnson et al., 1999). A avaliação do grau de colonização micorrízica total, vesicular e arbuscular das raízes de mangueira foi feita pela montagem de segmentos das raízes coradas em lâminas e avaliação ao microscópio, conforme o método da análise de segmentos (McGonigle et al., 1990).

As amostras de solo foram submetidas a destorroamento e a secagem ao ar, e então utilizadas para análise do teor de fósforo disponível (P-Mehlich) (Teixeira et al., 2017). O número de esporos de FMA nativos foi avaliado por contagem de esporos ao microscópio estereoscópico, após o processo de extração de esporos de amostras de 50 g de solo, feito por peneiramento úmido e centrifugação em solução de sacarose (Johnson et al., 1999).

Os dados de número de esporos de FMA e colonização micorrízica foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Foi avaliada a correlação entre os parâmetros micorrízicos e o teor de fósforo no solo.

#### Resultados e discussão

##### Colonização micorrízica total

A colonização micorrízica total abrange a quantificação das estruturas dos FMAs nas raízes, sejam hifas, vesículas, arbúsculos ou esporos. A colonização micorrízica total das mangueiras variou com o estágio fenológico das mangueiras, com médias de 30 a 43% no estágio vegetativo, entre 37 a 61% no estágio floração e entre 85 a 92% no estágio frutificação (Figura 1).

Esses valores de colonização apresentaram variação maior que a verificada em estudos com mangueiras, após 3 anos de cultivo em campo, em que o grau de colonização apresentou variou entre 20 a 33% (Mohandas, 2012), e com média de 35% em pomar cultivado com fertilizantes orgânicos (Jiang et al. 2020). Na fase de muda, mangueiras apresentaram média colonização micorrízica igual a 11% em solo natural com aumento para 24 a 45%, após inoculação do solo com esporos de diferentes espécies de FMA (Reddy e Bagyaraj, 1994). Esses estudos com mangueiras apresentam condições diferentes do experimento realizado em relação à idade da planta, ao bioma, ao estágio fenológico e ao manejo, podendo essas variações explicar as diferenças nos valores de colonização.

A aplicação da fitomassa, com ou sem revolvimento do solo, e as variações na composição da adubação verde não produziram diferença no grau de colonização micorrízica total da mangueira, dentro de cada estágio fenológico ( $p < 0,05$ ) (Figura 1). Assim, os diferentes tipos de adubo e formas de aplicação tiveram efeito semelhante sobre a associação micorrízica da mangueira em cultivo irrigado no semiárido, sendo igualmente benéficos. A diferença na relação Carbono:Nitrogênio nos coquetéis vegetais não afetou as variáveis micorrízicas avaliadas (Figuras 1, 2, 3, 4), mas pode ter afetado a absorção de fósforo do solo e transferência para as plantas (Ferrol et al., 2018; Withers et al., 2018; Lima 2020; Palla et al., 2020).

Os FMAs não atuam diretamente na decomposição a matéria orgânica; no entanto, indiretamente, as reações hidrolíticas e oxidativas e a liberação de exudatos podem estimular a atividade da microbiota decompositora (Frey, 2019).

O estágio de floração produziu aumento no grau de colonização micorrízica total da mangueira ( $p < 0,05$ ) em relação aos outros estádios fenológicos, independentemente da forma de aplicação da adubação, com ou sem revolvimento do solo (Figura 1). Plantas na fase de frutificação apresentam maior atividade metabólica, maior requerimento de água e



nutrientes e nesses casos a associação com FMA pode ser intensificada, pois sua colaboração é mais necessária nesse período.

O estágio de floração também produziu

aumento no grau de colonização de cafeeiros, mas somente em raízes coletadas na camada 20-40 cm (Montilla et al., 2005).

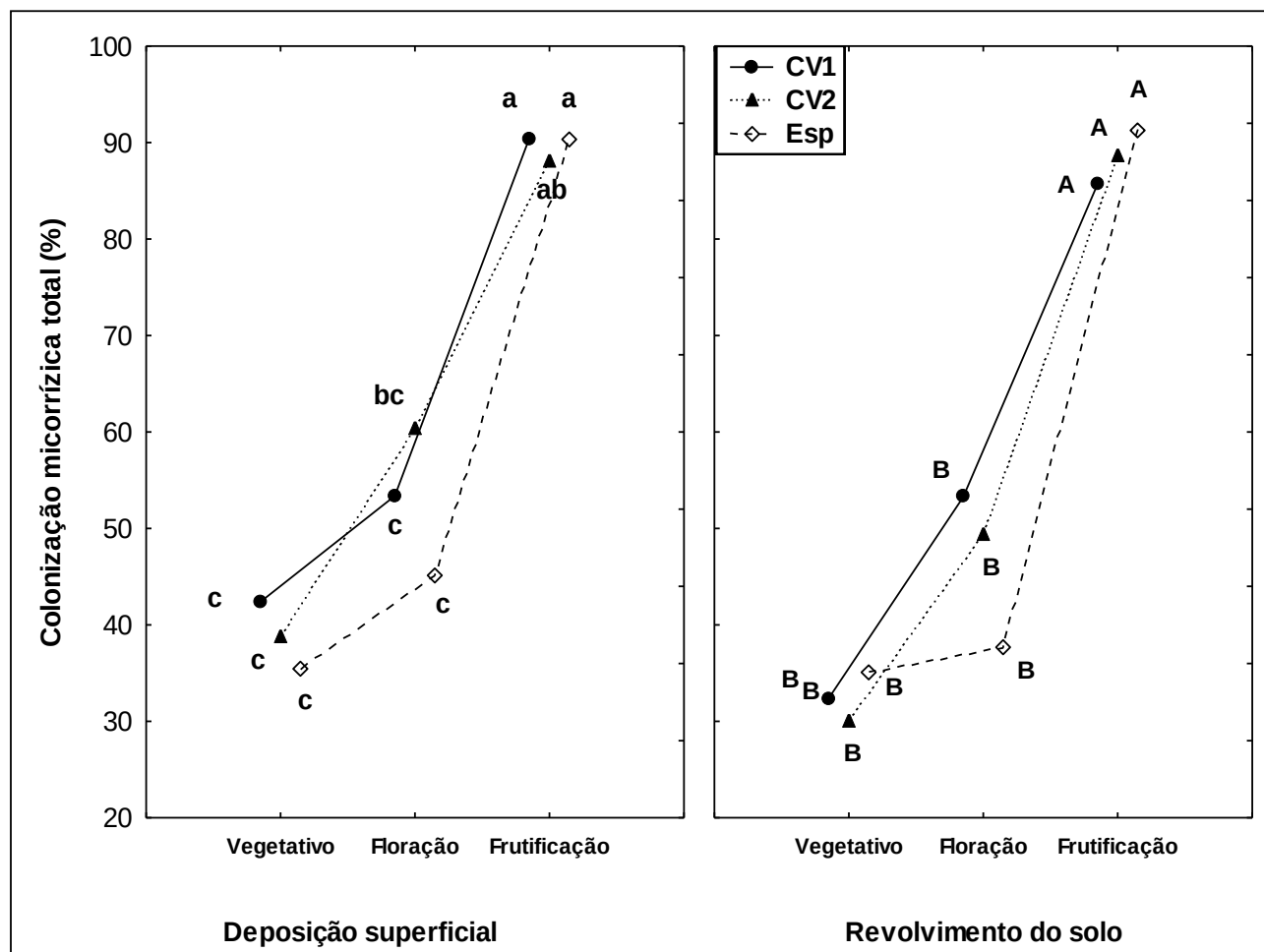


Figura 1. Grau de colonização micorrízica total (%) de raízes de mangueira em diferentes estádios fenológicos, sob manejo por deposição superficial ou incorporação de adubo verde. Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras minúsculas para manejo com deposição superficial e maiúsculas para manejo com revolvimento do solo. CV1: coquetel vegetal 1, constituído por 75% leguminosas + 25% não leguminosas; CV2: coquetel vegetal 2, constituído por 25% leguminosas + 75% não leguminosas. ESP: vegetação espontânea

Unicamente para as subparcelas adubadas com coquetel vegetal 2, os valores de média da colonização micorrízica total foram crescentes entre os estádios fenológicos: vegetativo < floração < frutificação ( $p < 0,05$ ), independente do revolvimento do solo (Figura 1). Nesse caso, já na fase de floração a atividade micorrízica foi intensificada pode guardar relação com a predominância de gramíneas no pré-cultivo com adubação verde. As gramíneas possuem alta eficiência fotossintética e sistema

radicular fasciculado com raízes finas e abundantes que favorecem a colonização radicular e a esporulação, resultado do aumento no número de esporos na rizosfera de espécies de gramíneas e alto grau de colonização micorrízica em suas raízes foi verificado em área cultivada com gramíneas no semiárido (Cardoso Junior et al., 2018) e no cerrado (Angellini et al., 2012).

As plantas de pré-cultivo, sejam para adubação verde, rotação de cultura ou cobertura

do solo, quando são micotróficas estimulam os FMA nativos do solo (Rillig et al., 2019) e o estabelecimento dos benefícios que eles podem trazer em agroecossistemas (Gonçalves et al., 2019; Scrase et al., 2019) podendo trazer incrementos em produtividade em culturas diversas, especialmente em fruteiras (Fernandez et al., 2019; Rillig et al., 2019; Bizos et al., 2020).

A colonização da mangueira nas subparcelas adubadas com coquetel vegetal 1 e vegetação espontânea apresentou medias semelhantes nos estádios vegetativo e de floração, sendo menores que as médias no estágio de frutificação (Figura 1). Esse resultado foi verificado tanto nos tratamentos em que a aplicação da fitomassa ao solo foi feita tanto por deposição superficial quanto com incorporação por revolvimento (Pontes et al., 2017; Cho et al., 2019; Palla et al., 2020).

As misturas de plantas coquetel vegetal 1 e vegetação espontânea são constituídas por espécies incluídas em famílias botânicas micotróficas (Smith e Read, 2008), mas a baixa proporção de gramíneas pode ter afetado os propágulos no solo e juntamente com as alterações metabólicas decorrentes do estágio fenológico, produzir aumento na colonização das mangueiras.

Efeitos fenológicos sobre a colonização micorrízica da erva mate cultivada em região temperada, foram verificados maiores valores de média maiores no inverno que no verão, resultado explicado pela necessidade da cultura acumular fósforo no inverno, período com maiores médias de precipitação, para utilizar no verão, estação de máxima atividade fisiológica (Silvana et al., 2020). Em cactaceas crescendo no semiárido mexicano, verificou-se no decorrer do verão que a colonização micorrízica apresentou valores crescentes, com maiores valores no final da estação, quando a cultura estava em pleno crescimento vegetativo e acumulando fósforo na parte aérea da planta, nesse caso o período maiores precipitações pluviométricas ocorreram no verão (Barrios et al., 2002).

Em ambientes naturais a fenologia da planta é fortemente influenciada pelas condições edafoclimáticas, especialmente da precipitação. No estudo na cultura da mangueira, a água não foi fator limitante, então o efeito fenológico sobre a associação micorrízica teve destaque.

Estudos sobre micorrizas arbusculares em fruteiras arbóreas em condições de campo no

semiárido brasileiro são escassos. Cafeeiros na zona da mata mineira manejados com adubação verde apresentaram colonização micorrízica variando em torno de 60%, sugerindo que a adubação verde contribuiu para minimizar impactos causados pelo sistema de monocultivo, provavelmente diminuindo o estresse para os FMA associados (Alves et al., 2014). Em citros, cultivado na mata atlântica, a colonização micorrízica variou entre 40 a 85%, tendo sido constatada dependência em relação à associação micorrízica, pois o crescimento vegetativo ficou estacionário na ausência de FMA (Nunes et al., 2006). De modo geral, apresentaram altos valores de colonização micorrízica em campo, tal como observado para a mangueira, embora não incluam informações sobre o estágio fenológico por ocasião da amostragem.

#### Colonização vesicular

A colonização vesicular variou entre 17 a 29 % no estágio vegetativo, entre 12 a 31% na floração e entre 64 a 75% na frutificação (Figura 2). As vesículas são estruturas de FMAs com função de acumular nutrientes e servir como reserva para os fungos, são formadas dentro das raízes, mas nem todas as espécies de FMAs formam essas estruturas (Smith e Read, 2008).

A colonização por vesículas nas raízes de mangueira apresentou nos estádios vegetativo e de floração médias similares entre si, e menores que as médias no estágio de frutificação (Figura 2).

Segundo Montilla et al. (2005), na fase de frutificação culturas perenes apresentam alta atividade metabólica com grande produção de fotossintatos e taxa de transferência para o sistema radicular, sugerindo ser essa a causa de maior proporção de vesículas no estágio de frutificação.

A colonização vesicular da mangueira, tal como a colonização micorrízica total, não foi afetada pela forma de aplicação da adubação verde, se por deposição ou incorporação, dentro de cada estágio fenológico (Figura 2).

Estudo feito sem considerar os estágios fenológicos não mostrou diferença no grau de colonização vesicular em pomares cítricos com sistema de plantio direto e manejo de plantas espontâneas, com e sem uso de aplicação de herbicidas (Wang et al., 2011).

As mangueiras nas subparcelas com adubação com coquetel vegetal 1 apresentaram maior proporção de vesículas no estágio de floração, contudo esse resultado não se repetiu nos estádios vegetativo e de frutificação (Figura

2).

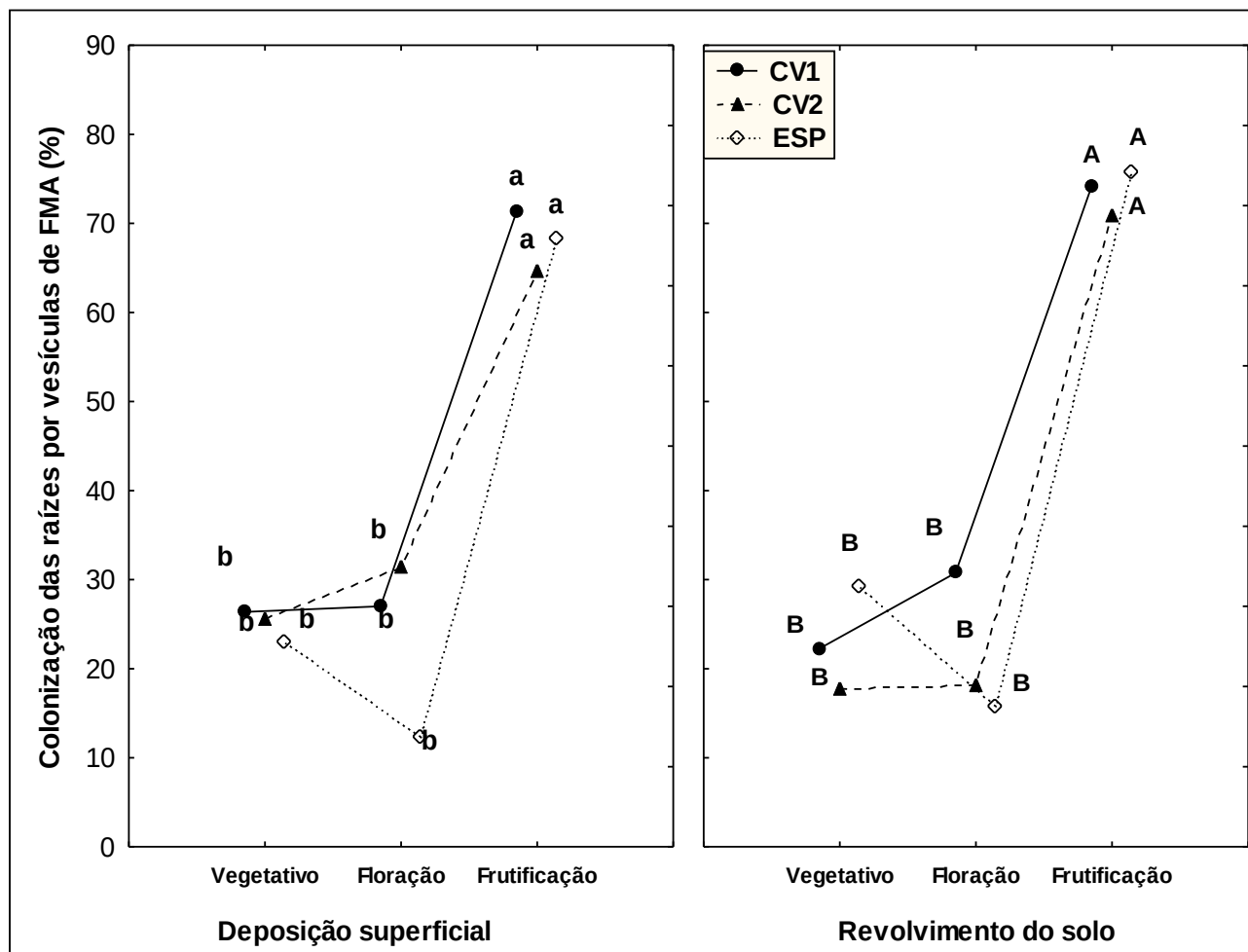


Figura 2. Grau de colonização micorrízica total (%) de raízes de mangueira em diferentes estádios fenológicos, sob manejo por deposição superficial ou incorporação de adubo verde. Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras minúsculas para manejo com deposição superficial e maiúsculas para manejo com revolvimento do solo. CV1: coquetel vegetal 1, constituído por 75% leguminosas + 25% não leguminosas; CV2: coquetel vegetal 2, constituído por 25% leguminosas + 75% não leguminosas. ESP: vegetação espontânea

#### Colonização arbuscular

Os arbuscúlos são estruturas temporárias durante a associação micorrízica, tendo duração curta com variação de 2 a 8 dias (Lugibiehl e Oldroyd, 2017).

A colonização arbuscular das raízes de mangueira não apresentou diferenças nas médias decorrentes das variações de manejo estudadas: composição das misturas de planta para adubação verde, manejos de aplicação da adubação verde ou o estágio fenológico (Figura 3).

O comportamento da colonização arbuscular, diferentemente do que foi verificado na colonização total e na colonização vesicular (Figuras 1 e 2), apresentou médias semelhantes,

variando entre 1 e 8% no estágio vegetativo, entre 2 a 13% na floração e entre 13 a 19% na frutificação. Efeitos sobre esse parâmetro micorrízico talvez possam ser melhor monitorados em estudos que incluam menores intervalos entre amostragens.

Em experimento de longa duração em pomares de frutas cítricas verificou-se maiores valores de colonização arbuscular, de raízes coletadas na camada de 0-20 cm de profundidade, em plantio direto e manejos espontâneos sem uso de herbicidas, evidenciando efeito negativo de herbicidas sobre a formação de arbuscúlos (Wang et al., 2011).

Cafeeiros apresentaram valores de



colonização arbuscular em média de 45%, em condições de sombreamento parcial, e em média 25% em cultivo a pleno sol, sugerindo que a maior incidência de arbúsculo pode estar ligada a temperaturas mais amenas e menor incidência

de luz, diferentes das encontradas no semiárido. Ressalta-se aqui, que os arbúsculos são estruturas efêmeras da associação, presentes apenas quando ela está ativa (Alves et al., 2014; Luginbuehl et al., 2017).

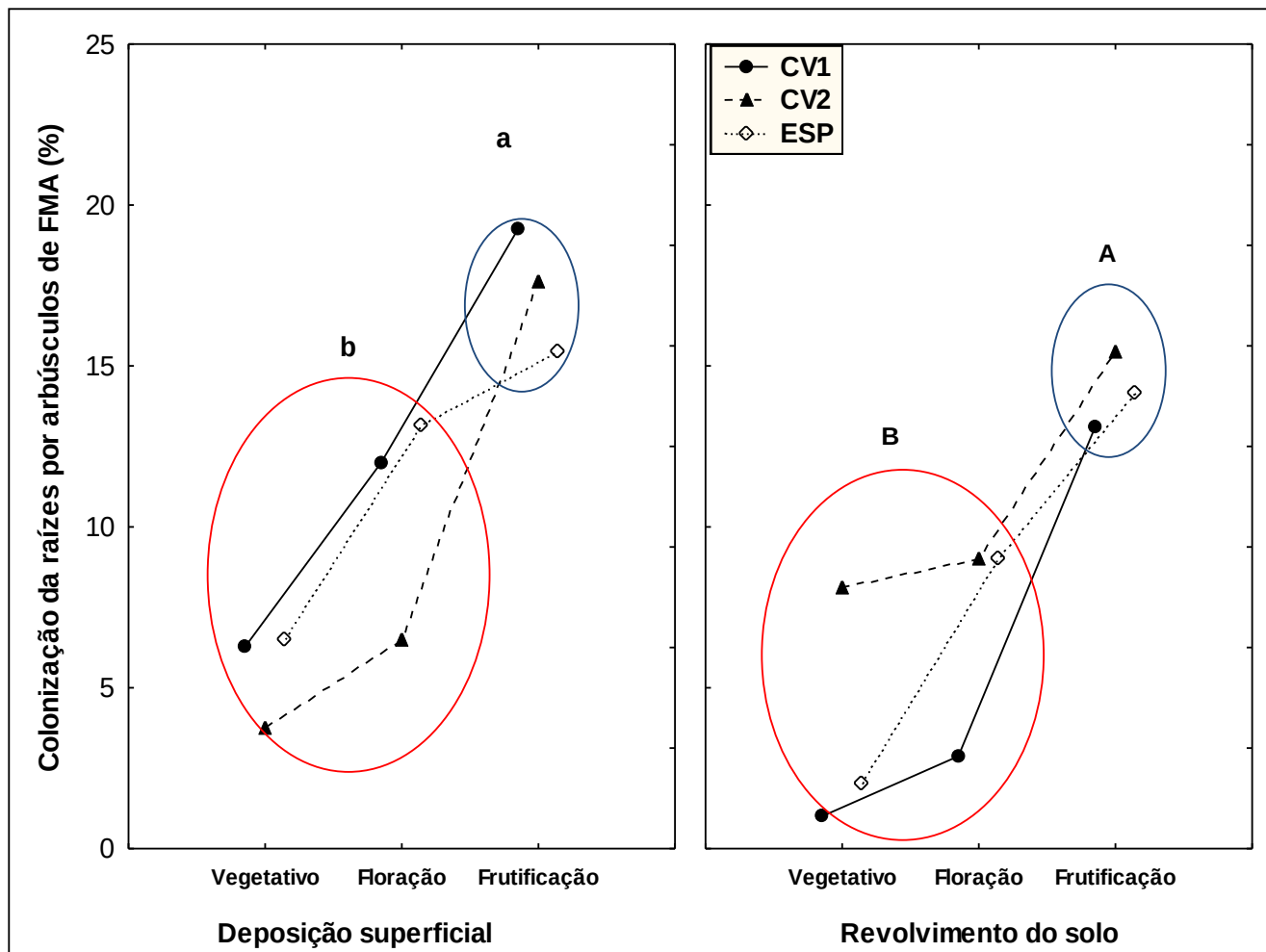


Figura 3. Grau de colonização micorrízica total (%) de raízes de mangueira em diferentes estádios fenológicos, sob manejo por deposição superficial ou incorporação de adubo verde. Círculos azul e vermelho agrupam dados com diferença estatística pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Letras minúsculas para manejo com deposição superficial e maiúsculas para manejo com revolvimento do solo. CV1: coquetel vegetal 1, constituído por 75% leguminosas + 25% não leguminosas; CV2: coquetel vegetal 2, constituído por 25% leguminosas + 75% não leguminosas. ESP: vegetação espontânea

#### Número de esporos de FMA

O número de esporos de FMA no solo apresentou aumento em resposta à mudança no uso do solo de caatinga para uso agrícola, independente das misturas de plantas usadas na adubação verde (Figura 4). Esse resultado tem comportamento contrário de tendência verificada no cerrado (Pontes et al., 2017), pois o número de esporos foi maior em área de cerrado preservada e diminuiu com a implantação de cultivo.

A aplicação de adubação feita por

deposição da fitomassa na superfície do solo produziu maior número de esporos de FMA no solo do pomar de mangueiras (Figura 4). Esse resultado foi similar ao verificado no cerrado, onde a quantidade de esporos diminuiu em área com revolvimento do solo (Pontes et al., 2017).

Assim, considerando o efeito estimulante sobre os FMAs da aplicação de fitomassa por deposição superficial, considerando também que esse método é menos laborioso e mais simples e econômico que a incorporação da fitomassa ao solo por revolvimento pode-se recomendar a

adoção quando se busca usar práticas agrícolas visando a sustentabilidade e a manutenção da qualidade do solo. Considerando ainda que as diferentes misturas tiveram efeito semelhante

sobre o número de esporos, destaca-se a vegetação espontânea pelo menor custo e investimento de tempo para montagem.

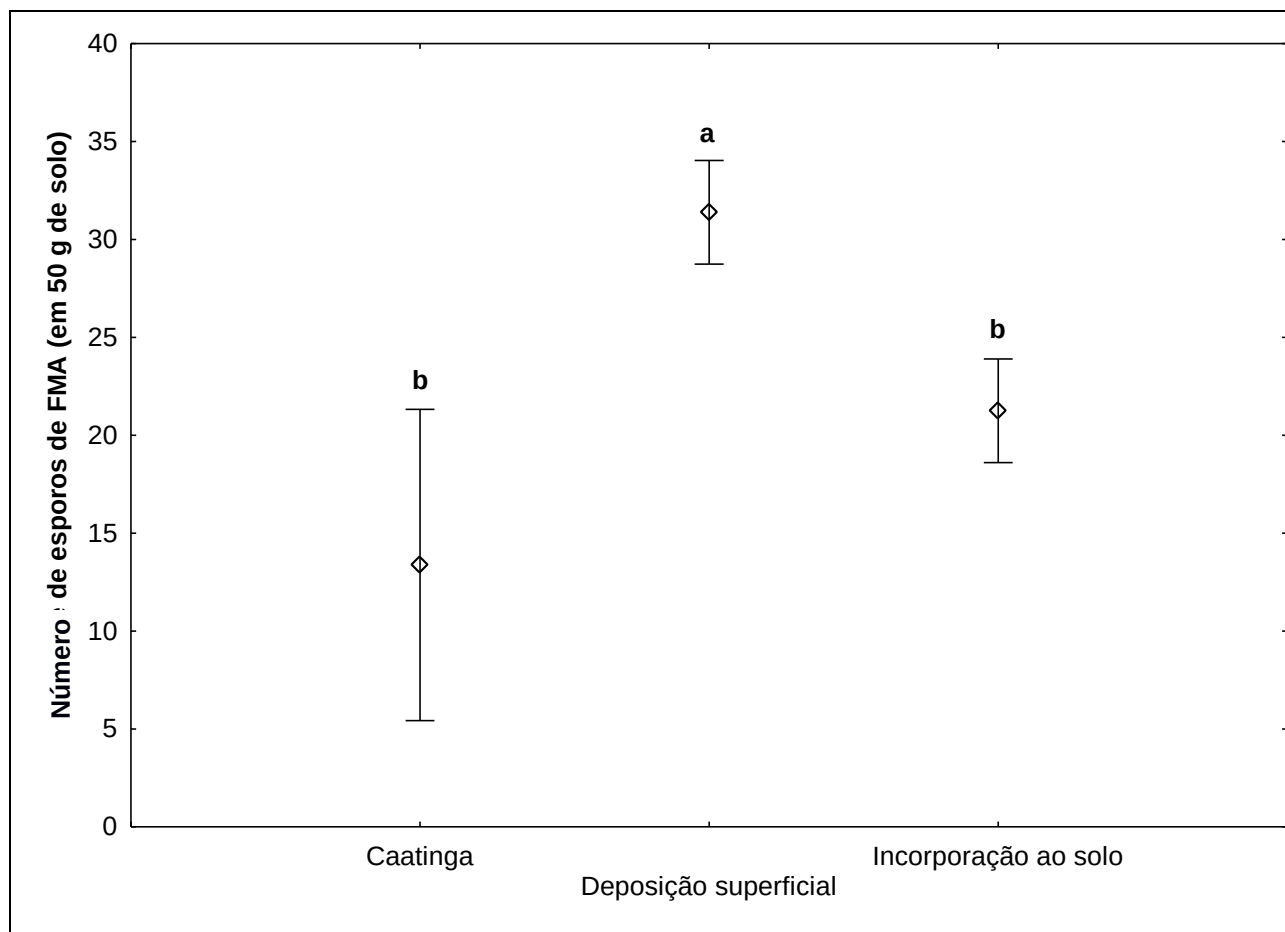


Figura 4. Número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em 50 g de solo na rizosfera de área de caatinga e em área cultivada com mangueiras no semiárido, com aplicação de adubação verde por deposição superficial (sem revolvimento do solo) ou por revolvimento do solo para incorporação da fitomassa. Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV1: coquetel vegetal 1, constituído por 75% leguminosas + 25% não leguminosas; CV2: coquetel vegetal 2, constituído por 25% leguminosas + 75% não leguminosas. ESP: vegetação espontânea

As diferentes misturas de plantas utilizadas para adubação verde não afetaram significativamente o número de esporos de FMA na rizosfera das mangueiras. Isso também foi verificado para os diferentes estádios fenológicos das mangueiras.

O número de esporos de FMA tendeu a apresentar maior média nos diferentes estádios fenológicos no manejo com uso de plantas espontâneas com aplicação da fitomassa por deposição na superfície do solo, sem revolvimento, a quantidade ficou em torno de 40 esporos/50g solo contudo, esse tratamento não

diferiu significativamente dos demais. Considera-se que as plantas espontâneas e os FMA nativos do solo tenham evoluído de forma conjunta nesse ambiente e podem estar mais adaptados uns aos outros e às condições edafoclimáticas, nesse caso a alocação de carbono seja mais efetiva, favorecendo aumento na produção de esporos de FMA (Christian e Bever, 2018)

Verificou-se também aumento no número de esporos no período de frutificação, no manejo com o coquetel vegetal 2 aplicado na superfície do solo, também não diferiu

significativamente dos demais.

As diferentes misturas de plantas testadas apresentaram efeitos semelhantes nos esporos dentro de cada manejo de aplicação de fitomassa, contudo os coquetéis vegetais são

procedimentos que demandam investimento de tempo e compra de sementes, sendo mais laboriosos e caros que a mistura de plantas formada naturalmente pela vegetação espontânea.

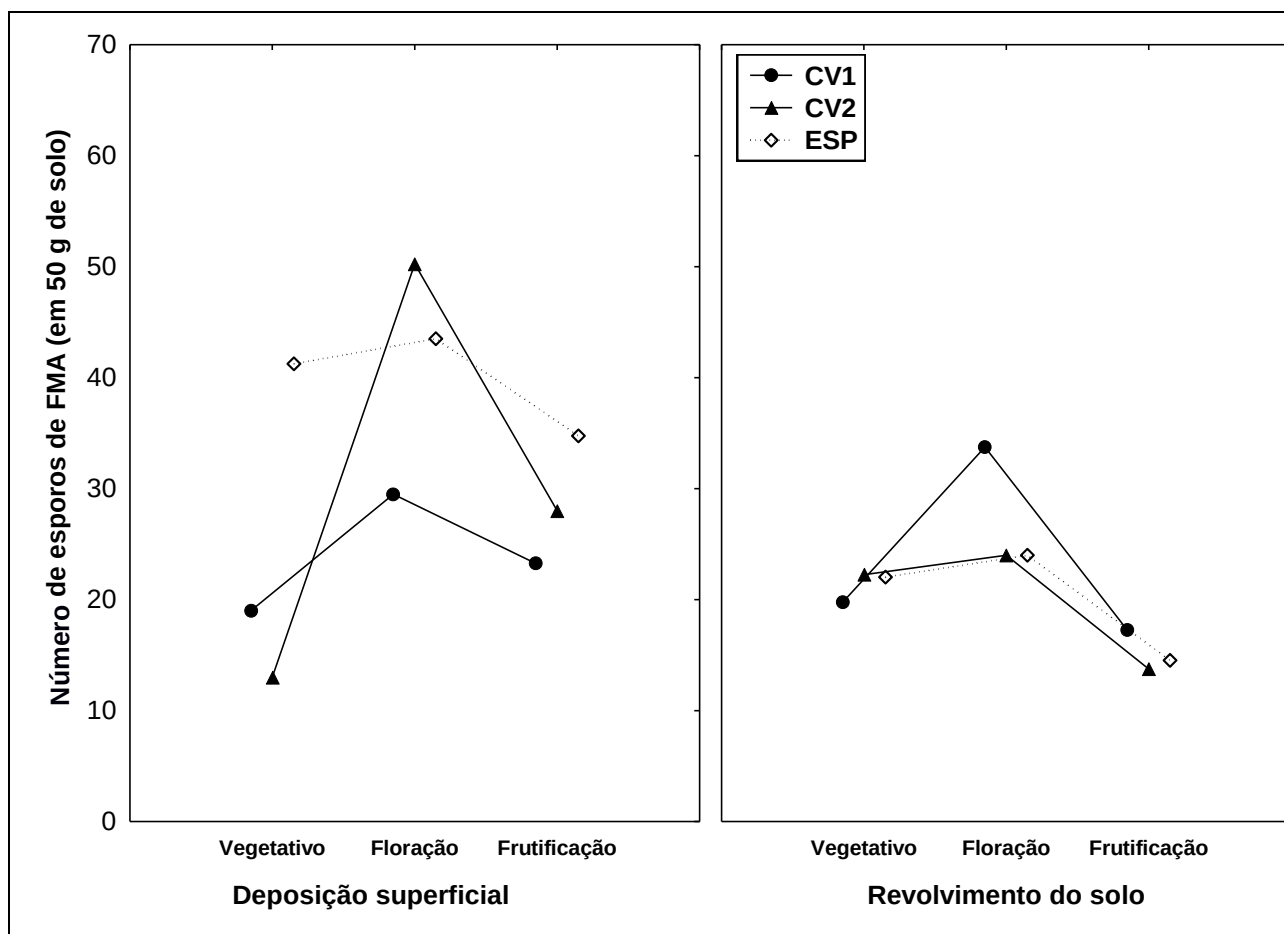


Figura 5. Número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em 50 g de solo na rizosfera de mangueiras cultivadas no semiárido, em diferentes estádios fenológicos, sob manejo por deposição. Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV1: coquetel vegetal 1, constituído por 75% leguminosas + 25% não leguminosas; CV2: coquetel vegetal 2, constituído por 25% leguminosas + 75% não leguminosas. ESP: vegetação espontânea

Em cultivo de cafeeiros no semiárido baiano, mantidos a pleno sol e em consórcio, verificou-se maior número de esporos de FMA na época seca, após período de floração e estresse hídrico, sugerindo que esses fatores estimularam a esporulação, sendo considerado um mecanismo de resposta a estresses ambientais ou estágio fenológico (Bonfim et al., 2010). No presente estudo observou-se tendência de aumento do número de esporos no estágio de floração das mangueiras, ainda que não tenham apresentado diferença significativa (Figura 4).

Por outro lado, cafeeiros na zona da mata mineira, mantidos a pleno de sol, com ou sem adubação verde, apresentaram menor número de esporos de FMA no tratamento com aplicação de

adubação verde. Esses resultados sugerem que os adubos verdes minimizaram os impactos causados pelo monocultivo, diminuindo o estresse para os fungos que se associam ao cafeeiro, a ponto de não elevar o número de esporos (Alves et al., 2014). O estudo no pomar de mangueiras no semiárido não se testou tratamentos sem adubação verde, tendo

Em cultivo de cafeeiros no semiárido baiano, mantidos a pleno sol e em consórcio, verificou-se maior número de esporos de FMA na época seca, após período de floração e estresse hídrico, sugerindo que esses fatores estimularam a esporulação, sendo considerado um mecanismo de resposta a estresses ambientais ou estágio fenológico (Bonfim et al., 2010). No presente

estudo observou-se tendência de aumento do número de esporos no estágio de floração das mangueiras, ainda que não tenham apresentado diferença significativa (Figura 4).

Por outro lado, cafeeiros na zona da mata mineira, mantidos a pleno de sol, com ou sem adubação verde, apresentaram menor número de esporos de FMA no tratamento com aplicação de adubação verde. Esses resultados sugerem que os adubos verdes minimizaram os impactos causados pelo monocultivo, diminuindo o estresse para os fungos que se associam ao cafeeiro, a ponto de não elevar o número de esporos (Alves et al., 2014). O estudo no pomar de mangueiras no semiárido não se testou tratamentos sem adubação verde, tendo sido comparados diferentes composições de adubo e formas de aplicá-los.

Estudo realizados com milho, espécie de ciclo curto, na zona da mata mineira em sistema de cultivo consorciado com plantas de cobertura, verificou-se aumento no número de esporos de

FMA, destacando-se os consórcios mucuna/sorgo e crotalária/sorgo que apresentaram maior quantidade de esporos (Reis et al., 2012). Entretanto, todos os tratamentos apresentaram maiores números de esporos que a testemunha, sugerindo que o uso do solo para cultivos estimula o desenvolvimento da associação micorrízica.

#### *Teor de fósforo e colonização de mangueiras*

A correlação entre colonização micorrízica e teor de P foi moderada ( $R = 0,49$ ) e negativa implicando em menores médias de colonização micorrízica associados a maiores valores de teor de P (Figura 4).

Verificou-se que os maiores valores de teor de fósforo (P) estão correlacionados com os menores valores de grau de colonização micorrízica (Figura 4). Os maiores valores de colonização foram verificados na fase de frutificação, associados aos menores teores de fósforo no solo.

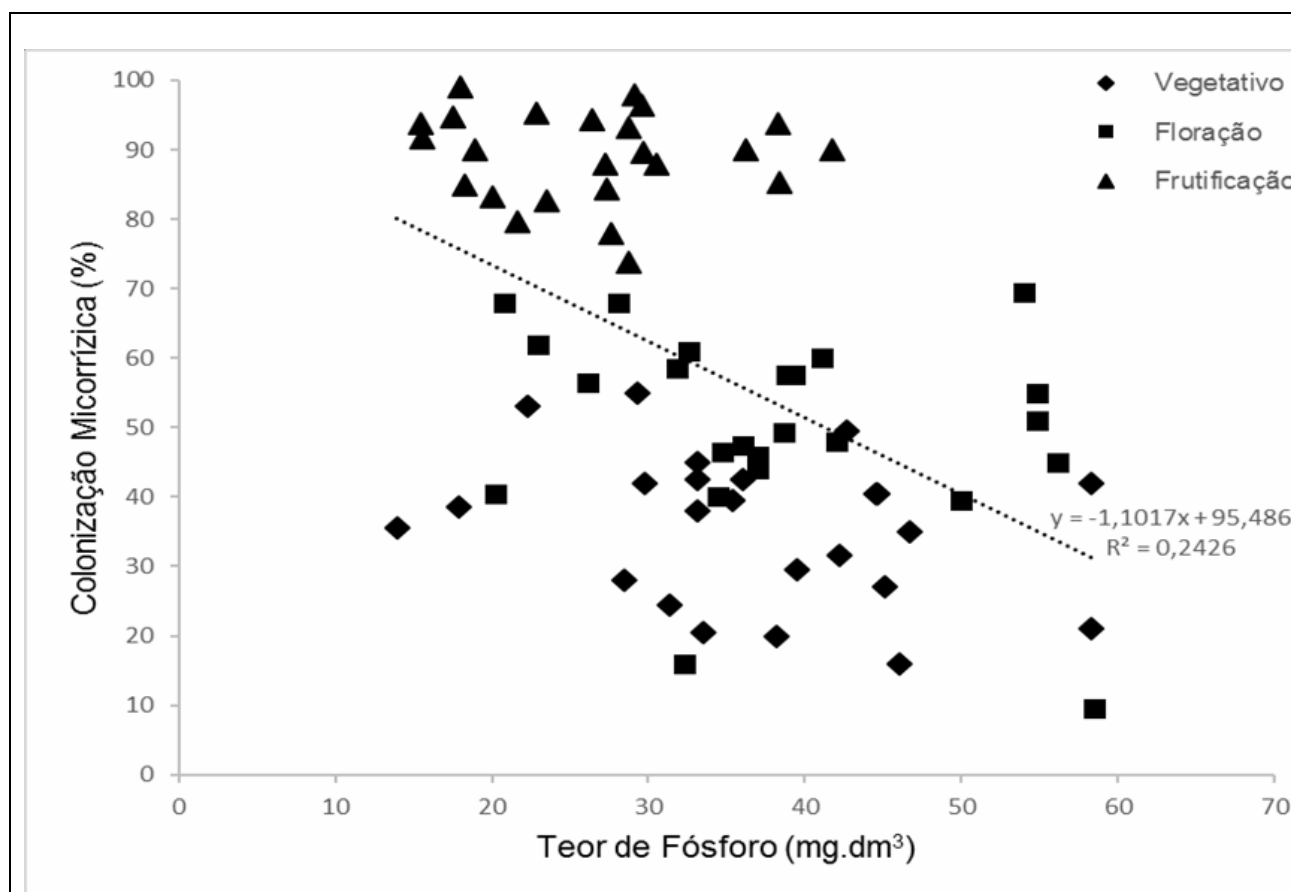


Figura 4. Correlação entre grau de colonização micorrízica total da mangueira e os teores de fósforo no solo, nos estádios vegetativo, de floração e de frutificação.

Resultados semelhantes foram verificados em outros estudos, mesmo com variações experimentais, pois o grau de colonização

micorrízica do feijão de corda (*Vigna unguiculata* (L., Walp.), cultivado em campo teve correlação negativa com o teor de P no solo (Johnson et al.,

2016). A aplicação de diferentes doses de fósforo na produção de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia*) produziu redução da colonização micorrízica, em casa de vegetação (Silva et al., 2016). Por outro lado, não se verificou correlação entre P e colonização micorrízica ou número de esporos em um pomar de mangueiras, constituído por diversas variedades e estabelecido naturalmente, sem ação de cultivo (Govidan et al., 2020). A correlação média verificada nesse estudo parece ter relação com a realização de coleta em 3 períodos fenológicos distintos, e no estudo de Govidan et al. (2020) foram avaliadas amostras coletadas em uma única etapa.

Os benefícios proporcionados pela associação entre fungos micorrízicos arbusculares e plantas, devem motivar o uso de manejos que favoreçam essa simbiose em cultivos de interesse agrícola, para isso deve-se conhecer amplamente os efeitos dos manejos agrícolas, especialmente no semiárido.

Considerando que a simbiose micorrízica arbuscular pode ser afetada por fatores das planta, dos fungos e edafoclimáticos, torna-se necessário realizar estudos em campo com culturas de interesse agrícola no Vale do São Francisco, visto que muitos estudos são realizados em casa de vegetação com mudas pré-inoculadas, o que não reflete a realidade nos agroecossistemas.

O estudo sobre micorrizas arbusculares em cultivo irrigado de mangueiras no semiárido com a utilização de manejos conservacionistas, como adubação verde apresentou respostas positivas relativas à simbiose micorrízica.

O manejo de FMA nativos tem vantagem em relação aos inóculos comerciais, por apresentarem maior facilidade de acesso, menor custo e maior diversidade de espécies de FMA, e adaptação às condições edafoclimáticas prevalentes (Brito et al., 2019; Prates Junior et al., 2019). Além disso, há registro de que podem contribuir para o aumento da produtividade de algumas culturas em condições de campo, e de que contribuem efetivamente para a estabilidade de agroecossistemas e para a sustentabilidade do processo de produção de alimento (Mercado-Blanco et al., 2018; Rillig et al., 2019).

Os manejos utilizados nos pomares comerciais do semiárido devem ser estudadas visando conhecer como a agricultura industrial e a sustentável podem afetar os fungos micorrízicos arbusculares nativos do solo e assim definir recomendações de práticas que possibilitem a

aplicação dessa ferramenta biotecnológica no semiárido.

## Conclusão

A adubação verde com diferentes misturas de plantas, sejam espontâneas ou coquetéis vegetais, produziu efeitos semelhantes sobre a colonização micorrízica de mangueiras em cultivo irrigado no semiárido, independentemente de haver revolvimento do solo.

A colonização micorrízica total, vesicular e arbuscular das mangueiras foi estimulada no estádio de frutificação.

A colonização micorrízica total se correlacionou negativamente com o teor de fósforo no solo.

A mudança no uso do solo de caatinga para cultivo de mangueiras com uso de adubação verde sem revolvimento do solo estimulou a produção de esporos de FMA.

O revolvimento do solo afetou negativamente a produção de esporos de FMA.

## Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA) da Universidade de Pernambuco

À Embrapa Semiárido, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Brasil (Código de Financiamento 001), e à Agência de Defesa e Fiscalização Agropecuária do Estado de Pernambuco – ADAGRO.

## Referências

- Alves, J. M., Martins, R. C., Freitas, R. A., Barrella, T. P., Campos, A. N. R. 2014. Efeito da adubação verde com espécies herbáceas e arbóreas na micorrização do cafeeiro. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável 4 (1), 11-16.
- Barrios, P. E., Barrios, E. P., Galván, S. M. E., Hernandez, Z. J., Nobel, P. S., 2002. Growth and reproductive characteristics of the columnar cactus *Stenocereus queretaroensis* and their relationships with environmental factors and colonization by arbuscular mycorrhizae. Tree physiology 22, 667-674.
- Barros, E. S., Xavier, L. F., Fonseca, H. V. P., Costa E. F. 2016. Eficiência na produção agrícola do Vale São Francisco: mensuração de escores e análise de fatores correlacionados. Revista de Economia Agrícola 63 (2), 35-50.



- Bizos, G., Papatheodorou, E. M., Chatzistathis, T., Ntalli, N., Aschonitis, V. G., Monokrousos, N., 2020. The role of microbial inoculants on plant protection, growth stimulation, and crop productivity of the olive tree (*Olea europea* L.). *Plants*, 9(6), 743.
- Brandão, S. S., Giongo, V., Olszewski, N., Salviano, A. M., 2017. Coquetéis vegetais e sistemas de manejo alterando a qualidade do solo e produtividade da mangueira. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10 (4), 1079-1089.
- Bonfim, J. A., Matsumoto, S. N., Lima, J. M., César, F. R. C. F., Santos, F. M. A., 2010. Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e aspectos fisiológicos em cafeeiros cultivados em sistema agroflorestal e a pleno sol. *Bragantia* 69 (1), 201-206.
- Bowles, T. M., Jackson, L. E., Loeher, M., Cavagnaro, T. R., 2016. Ecological intensification and arbuscular mycorrhizas: a meta-analysis of tillage and cover crop effects. *Journal of Applied Ecology* 54, 1785–1793. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12815>
- Brito, I., Goss, M. J., Alho L., Brígido, C., van Tuinen, D., Felix, M. R., Carvalho, M., 2019. Agronomic management of AMF functional diversity to overcome biotic and abiotic stresses - The role of plant sequence and intact extraradical mycelium. *Fungal Ecology* 40 72-81. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2018.06.0011754-5048>
- Cardoso Junior, F. M., Carneiro, R. F. V., Goto, B. T., Araújo, A. S. F., 2018. Arbuscular mycorrhizal communities in different tropical pastures of the Brazilian northeast. *Revista Agrária Acadêmica* 1 (4) 17-28.
- Cho, H. J., Lee, Y. H., Choi, S. L., Seo, D. C., Min, S. R., Heo, J. Y., 2019. Soil microbial communities of Japanese apricot (*Prunus mume*) orchard under organic and conventional management. *Applied Biological Chemistry*, 62(1), 1-8.
- Christian, N., Bever, J. D., 2018. Carbon allocation and competition maintain variation in plant root mutualisms. *Ecology and Evolution* 8, 5792-5800
- Dantas, B. L., Weber, O. B., Maciel Neto, J. P., Rossetti, A. G., Pagano, M. C., 2011. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em pomar orgânico no semiárido cearense. *Ciência Rural* 45.
- Fernández, F., Juárez, J., Bernabe, A. J., García, F. J., Gómez, J. M., 2018. Activity of the arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus iranum* var. *tenuihypharum* var. *nova*, and its effect on citrus development in southeastern Spain. In IV International Symposium on Citrus Biotechnology 1230, 73-84.
- Frey, S. D., 2019. Mycorrhizal fungi as mediators of soil organic matter dynamics. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* [online] 50 (1), 237-259. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110617-062331>. Acesso: 18 mar. 2020.
- Ferrol, N.; Azcón-Aguilar, C.; Pérez-Tienda, J., 2018. Arbuscular mycorrhizas as key players in sustainable plant phosphorus acquisition: an overview on the mechanisms involved. *Plant Science* 280, 441–447. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.11.011>
- Gonçalves, V. A., Melo, C. A. D., Assis, I.R., Ferreira, L. R., Saraiva, D. T., 2019. Biomassa e atividade microbiana de solo sob diferentes sistemas de plantio e sucessões de culturas. *Revista de Ciências Agrárias* 62. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.22491/rca.2019.2611>
- Govidan M., Rajeshkumar, P. P., Varma, C. K. Y., Anees, M. M., Rashmi, C. R., Nair, A. B., 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi status of mango (*Mangifera indica*) cultivars grown in typic quartzipsamments soil. *Agric Res* 9 (2), 188–196. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40003-019-00432-8>
- Jesus, K. N., Albuquerque, E. R. G. M., Sampaio, E. V. S. B., Sales, A., 2019. Estoques de carbono em solos de Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* 12 (3), 714-721.
- Jiang, S., Hu, X., Kang, Y., Xie, C., An, X., Dong, C., Xu, Y. Shen, Q., 2020. Arbuscular mycorrhizal fungal communities in the rhizospheric soil of litchi and mango orchards as affected by geographic distance, soil properties and manure input. *Applied Soil Ecology*, 152, 103593.
- Johnson, J. M., Houngnandan, P., Kane, A., Chatagnier, O., Sanon, K. B., Neyra, M., van Tuinen, D., 2016. Colonization and molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with the rhizosphere of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in Benin (West Africa): an exploratory study. *Annals of microbiology* 66 (1) 207-221.
- Johnson, N. C., O'dell, T. E., Bledsoe, C. S., 1999. Methods for ecological studies of mycorrhizae. In: Robertson, G. P., Coleman, D. C., Bledsoe, C. S., Sollins, P. (Eds.) *Standard soil methods for long-term ecological research*. New York: Oxford University Press, p. 378–412.

- Lima, C. E. P. L., Santana, A. S., Mergulhão, A. C. E. S., Lima, R. L. F. A., 2013. Micorriza Arbuscular: alternativa para uso na agricultura sustentável. In: Tecnologias potenciais para uma agricultura sustentável. Recife: Ipa/Emater/Seagri-AL, pp. 113–132.
- Lima, R. L. F. A. 2020. Micorrizas arbusculares e absorção de fósforo em função da capacidade de fixação de fósforo do solo e da competição com a microbiota. *Revista Brasileira de Geografia Física* 13, 1062-1079.
- Luginbuehl, L. H., Oldroyd, G. E., 2017. Understanding the arbuscule at the heart of endomycorrhizal symbioses in plants. *Current Biology* 27 (17), 952-963.
- McGonigle, T. P.; Miller, H. M.; Evans, D. G.; Fairchild, G. L.; Swan, J. A., 1990. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular—arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 115 (3) 495-501.
- Mercado-Blanco, J., Abrantes, I., Barra Caracciolo, A., Bevivino, A., Ciancio, A., Grenni, P., Hryniewicz, K., Kredics, L., Proença, D. N., 2018. Belowground microbiota and the health of tree crops. *Frontiers in microbiology*, 9, 1006.
- Mohandas, S., 2012. Arbuscular mycorrhizal fungi benefit mango (*Mangifera indica* L.) plant growth in the field. *Scientia Horticulturae* 143, 43-48.
- Montilla, E., Rivera, R. A., Herrera, R. A., Fernández, F., 2005. Caracterización espacial-temporal de la micorriza nativa de dos plantaciones de cafeto en Cuba. *Cultivos Tropicales* 26 (4).
- Nunes, M. S., Soares, A. C. F., Soares Filho, W. S., Lêdo, C. A S., 2006. Colonização micorrízica natural de porta-enxertos de citros em campo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41 (3), 525-528.
- Oliveira, G.P., 2020. Uso do paclobutrazol na produção de manga. *Research, Society and Development* 9 (7), e939975183. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i7.5183>
- Palla, M., Turrini, A., Cristani, C., Caruso, G., Avio, L., Giovannetti, M., Agnolucci, M., 2020. Native mycorrhizal communities of olive tree roots as affected by protective green cover and soil tillage. *Applied Soil Ecology*, 149, 103520.
- Pontes, J. S., Oehl, F., Pereira, C. D., Machado, C. T. T., Coyne, D., Silva, D. K. A., Maia, L. C., 2017. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the Brazilian's Cerrado and in soybean under conservation and conventional tillage. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.04.023>
- Prates Júnior, P., Moreira, B. C., Silva, M. C. S., Veloso, T. G. R., Sturmer, S. L., Fernandes, R. B. A., Mendonça, E. S., Kasuya, M. C. M., 2019. Agroecological coffee management increases arbuscular mycorrhizal fungi diversity. *Plos One* 8. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209093>
- Reddy, B., Bagyaraj, D. J., 1994. Selection of efficient vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for inoculating the mango rootstock cultivar Nekkare. *Revista Scientia Horticulturae* 59 (1), 69-73.
- Reis, R.J.A., Campos, S. A., Martins, G. S. L., Jesus, E. L., Bastiani, M. L. R., Campos, A. N. R. 2012. Efeitos de plantas de cobertura nas associações do milho (*Zea mays* L.) com fungos benéficos do solo. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável* 2 (2). Disponível em: <https://doi.org/10.21206/rbas.v2i2.169>
- Rillig, M. C., Aguilar-Trigueros, C. A., Camenzind, T., Cavagnaro, T. R., Degruene, F., Hohmann, P., Lammel, D. R., Mansour, I., Roy, J., van der Heijden, M. G. A., Yang, G. 2019. Why farmers should manage the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytol*, 222: 1171-1175. doi:10.1111/nph.15602
- Santos, H. C., Oliveira, F. H. T., Souza, A. P., Salcedo, I. H., Silva, V. D. M., 2016. Disponibilidade de fósforo em função do seu tempo de contato com diferentes solos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 20 (11), 996-1001.
- Santos, T. E. B., Souza, A. G. V., Silva, K. D., Bueno, L. L., Beserra, G. A., 2020. Agricultura orgânica e a microbiota do solo. *Revista Agrotecnologia*, 11 (1), 95-102.
- Scrase, F. L., Sinclair, J. F., Farrar, P. S., Pavinato, F. M., Jones, D. L., 2019. Mycorrhizas improve the absorption of non-available phosphorus by the green manure *Tithonia diversifolia* in poor soils. *Rhizosphere* 9, 27-33.
- Silva, E. P., Gomes, V. F. F., Mendes Filho, P. F., Silva Júnior, J. M. T., Almeida, A. M. M., 2016. Mudras de sabiá colonizadas com fungos micorrízicos arbusculares nativos e adubadas com fosfato natural e material orgânico. *Revista Científica Rural* 18, 83-99.
- Silvana, V. M., Carlos, F. J., Lucía, A. C., Natalia, A., Marta, C., 2020. Colonization dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in *Ilex paraguariensis* crops: Seasonality and influence of management practices. *Journal of King Saud University-Science*, 1-6.

- Smith, S. E., Read, D. J. 2008. Mycorrhizal Symbiosis. Cambridge: Academic Press.
- Souza, S. F., Silva, J. L. M., Guedes, J. P. M., Lima, J.R.F., 2016. Mecanismos de transmissão de preços entre os mercados doméstico e externo: uma análise sobre as exportações brasileiras de manga entre 2003 e 2013. *Revista de Economia Agrícola* 63(2), 5-20.
- Tedersoo, L., Bahram, M., 2019. Mycorrhizal types differ in ecophysiology and alter plant nutrition and soil processes. *Biological Reviews* 94, 1857–1880. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/brv.12538>
- Teixeira, P. C., Donagemma, G. K., Fontana, A., Teixeira, W. G., 2017. Manual de métodos de análises de solos. 3 ed. Brasília: Embrapa.
- Wang, P., Zhang, J. J., Xia, R. X., Shu, B., Wang, M. Y., Wu, Q. S., Dong, T., 2016. Arbuscular mycorrhiza, rhizospheric microbe populations and soil enzyme activities in citrus orchards under two types of no-tillage soil management. *Spanish journal of agricultural research*, 4, p. 1307- 1318.
- Withers, P. J. A., Rodrigues, M., Soltangheisi, A., Carvalho, T. S., Guilherme, L. R. G., Benites, V. M., Gatiboni, L. C., Sousa, D. M. G., Nunes, R. S., Rosolem, C. A., Andreote, F. D., Oliveira Jr., A. Coutinho, E. L. M., Pavinato, P. S., 2018. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. *Scientific Reports* 8:2537. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20887-z>