



Micorrizas arbusculares em plantas de cobertura usadas na adubação verde de pomar de mangueiras no semiárido

Arbuscular mycorrhizae on cover crops used in green manuring of mango orchards in semiarid

Maria Eduarda Lima Braz^a, Virgínia de Souza Pereira^a, Vanderlise Giongo^b, Regina Lucia Felix de Aguiar Lima^a

^a Universidade de Pernambuco-UPE, Campus Petrolina, Programa de Pós-Graduação em Ciências e tecnologia ambiental-PPGCTA, Departamento de Ciências Biológicas. Rodovia BR 203, Km 2, s/n, Vila Eduardo, Petrolina, Pernambuco, Brasil. CEP: 56328-900. E-mail: karinnealbupradocampos@gmail.com, regina.aguiar@upe.br, virginiaspereira@yahoo.com.br.

^b Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA. BR-428, Km 152, s/n, Zona Rural, Petrolina, Pernambuco, Brasil. CEP: 56302-970. E-mail: vanderlise.giongo@embrapa.br.

ARTICLE INFO

Recebido 21 Out 2021

Aceito 20 Mai 2024

Publicado 20 Ago 2024

ABSTRACT

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are associated with plant roots forming an arbuscular mycorrhizal symbiosis. Different agricultural management, such as green manure, can affect productivity and native soil AMF. This study aimed to evaluate the degree of mycorrhizal colonization of plants used for green manure in irrigated mango cultivation in the semiarid region. The field experiment was carried out in randomized blocks, in a 3x2 factorial scheme, with three types of green manure: mix planting 1 (MP1 - 75% legumes and 25% non-legumes crops), mix planting 2 (MP2 - 25% legumes and 75% non-legume crops), and spontaneous vegetation from the caatinga (MPC) and two types of fertilizer application (surface deposition - without turning over and incorporation into the soil - with turning), with four repetitions. Plants for green manure were planted between the rows of mango trees, kept for 70 days, and then the phytomass was cut and applied to the soil. The roots were evaluated for the degree of colonization, and the data were submitted for analysis of variance and the Tukey test (5%). The degree of total mycorrhizal colonization ranged from 60 to 90%, with higher means in MP1 and MP2 and a decrease in colonization in MP1 in the disturbed soil. The degree of vesicular colonization ranged from 20% to 40%, and the revolving negatively affected the MP1. Arbuscular colonization ranged from 10 to 25%, and turning stimulated the production of arbuscles in the MPC.

Keywords: Arbuscular mycorrhizal fungi, mixed plant, Caatinga, soil disturbance, legume.

RESUMO

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) se associam às raízes das plantas formando a simbiose micorrízica arbuscular. Os diferentes manejos agrícolas como a adubação verde podem afetar a produtividade e os FMA nativos do solo. O estudo objetivou avaliar o grau de colonização micorrízica das plantas usadas para adubação verde no cultivo irrigado de mangueiras no Semiárido. O experimento de campo foi realizado em blocos ao acaso, no esquema fatorial 3x2, com três tipos de adubação verde: coquetel vegetal 1 (CV1 - 75% leguminosas e 25% não leguminosas), coquetel vegetal 2 (CV2 - 25% leguminosas e 75% não leguminosas), e vegetação espontânea da caatinga (VEC) e dois tipos de aplicação de adubo (deposição superficial - sem revolvimento e incorporação ao solo - com revolvimento), com quatro repetições. O cultivo da adubação verde foi feito nas entrelinhas do pomar de mangueiras e, após 70 dias, a fitomassa foi cortada e



aplicada ao solo. As raízes foram avaliadas quanto ao grau de colonização e os dados submetidos à análise de variância e teste de Tukey (5%). O grau de colonização micorrízica total variou entre 60 a 90%, com maiores médias no CV1 e CV2, e com diminuição da colonização no CV1 no solo revolvido. O grau de colonização vesicular variou entre 20 a 40%, o revolvimento afetou negativamente o CV1. A colonização arbuscular variou entre 10 a 25%, o revolvimento estimulou a produção de arbúsculos na VEC.

Palavras-Chave: Fungos micorrízicos arbusculares, coquetel vegetal, caatinga, revolvimento do solo, leguminosa.

Introdução

Fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) fazem parte da biota natural do solo, de ambientes naturais ou agrários (Smith & Read, 2008; Rillig et al., 2018). Estabelecem uma simbiose entre a micorriza arbuscular (MA) com as plantas, colonizando o córtex das raízes, onde formam hifas, vesículas e arbúsculos (Smith & Read, 2008).

As hifas dos FMAs se espalham no solo, incrementando o volume explorado pelas raízes, aumentando a absorção de água e nutrientes para as plantas (Smith & Read, 2008; Lima et al., 2013). Em troca, fornecem fotossintatos aos FMAs, principalmente via arbúsculos. O excedente do material é estocado em vesículas (Luginbuehl & Oldroyd, 2017; Rich et al., 2017).

Os esporos dos FMAs são estruturas de reprodução, formadas, principalmente, no solo rizosférico. A permanência dos FMAs nos solos agrícolas está relacionada com a presença de esporos viáveis e outros propágulos (rede de hifas e raízes colonizadas), as quais contribuem para a infectividade micorrízica do solo (Aguiar, Salcedo & Fraga 2007; Smith & Read, 2008; Lima et al., 2013).

A microbiota do solo apresenta um equilíbrio dinâmico com o ambiente, mantido em resposta às condições prevalentes durante o cultivo (Cappelli et al., 2022). Em ambientes tropicais, os FMAs apresentam resiliência às condições edafoclimáticas prevalentes e às perturbações decorrentes da atividade agrícola (Aguiar, Salcedo & Fraga 2007; Pereira, Giongo & Lima, 2021; Silva, Giongo & Lima, 2021).

No semiárido brasileiro, parte das áreas de Caatinga apresentou o uso modificado para cultivos e pastagens (Sampaio, 2010; Projeto Mapbiomas, 2021). Essa conversão modifica a relação entre os componentes bióticos e abióticos do ecossistema, incluindo a associação com os FMAs. A presença de FMAs tem sido verificada em áreas agrícolas do semiárido, em sistemas irrigados ou de sequeiro, dependente de chuva (Silva et al., 2020; Pereira, Giongo & Lima, 2021; Silva, Giongo & Lima, 2021).

Os projetos de irrigação no semiárido brasileiro viabilizaram a implantação e a expansão da fruticultura na região (Sampaio et al., 2009;

Lima et al., 2021). A manga é uma das frutas mais produzidas no Brasil e a mais exportada em 2021 (Anuário Brasileiro de Horti & Fruti, 2022). No polo de fruticultura irrigada em Pernambuco (Petrolina) e Bahia produz-se cerca de 70% dos frutos de mangueira do país (Lima et al., 2021; Anuário Brasileiro de Horti & Fruti, 2022).

A mangicultura se destaca devido à grande extensão de área cultivada, ao volume de produção e à qualidade dos frutos, tudo isso resulta em desenvolvimento econômico e social para a região (Mouco, 2015; Lima et al., 2021; Anuário Brasileiro de Horti & Fruti, 2022).

O manejo da mangicultura pode incluir práticas como irrigação, utilização de fertilizantes, herbicidas, defensivos, revolvimento do solo, capina da vegetação espontânea na área do pomar e adubação orgânica (Mouco, 2015).

Essas práticas podem afetar diferentemente os aspectos relacionados com a microbiota do solo, como a estrutura física, a fertilidade e a biodiversidade (Balota, 2017; Cappelli et al., 2022), e podem resultar em benefícios ou prejuízos para a produção e a sustentabilidade do agrossistema (Rillig et al., 2018; Schneider et al., 2019).

Manejos de adubação orgânica (verde ou com esterco) aumentam a matéria orgânica do solo e podem afetar, diversamente, os propágulos de FMA e o grau de colonização de plantas cultivadas (Sousa et al., 2012; Lima Filho et al., 2014; Lima Filho et al., 2023).

A adubação verde contribui para a ciclagem de nutrientes, tem potencial para melhorar a qualidade do solo, aumentar a produtividade agrícola e ajuda a prevenir ou reverter processos de degradação do solo (Lima Filho et al., 2014; Balota, 2017). As plantas cultivadas para adubação verde aumentam o potencial de inóculo dos FMAs, prática importante em monocultivos (Colozzi Filho & Cardoso, 2000; Alves et al., 2014; Cappelli et al., 2022).

Na adubação verde pode-se usar plantas de uma só espécie ou uma mistura de plantas, derivadas da vegetação nativa ou de coquetéis vegetais, produzidos com o cultivo de leguminosas, oleaginosas e gramíneas, as quais

podem variar em micotrofia (Sousa et al., 2012; Lima Filho et al., 2014; Lima Filho et al., 2023).

Manejos de aplicação da adubação verde, com revolvimento do solo, resultam na mistura dos horizontes, quebra da rede de hifas de FMAs e podem resultar em redução do grau de colonização micorrízica das plantas (Pereira, Giongo & Lima, 2021; Silva, Giongo & Lima, 2021).

Neste estudo o objetivo foi avaliar a ocorrência de colonização micorrízica e de esporos de FMAs em plantas para adubação verde cultivadas na entrelinha de um pomar de mangueiras no semiárido brasileiro.

O conhecimento sobre a influência do manejo agrícola nos FMAs pode contribuir para a percepção dos serviços ecossistêmicos e da sustentabilidade da agricultura na região.

Material e Métodos

O estudo foi realizado em experimento de campo, com longa duração, em pomar de mangueiras (*Mangifera indica* L. cv. Kent), localizado na Estação Experimental Bebedouro da Embrapa Semiárido, em Petrolina-Pernambuco.

A estação experimental situada em área de clima semiárido quente (BSwh), com temperatura média anual igual a 26,3°C, precipitação baixa, com média de 208,2 mm (Tabela 1). O período chuvoso é irregular temporal e espacialmente, mas ocorre geralmente entre os meses de novembro e abril.

Tabela 1. Médias (M) e desvio padrão (DP) dos dados meteorológicos da Estação Experimental Bebedouro no período do experimento. Fonte: Braz et al. (2021).

	T	Tmax	Tmin	P	UR	E
	(°C)	(°C)	(°C)	(mm)	(%)	(mm)
M	26,30	32,6	20,70	208,2	56,5	1934,5
DP	0,96	1,3	0,67	86,2	3,1	128,5

T = temperatura; Tmax = temperatura máxima; Tmin = temperatura mínima; P = precipitação; UR = umidade relativa; E = evaporação.

Histórico da área e do experimento de campo

A área do experimento era coberta anteriormente por vegetação do tipo caatinga hiperxerófila, tendo mudado o uso do solo na década de 1970, com a implantação da estação, com uso subsequente para culturas diversas. No período imediatamente anterior à implantação do pomar de mangueiras, continha um pomar de tamareiras.

O ponto central da área do experimento tem como coordenadas geográficas na latitude Sul 09°09' e na longitude Oeste 40°22', com altitude

média igual a 365,5 m. O relevo é plano, com solo do tipo argissolo vermelho amarelo.

O experimento foi implantado no ano de 2008, com plantio de mudas de mangueira em manejo que inclui a aplicação anual de adubação verde com uso de plantas de cobertura cultivadas nas entrelinhas do pomar.

A aplicação da adubação verde por deposição na superfície do solo ou por incorporação da fitomassa ao solo, com revolvimento.

A coleta de amostras para esse estudo sobre a condição micorrízica das plantas de cobertura foi feita em 2018, após 10 anos da implantação do experimento.

Delineamento experimental e manejo

O experimento tem delineamento de blocos ao acaso, em esquema fatorial 3 x 2, sendo três tipos de adubação verde, e duas formas de aplicação da fitomassa, com quatro repetições. As plantas para adubação verde foram cultivadas nas entrelinhas das mangueiras e a seguir aplicados no experimento.

Os blocos do experimento foram constituídos por duas parcelas e seis subparcelas. As parcelas tiveram como fator as duas formas de aplicação da adubação verde ao solo (deposição/revolvimento), com área de 24 m x 45 m. Cada parcela dividida em três subparcelas, conforme os tipos de adubo verde (Figura 1).

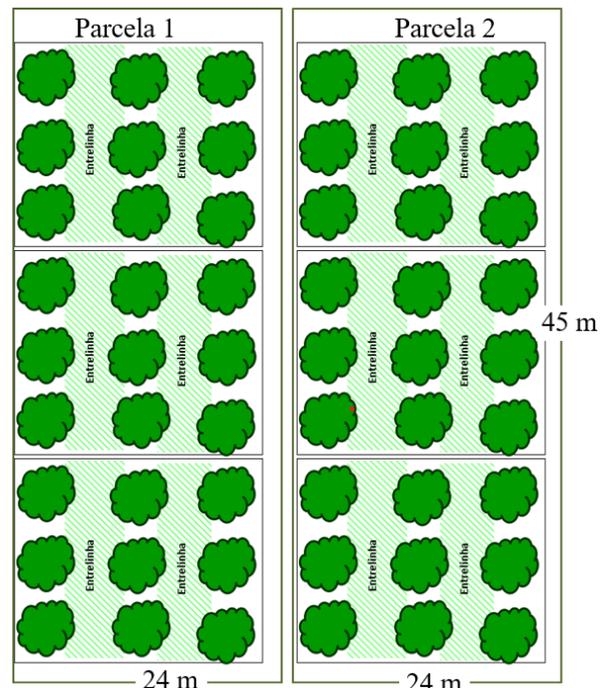


Figura 1: Representação de um bloco (48 m x 45 m) do experimento, com 2 parcelas (24 m x 45 m) e 6 subparcelas (24 m x 15 m). Fonte: Braz et al. (2021).

Dentre os três tipos de adubação verde utilizados, dois eram coquetéis vegetais de diferentes composições (leguminosas e não leguminosas), denominados coquetel vegetal 1 (CV1) e coquetel vegetal 2 (CV2). O terceiro tipo de adubação verde foi constituído por plantas da caatinga com ocorrência natural, tendo sido denominada de vegetação espontânea (VE).

Os tratamentos com coquetéis vegetais foram constituídos com a combinação de espécies leguminosas e de não leguminosas (oleaginosas e gramíneas), para isso utilizou-se proporções diferentes de sementes.

Cada subparcela com área de 24 m x 15 m (Figura 2), constituída por nove mangueiras dispostas em três linhas separadas por 8 m entrelinhas. Em cada linha foi constituída por três árvores, distantes 5 m entre si, totalizando 54 árvores por bloco (Figura 1).

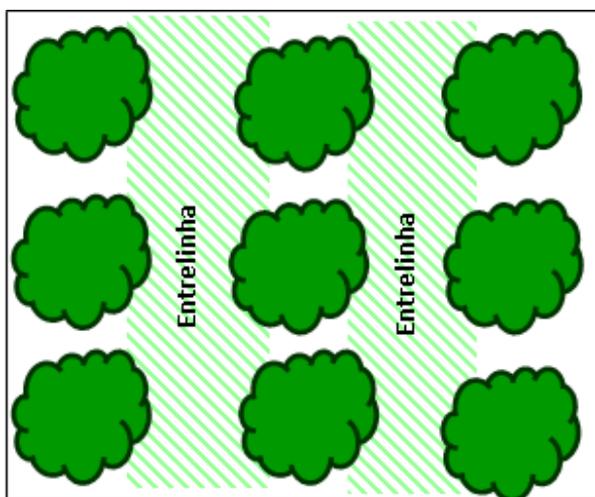


Figura 2. Representação de uma subparcela dos blocos do experimento mostrando a disposição das mangueiras e da área de entrelinha cultivada com plantas para adubação verde. Área da subparcela 15 m x 24 m. Fonte: Braz et al. (2021).

O CV1 foi constituído por uma mistura de plantas com 75% de leguminosas e 25% de não-leguminosas, enquanto o CV2, constituído por 25% de leguminosas e 75% não-leguminosas.

As espécies de leguminosas incluídas nos coquetéis vegetais foram: *Crotalaria spectabilis* Roth, *Crotalaria juncea* L., *Canavalia ensiformis* (L.) D.C. (feijão de porco), *Calopogonium mucunoides* Desv. (calopogônio), *Stizolobium aterrimum* Piper & Tracy. (mucuna preta), *Cajanus cajan* (L.) Millsp. (feijão guandu), *Dolichos lablab* L. e *Mucuna cochinchinensis* (Lour.) A.Chev. (mucuna cinza).

As espécies de não leguminosas incluíam: *Helianthus annuus* L. (girassol), *Ricinus communis* L. (mamona), *Sesamum indicum* L.

(gergelim), *Zea mays* L. (milho), *Pennisetum americanum* (L.) Leeke (milheto) e *Sorghum vulgare* Pers. (sorgo).

O tratamento com vegetação espontânea teve composição variada, com espécies vegetais que ocorreram, naturalmente, nas entrelinhas das mangueiras. Verificou-se a presença dos gêneros *Acanthospermum*, *Amaranthus*, *Commelina*, *Dactyloctenium*, *Desmodium*, *Digitaria*, *Euphorbia*, *Ipomoea*, *Macroptilium*, *Waltheria* e *Tridax*.

As plantas para adubação verde foram cultivadas (coquetéis vegetais), anualmente, nas entrelinhas do pomar, por um período de, aproximadamente, 70 dias (tempo para estarem na fase de floração). Nesse mesmo período do cultivo de coquetéis vegetais, as plantas da vegetação espontânea se estabeleceram e se desenvolveram, naturalmente, nas entrelinhas. Ao final desse período, fez-se a aplicação, no solo, da fitomassa produzida.

A aplicação da fitomassa foi realizada de duas formas: por deposição na superfície do solo, após o corte da parte aérea, nesse caso sem revolvimento do solo; ou por incorporação da fitomassa ao solo, feita por revolvimento com uso de gradagem na profundidade de 40 cm.

O manejo do experimento incluiu a aplicação de adubação verde, anualmente, com irrigação diária e fertilização mineral, aplicadas por fertirrigação, correspondendo a 70% da recomendação para a cultura, corrigida para chuva.

Amostragem

A coleta de amostras em 2018 foi realizada na entrelinha do pomar de mangueiras, na rizosfera de plantas de cobertura cultivadas para adubação verde.

As amostras continham solo rizosférico e raízes das plantas de cobertura e foram coletadas na camada de 0-10 cm do solo, com quantidade de solo e raízes variável.

O número total de amostras coletadas para esse estudo foi igual a 120, distribuídos da seguinte forma: 48 amostras em CV1 + 48 em CV2 + 24 na VE.

A coleta nas subparcelas com CV1 incluiu três amostras em leguminosas + três em não leguminosas (seis amostras). Considerando as duas parcelas, totaliza 12 amostras por bloco. Nos quatro blocos, totaliza 48 amostras.

Nas subparcelas com CV2 a coleta foi igual à realizada no CV1, totalizando também 48 amostras.

Em cada subparcela com vegetação espontânea coletou-se amostras em três espécies

de plantas. Considerando as duas parcelas, foram totalizadas seis amostras por bloco; considerando os quatro blocos, foram totalizadas 24 amostras.

Nos CVs, as espécies leguminosas coletadas foram: *Canavalia ensiformis* (feijão de porco), *Stizolobium aterrimum* (mucuna preta) e *Mucuna cochinchinensis* (mucuna cinza). As espécies de não leguminosas foram: girassol, mamona e milheto.

Nos tratamentos com vegetação espontânea coletaram-se três espécies de plantas, dentre as que se repetiram em todas as parcelas.

Processamento das amostras

As raízes presentes nas amostras foram catadas do solo, lavadas e preparadas para avaliação da colonização micorrízica da seguinte forma: clareamento com solução de KOH (2,5% p:v) por 24 horas, despigmentação em solução de água oxigenada alcalina por 45 minutos, acidificação com solução de HCl (1% v:v) por uma hora, coradas com azul de tripano (0,01% p:v) durante 24 horas, segundo metodologia modificada por Johnson, O'Dell & Bledsoe (1999). Após o processo de coloração, as raízes

foram lavadas e conservadas em solução de lactoglicerol. A avaliação do grau de colonização micorrízica total, vesicular e arbuscular das raízes de mangueira foi realizada pelo método da análise de segmentos (McGonigle et al., 1990).

As amostras de solo secas ao ar foram usadas para a extração de esporos, por peneiramento úmido e centrifugação em solução de sacarose. O número de esporos de FMA foi quantificado por contagem ao microscópio estereoscópico em placa canaletada, segundo metodologia modificada por Johnson, O'Dell & Bledsoe (1999)

Os dados de colonização radicular e de número de esporos foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), com utilização do programa Statistica (Statsoft, 2020).

Resultados e Discussão

O grau de colonização micorrízica total das plantas utilizadas para adubação verde foi alto, de modo geral, com médias variando entre 60% e 90% (Figura 3).

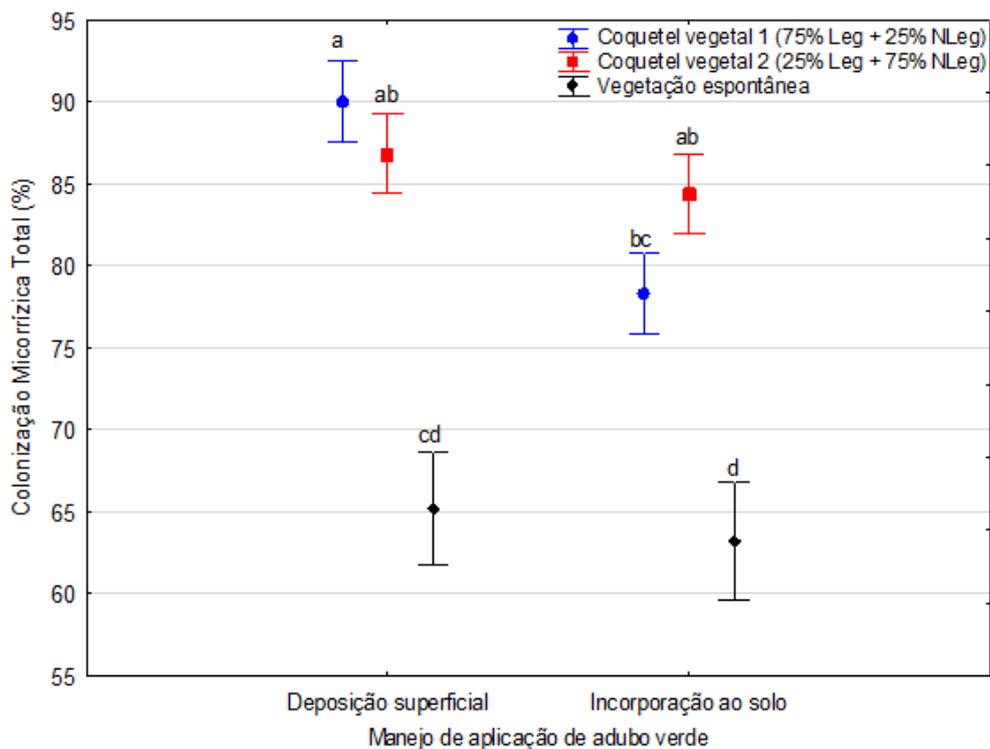


Figura 3. Grau de colonização micorrízica total (%) das plantas para adubação verde cultivadas nas entrelinhas de mangueiras, em manejo de aplicação da adubação verde com ou sem revolvimento do solo. Médias (\pm erro padrão) seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Leg: leguminosas, NLeg: não leguminosas. Fonte: Braz et al. (2021).

Isso reforça a importância dessa prática agrícola em monocultivos, se por um lado estimula-se a competição devido ao aumento de

densidade de raízes explorando o solo, por outro lado estimula-se também a comunidade microbiana do solo e proporciona-se proteção

física ao solo (Colozzi Filho & Cardoso, 2000; Alves et al., 2014; Cappelli et al., 2022).

Um alto grau de colonização micorrízica foi verificado também em plantas para adubação verde, em uma área de cultivo de meloeiro, com misturas de plantas cultivadas de composição igual à aplicada nesse estudo (CV1, CV2 e VE). As plantas dos coquetéis vegetais e da vegetação espontânea apresentaram médias com variação entre 77 e 80% (Santana, Aguiar & Giongo, 2013).

A colonização micorrízica total das plantas do CV1 foi maior no tratamento de aplicação da fitomassa por deposição superficial do que no tratamento de aplicação da fitomassa por incorporação ao solo (Figura 3). Havendo interação entre tipos de adubação verde e a forma de aplicação da fitomassa.

A diminuição no grau de colonização micorrízica em manejos com revolvimento do solo é atribuída à quebra da rede micelial (de hifas de FMAs) no solo, à exposição de propágulos de FMA (esporos, hifas, raízes micorrizadas) à radiação solar, com perda da viabilidade desses propágulos (Jasper Abbott & Robson, 1989). As características variadas das plantas de cobertura podem resultar em variações na suscetibilidade delas a essas perturbações.

As plantas do CV2 e da vegetação espontânea não apresentaram diferença no grau de colonização micorrízica devido à forma de aplicação da fitomassa ao solo, como se verificou no CV1 (Figura 3). As misturas de plantas do CV2, com predomínio de gramíneas e oleaginosas (75%) e da vegetação espontânea da Caatinga, apresentaram menor sensibilidade ao revolvimento do solo, mantendo a micotrofia mesmo em ambiente perturbado. Essa menor susceptibilidade pode se dever ao fato das plantas espontâneas serem mais adaptadas às condições ambientais prevalentes dos ecossistemas onde ocorrem e as gramíneas apresentarem um sistema radicular fasciculado (Colozzi Filho & Cardoso, 2000; Alves et al., 2014).

O grau de colonização micorrízica, de modo geral, foi menor nas parcelas com manejo por revolvimento do solo (Figura 3), o qual é feito com uso de maquinaria agrícola. A aplicação da fitomassa por deposição superficial mostrou-se

mais favorável à colonização micorrízica, contudo ela requer a utilização de mão de obra para realização da capina. A adoção de uma dessas diferentes práticas de aplicação de fitomassa depende de fatores como a acessibilidade aos agricultores, dos custos associados, da mão de obra disponível ou do acesso a maquinário.

Considerando-se para a colonização micorrízica apenas o efeito da forma de aplicação da fitomassa nos dois coquetéis vegetais (Figura 3), verificou-se que, na parcela com revolvimento do solo, o CV2 apresentou maior média, sem diferença estatística. Na parcela com deposição superficial, os coquetéis vegetais 1 e 2 apresentaram resultados semelhantes. Assim, ambos os coquetéis podem ser recomendados para aplicação em pomar de mangueiras e, possivelmente, seja igualmente benéfico para aplicação em outras fruteiras arbóreas.

O grau de colonização micorrízica total das plantas dos coquetéis vegetais apresentou maiores médias (75 a 90%) que as plantas da vegetação espontânea (60 a 70%), independentemente da forma de aplicação da fitomassa (Figura 3). Isto pode estar relacionado com a maior estabilidade das plantas da vegetação espontânea dentro do ecossistema nativo, conferindo-lhes menor grau de micotrofia, como verificado no estudo de Silvestrini (2005).

Considerando que a implantação de coquetéis vegetais para adubação verde tem custos relativos à compra de semente e de mão de obra para o plantio, a utilização da vegetação espontânea é uma boa opção para esse fim, pois também resulta em colonização micorrízica alta (> 60%), sem os custos inerentes à implantação de CVs. Assim, apesar de resultados superiores do grau de colonização micorrízica dos CVs (Figura 3), os resultados das espontâneas são também vantajosos para agricultores em relação à qualidade do solo, com alta infectividade por FMAs.

O grau de colonização vesicular das plantas utilizadas para adubação verde apresentou médias variando entre 20 e 40% (Figura 4A). Não houve interação entre os tipos de adubação verde e a forma de aplicação da fitomassa ao solo, tampouco houve efeito isolado da forma de aplicação do adubo.

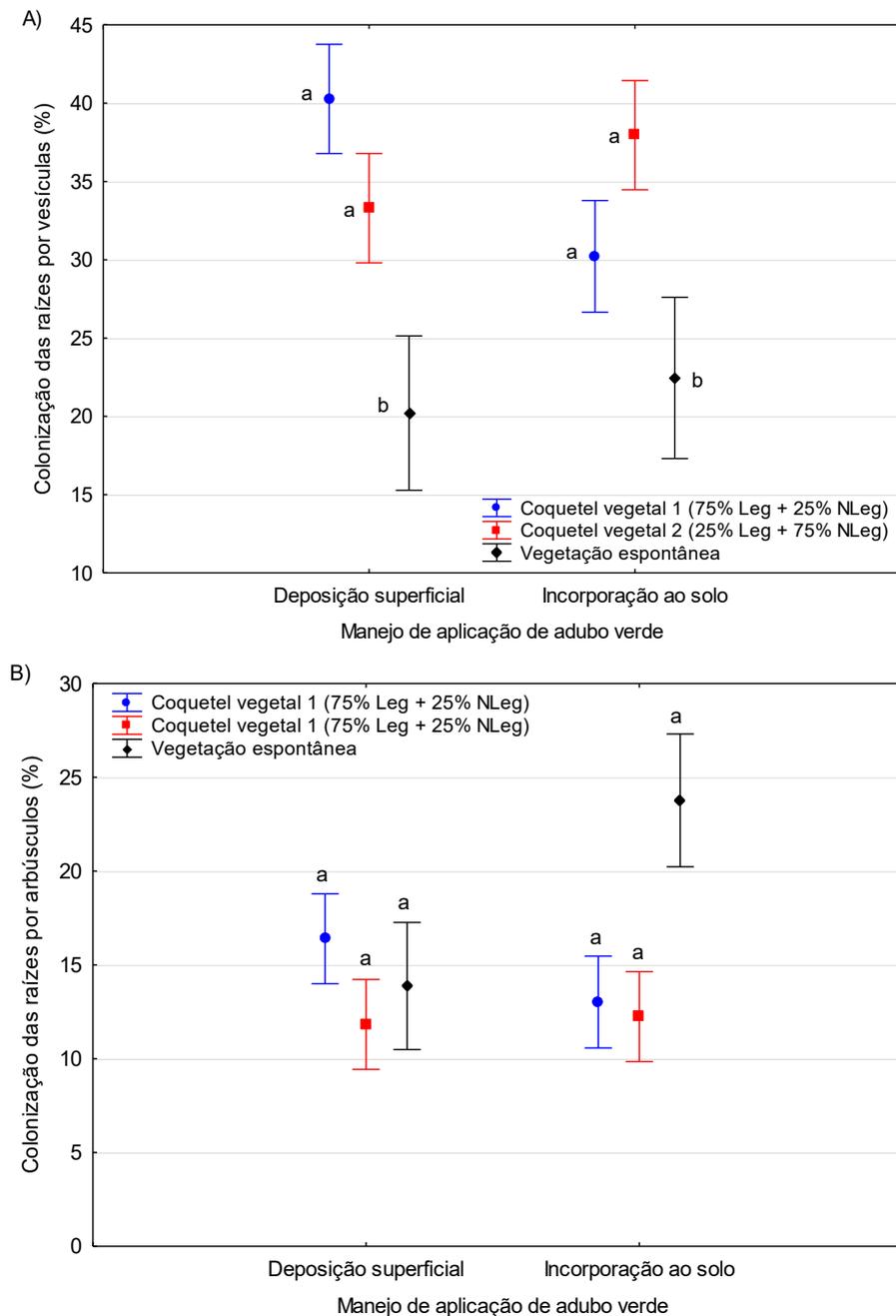


Figura 4. Grau de colonização por vesículas (A) e por arbúsculos (B) de fungos micorrízicos arbusculares nas raízes das plantas para adubação verde, cultivadas nas entrelinhas de mangueiras, em manejo de aplicação da adubação verde com ou sem revolvimento do solo. Médias (\pm erro padrão) com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Leg: leguminosas, NLeg: não leguminosas. Fonte: Braz et al. (2021).

De modo geral, a colonização vesicular (Figura 4A) apresentou tendências semelhantes à colonização micorrízica total (Figura 3), em relação aos tipos de adubo verde, visto que nos coquetéis vegetais a proporção de vesículas foi maior que na vegetação espontânea.

As vesículas são estruturas dos FMAs que funcionam como reserva energética, é formada pela dilatação terminal de uma hifa decorrente do acúmulo de substâncias lipídicas formadas a partir

dos nutrientes fornecidos pelas plantas (Smith & Read, 2008; Rich et al., 2017).

A formação de vesículas pode estar relacionada ao manejo agrícola do pomar (adubação e irrigação) e à fase das plantas (Pereira, Giongo & Lima, 2021). Vesículas são encontradas em maior proporção em caso de limitação de nutrientes para as plantas ou final do ciclo de vida (em plantas de ciclo curto) ou do ciclo produtivo, no caso de plantas perenes (Pereira, Giongo & Lima, 2021; Silva, Giongo &

Lima, 2021). Essas estruturas contribuem para a resiliência dos FMAs em permanecer em um determinado ambiente (Smith & Read, 2008; Rich et al., 2017).

A colonização arbuscular das plantas utilizadas para adubação verde apresentou médias variando entre 10 e 25% (Figura 4B). Os tipos de adubação verde aplicados e a forma de aplicação da fitomassa ao solo não produziram diferenças entre os tratamentos. Não houve interação entre os tipos de adubação verde aplicados e a forma de aplicação da fitomassa ao solo.

Os arbúsculos são os locais principais para realização das trocas de nutrientes entre os simbioses, onde os FMAs fornecem minerais às plantas e recebem delas fotossintatos. Essas estruturas têm grande área superficial, devido às ramificações dicotômicas sucessivas das hifas que as formam e estão presentes quando a simbiose está em pleno funcionamento (Smith & Read, 2008; Luginbuehl & Oldroyd, 2017). Contudo são estruturas temporárias, havendo indicativo de que sua maior proporção nas raízes possa estar associada com a fase reprodutiva das plantas

(Pereira, Giongo & Lima, 2021; Silva, Giongo & Lima, 2021).

A colonização arbuscular das plantas apresenta médias baixas em comparação à colonização total, contudo em outros estudos a presença de arbúsculos é geralmente bem mais baixa que a total. Essa proporção de presença de arbúsculos pode estar relacionada tanto ao período de coleta das amostras, quanto à adubação do experimento, diminuindo a necessidade da associação com FMAs.

A colonização arbuscular na vegetação espontânea teve aumento na área com revolvimento do solo, mas sem diferenças estatísticas (Figura 4B). As diferentes composições dos coquetéis vegetais e formas de aplicação da fitomassa não produziram diferenças na colonização arbuscular (Figura 4B).

O número médio de esporos de FMAs em 50 g de solo variou aproximadamente entre 20 e 100 esporos no manejo de aplicação da fitomassa por deposição superficial, e entre 30 e 40 esporos no de aplicação por incorporação ao solo (Figura 5)

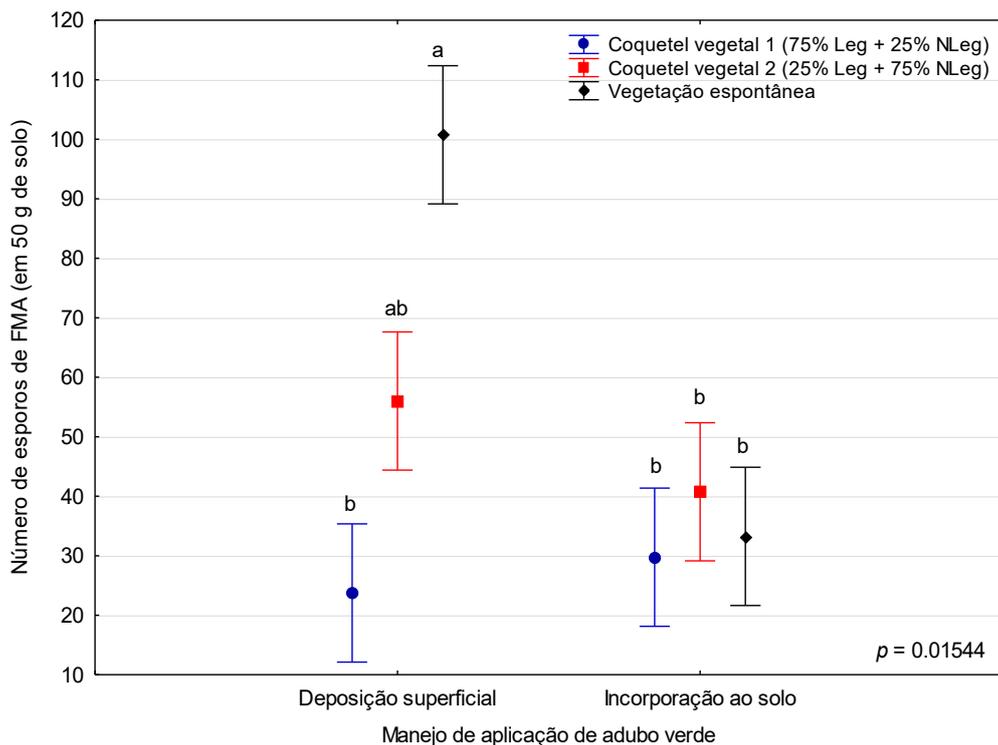


Figura 5. Número de esporos de FMA (fungos micorrízicos arbusculares) em 50 g do solo rizosférico de plantas para adubação verde, cultivadas nas entrelinhas de mangueiras, em manejo de aplicação da adubação verde com ou sem revolvimento do solo. Médias (\pm erro padrão) com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Leg: leguminosas, NLeg: não leguminosas. Barras verticais: \pm erro padrão. Fonte: Braz et al. (2021).

O número de esporos de FMAs no manejo por deposição superficial contendo vegetação

espontânea foi maior que no CV1, enquanto o CV2 apresentou valor intermediário (Figura 5).

O manejo com aplicação de adubo por incorporação da fitomassa ao solo, por revolvimento, apresentou baixa quantidade de esporos (menor que 1 esporo por grama de solo), independente dos tipos de plantas para adubação verde (Figura 5). Essa quantidade de esporos após revolvimento do solo foi registrada em um experimento de cultivo de meloeiro em área adjacente ao pomar de mangueiras desse estudo (Silva, Giongo & Lima, 2021) e na rizosfera das mangueiras desse pomar (Pereira, Giongo & Lima, 2021).

Há registros para o semiárido brasileiro que o número de esporos geralmente é maior nas camadas superficiais do solo e decresce com o aumento da profundidade (Aguiar, Salcedo & Fraga 2007; Lima, Santos & Giongo, 2020). Isso também se verifica em outros ecossistemas (Smith & Read, 2008). O revolvimento do solo, feito até na camada de 0 a 40 cm, deve ter modificado a distribuição vertical dos esporos, produzindo um efeito de diluição dos esporos no perfil do solo.

Conclusão

As plantas cultivadas nas entrelinhas do pomar de mangueiras para adubação verde apresentaram colonização micorrízica em alta proporção.

Os coquetéis vegetais apresentaram colonização micorrízica total e vesicular maiores que na vegetação espontânea, especialmente no manejo de aplicação da adubação verde por deposição superficial.

O manejo com revolvimento do solo estimulou a colonização micorrízica das plantas do coquetel vegetal constituído por maior proporção de espécies de gramíneas e oleaginosas.

A colonização micorrízica das plantas espontâneas da caatinga foi semelhante nas duas formas de aplicação da adubação verde.

O número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares foi estimulado na rizosfera de plantas espontâneas da caatinga, no manejo com aplicação da adubação verde por deposição superficial.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Brasil (Código de Financiamento 001) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Edital PIBIC IC CNPq - UPE 2018/2019), pela concessão de bolsa à Maria Eduarda Lima Braz.

Referências

- Aguiar, R. L. F.; Salcedo, I. H.; Fraga, V. S. 2007. Propágulos de fungos micorrízicos arbusculares em solos deficientes em fósforo sob diferentes usos, da região semi-árida do nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31, 257-268. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000200008>
- 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. <https://doi.org/10.21206/rbas.v4i1.231>
- Anuário Brasileiro de Horti & Fruti. 2022. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2022. 96p.
- Balota, E. L. 2017. Manejo e qualidade biológica do solo. Londrina: Mecenas. 288p.
- Brandão, S. S.; Salviano, A. M.; Olszewski, N.; Giongo, V. 2017. Green manure contributing for nutrients cycling in irrigated environments of the Brazilian semi-arid. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 2, 4, 519-525. <https://doi.org/10.24221/jepa.2.4.2017.1499.519-525>
- Cappelli, S. L.; Domeignoz-Horta, L. A.; Loaiza, V.; Laine, A. L. 2022. Plant biodiversity promotes sustainable agriculture directly and via belowground effects. *Trends in Plant Science*. 14p. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.02.003>
- Colozzi Filho, A.; Cardoso, E. J. B. N. 2000. Detecção de fungos micorrízicos arbusculares em raízes de cafeeiro e de crotalaria cultivada na entrelinha. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35, 2033-2042. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000001000015>
- Jasper, D. A.; Abbott, L. K.; Robson, A. D. 1989. Soil disturbance reduces the infectivity of external hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 112, 1, 93-99. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1989.tb00313.x>
- 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. Standard soil methods for long-term ecological research. Oxford University Press, pp. 378-412.
- Lima Filho, O. F. D.; Ambrosano, E. J. Rossi, F.; Carlos, J. A. D. 2014. Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. Vol. 1. Brasília, DF: Embrapa. 507p.
- Lima Filho, O. F. D.; Ambrosano, E. J.; Wutke, E. B.; Rossi, F.; Carlos, J. A. D. 2023. Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. Vol. 2. Brasília, DF: Embrapa. 486p.
- Lima, C. E. P.; Santana, A. S.; Mergulhão, A. C. E. S.; Lima, R. L. F. A. 2013. Micorriza arbuscular: alternativa para uso na agricultura sustentável. In: Figueiredo, M. V. B. et al. Tecnologias potenciais para uma agricultura sustentável. Recife: Ipa/Emater/Seagri-AL, pp. 113-132.

- Lima, R. L. F. A.; Santos, G. C.; Giongo, V. 2020. Distribuição vertical de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em ambientes naturais ou cultivados no semiárido brasileiro. 17º Congresso Nacional do Meio Ambiente Poços de Caldas, Minas Gerais, Brasil.
- Lima, T. A.; Santos, L. S.; Gonçalves, M. V. S.; Oliveira, T. A. A.; Lima, J. R. F. 2021. A fruticultura como vetor do crescimento populacional do polo Petrolina-PE/Juazeiro-BA. In: Souza, M. M. A.; Diniz, L. F. A. C.; Silva, J. C. S.; Clementino, V. D. R.; Figueirêdo Neto, A. F. (orgs.) Desenvolvimento do semiárido: organizações, gestão, inovação & empreendedorismo. Minas Gerais: Poisson. Vol. 2, pp 73-82. <https://doi.org/10.36229/978-65-5866-041-5>
- Luginbuehl, L. H.; Oldroyd, G. E. 2017. Understanding the arbuscule at the heart of endomycorrhizal symbioses in plants. *Current Biology* 27, 17, 952-963. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.06.042>
- McGonigle, T. P.; Millers, M. H.; 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, 495-501. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1990.tb00476.x>
- Mouco, M. A. C. 2015. Cultivo de mangueira. 3 ed. Petrolina: Embrapa Semiárido, Sistemas de Produção, 2.
- Pereira, V. S.; Giongo, V.; Lima, R. L. F. A. 2021. Micorrizas arbusculares como indicador biológico para seleção de modelos de agroecossistemas multifuncionais: 2. frutícola. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14, 5, 3108-3124. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.5.p2592-2607>
- Projeto MapBiomias. 2021. Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra na Caatinga - Coleção 7. Disponível em: <https://mapbiomas.org/download-dos-atbds>
- Rich, M. K.; Nouri, E.; Courty, P. E.; Reinhardt, D. 2017. Diet of arbuscular mycorrhizal fungi: bread and butter? *Trends in Plant Science*, 22, 8, 652-660. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2017.05.008>
- Rillig, M. C.; Aguilar-Trigueros, C. A.; Camenzind, T.; Cavagnaro, T. R.; Degrunne, F.; Hohmann, P.; Lammel, D. R.; Mansour, I.; Roy, J.; Van Der Heijden, M. G. A.; Yang, G. 2018. Why farmers should manage the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *The New Phytologist*, 222, 3, 1171-1175. <https://www.jstor.org/stable/26675876>
- Sampaio, E. V. S. B. 2010. Caracterização do bioma caatinga: características e potencialidades. In: Garaglio, M. A.; Sampaio, E. V. S. B.; Cestaro, L. A.; Kageyama, P. Y. Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, pp. 29-48.
- Sampaio, E. V. S. B.; Araújo, M. S. B.; Salcedo, I. H.; Menezes, R. S. C. 2009. Agricultura sustentável no semi-árido nordestino. Recife: Ed. Universitária da UFPE. 152p.
- Santana, M. S.; Aguiar, R. L. F.; Giongo, V. 2013. Efeito de diferentes tipos de cobertura do solo sobre propágulos de fungos micorrízicos arbusculares. *Anais do XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, pp 1-4.
- Schneider, K. D.; Martens, J. R. T.; Zvomuya, F.; Reid, D. K.; Fraser, T. D.; Lynch, D. H.; O'halloran, I. P.; Wilson, H. F. 2019. Options for improved phosphorus cycling and use in agriculture at the field and regional scales. *Journal of Environmental Quality*, 48, 1247-1264. <https://doi.org/10.2134/jeq2019.02.0070>
- Silva, C. M.; Silva, P. B.; Prado, K. A. C.; Lima Junior, C.; Lima, R. L. F. A. 2020. Micorrizas arbusculares e mamoneira (*Ricinus communis* L.): 2. cultivo de sequeiro no semiárido. *Brazilian Journal of Development*, 6, 98964-98976. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n12-403>
- Silva, P. B.; Giongo, V.; Lima, R. L. F. A. 2021. Micorrizas arbusculares como indicador biológico para seleção de modelos de agroecossistemas multifuncionais: 1. olerícolas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14, 5, 2592-2607. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.5.p2592-2607>
- Silvestrini, C. M. A.; Carbone, C., M. A.; Barbosa P. H.; Saggin Junior, O. J. 2005. Colonização e densidade de esporos de fungos micorrízicos em dois solos do cerrado sob diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 35, 3, 147-153. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.02.003>
- Smith, S. E.; Read, D. J. 2008. Mycorrhizal symbiosis. 3 ed. London: Academic Press, 800p.
- Sousa, C. S.; Menezes, R. S. C.; Sampaio, E. V. S. B.; Oehl, F.; Maia, L. C.; Garrido, M. S.; Lima, F. S. 2012. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi after organic fertilization in maize, cowpea and cotton intercropping systems. *Acta Scientiarum Agronomy*, 34, 2, 149-156. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v34i2.13143>
- Statsoft, 2020. Statistica Software Program. Tulsa, Statistica Version 8.