

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE MESTRADO**

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM SISTEMAS
CACAU-CABRUCÁ NA REGIÃO SUL DA BAHIA**

MARIA APARECIDA NASCIMENTO SANTOS

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA
OUTUBRO - 2019**

FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM SISTEMAS CACAU-CABRUCÁ NA REGIÃO SUL DA BAHIA

MARIA APARECIDA NASCIMENTO SANTOS

Tecnóloga em Agroecologia

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, 2017

Dissertação apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Agrárias (Área de Concentração: Fitotecnia).

Orientadora: Profa. Dra. Carla da Silva Sousa

Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Gross

CRUZ DAS ALMAS - BAHIA

OUTUBRO - 2019

Ficha Catalográfica

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE MESTRADO**

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM SISTEMAS CACAU-
CABRUCÁ NA REGIÃO SUL DA BAHIA**

**COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DA DISSERTAÇÃO DE
MARIA APARECIDA NASCIMENTO SANTOS**

Realizada em 31 de Outubro de 2019

Profa. Dra. Leilane Silveira D'Ávila
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
Examinador Interno

Profa. Dra. Cristina Ferreira Nepomuceno
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
Examinador Externo

Profa. Dra. Carla da Silva Sousa
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Baiano - IFBaiano
Orientadora

DEDICATÓRIA

Dificuldades são obstáculos que nos trazem grandes aprendizados e nos torna mais resilientes. Nessa corrida por realização de sonhos e objetivos, Deus e a família se tornam nosso porto seguro, construindo bases sólidas que nos impulsionam a não desistir.

Ao meu Deus, à minha mãe Maria Helena Nascimento, meu esposo Elison Oliveira dos Santos, meu filho Luiz Felipe Santos Oliveira e meus irmãos: José Luis Nascimento, Maria de Fátima e Cintia Fernanda dedico com amor e gratidão a realização de mais um sonho.

AGRADECIMENTOS

A meu Deus, pela força que me deste para realizar mais um sonho, estando comigo em todos os momentos, especialmente nos momentos de dificuldades.

À minha família, meu esposo Elison Oliveira dos Santos que sempre me apoiou e me incentivou a continuar nos momentos difíceis que passei. A minha mãe Maria Helena Nascimento, quem desde o princípio acreditou em meu potencial, me auxiliando em todos os momentos. Ao meu filho Luiz Felipe Santos Oliveira, razão de todas as minhas realizações. Aos meus irmãos: José Luiz Nascimento, pelo apoio; Maria de Fátima Nascimento, sempre prestativa, me auxiliando em todos os momentos e Cintia Fernanda N. Pereira.

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, pela oportunidade de realizar este curso.

Ao Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias prof. Dr. Carlos Dórea, por todo apoio.

À Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), por conceder o espaço e materiais para realização das análises laboratoriais.

Ao Instituto Biofábrica de Cacau, especialmente a coordenadora Kaleandra, pela disponibilização dos materiais vegetais e de preparo das mudas de cacau, bem como a disponibilização de pessoal do corpo técnico do Instituto para auxiliar em todo processo de montagem do experimento.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro concedido.

À Professora Carla da Silva Sousa, pela orientação, amizade e ensinamentos.

Ao Professor Eduardo Gross, pela presteza e coorientação do meu trabalho, auxiliando na realização das análises em laboratório.

À doutoranda Viviane, por sua amizade e orientações em laboratório.

Ao doutorando Leoberto, por amizade e orientações em laboratório.

A pós-doc. Thâmara Lima por sua amizade e todo auxílio recebido na estatística deste trabalho.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para realização deste trabalho meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

Página

RESUMO

ABSTRACT

REFERENCIAL TEÓRICO1

ARTIGO 1

OCORRÊNCIA E DIVERSIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM PLANTIOS DE CACAU-CABRUCÁ NA REGIÃO SUL DA BAHIA22

ARTIGO 2

FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NO CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DE MUDAS DE CACAU45

CONSIDERAÇÕES FINAIS64

FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM SISTEMAS CACAU-CABRUCÁ NA REGIÃO SUL DA BAHIA

Autora: Maria Aparecida Nascimento Santos

Orientadora: Dra. Carla da Silva Sousa

RESUMO: A microbiota do solo desempenha papel fundamental na composição e estruturação dos solos e no desenvolvimento das plantas. Dentre os microrganismos benéficos presentes no solo estão os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), que por meio de processos biquímicos estabelecem simbiose com a maioria das plantas trazendo diversos benefícios ao seu hospedeiro. Diante disso o presente estudo teve como objetivo avaliar a ocorrência e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em plantios de cacau-cabruca localizados na região Sul da Bahia, bem como, a eficiência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares na produção de mudas de diferentes clones de cacau. Inicialmente, foi realizado um estudo da condição micorrízica em plantios de cacau-cabruca da região Sul da Bahia, onde foram coletadas amostras de solo (camada 0-15 cm de profundidade) e raízes finas (<2mm) durante dois períodos (seco e chuvoso), em 6 áreas; para determinação da densidade de esporos, identificação taxonômica das espécies e avaliação da taxa de colonização micorrízica das plantas. Foi instalado ainda um experimento em delineamento de blocos inteiramente casualizados, em esquema fatorial 4x4+1, onde foi avaliada a eficiência de 4 espécies de fungos micorrízicos arbusculares (*Acaulospora mellea*, *Dentisculata heterogama*, *Scutellospora calospora*, *Glomus formosanum* e tratamento controle (sem inoculação) em 4 clones de cacau (SJ 02, CEPEC 2002, CCN 51, PH 16), com 5 repetições. Após 4 meses, o experimento foi coletado para determinação da altura das mudas, diâmetro do caule, produção de biomassa seca na parte aérea e raízes, taxa de colonização radicular e teor de K, P e N nas plantas. Os resultados demonstraram que a maior ocorrência dos FMAs foi na área 2 (período seco) e na área 1 (período chuvoso). Maiores taxas de colonização foram registradas nas áreas 1, 2, 3 e 6 que diferiram estatisticamente entre si. Foram identificadas 26 espécies de FMAs nas áreas coletadas, sendo que as áreas 2 e 3 apresentaram maior riqueza de espécie, onde os gêneros *Glomus* e *Acaulospora* foram os mais abundantes. Houve correlação positiva significativa entre a taxa de colonização e o teor de Mg e pH do solo. O clone CCN 51 apresentou maiores teores de Ca e Mg, diâmetro do caule e peso seco da raiz. O clone PH 16 e CCN 51 apresentaram melhores rendimentos de peso seco da parte aérea, quando inoculados com as espécies *Acaulospora mellea*, *Scutellospora calospora* e *Glomus formosanum*. Os maiores valores referentes a taxa de colonização micorrízica foram observados nas mudas inoculadas pelas espécies do gênero *Glomus*, *Scutellospora* e *Acaulospora*. Conclui-se que áreas cacau-cabruca abriga expressiva diversidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares, observada na ocorrência e identificação das espécies desses microrganismos presentes nessas áreas e que a inoculação de mudas de cacau com espécies de FMAs constituem-se uma tecnologia promissora na produção de mudas de cacau em viveiro.

Palavras-chave: Micorrização, sistemas agroflorestais, *Theobroma cacao* L.

ARBUSCULAR MYCORRHIZALS FUNGI IN COCOA-CABRUCÁ SYSTEMS IN THE REGION SOUTH OF BAHIA

Author: Maria Aparecida Nascimento Santos

Adviser: Profa. Dra. Carla da Silva Sousa

ABSTRACT: Soil microbiota plays a key role in soil composition and structure and plant development. Among the beneficial microorganisms present in the soil are arbuscular mycorrhizal fungi (AMFs), which by means of biochemical processes establish symbiosis with most plants bringing several benefits to their host. For this reason, the present study aimed to evaluate the occurrence and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in cocoa-cabruca plantations located in Southern Bahia, as well as the efficiency of arbuscular mycorrhizal fungi species in the production of seedlings of different cocoa clones. Initially, a study of the mycorrhizal condition was carried out in cocoa-cabruca plantations in Southern Bahia, where soil samples (0-15 cm deep) and thin roots (<2mm) were collected during two periods (dry and rainy).) in 6 areas; for determination spore density, taxonomic identification of species and evaluation of plant mycorrhizal colonization rate. A completely randomized block design experiment was installed, was carried out in a 4x4 + 1 factorial scheme, where was evaluated the efficiency of four species of arbuscular mycorrhizal fungi (*Acaulospora mellea*, *Dentisculata heterogama*, *Scutellospora calospora*, *Glomus formosum* and control treatment (without inoculation), in 4 cocoa clones (SJ 02, CEPEC 2002, CCN 51, PH 16), with 5 repetitions. After 4 months, the experiment was collected to determine plants height, stem diameter, dry biomass production in shoot and roots, root colonization rate and K, P and N content in plants. The results showed that the highest occurrence of AMFs was in area 2 (dry period) and area 1 (rainy period). Higher colonization rates were recorded in areas 1, 2, 3 and 6 which differed statistically from each other. Twenty-six AMF species were identified in the collected areas, and areas 2 and 3 showed higher species richness, where the genera *Glomus* and *Acaulospora* were the most abundant. There was a significant positive correlation between colonization rate and Mg content and soil pH. Clone CCN 51 presented higher Ca and Mg content, stem diameter and root dry weight. Clone PH 16 and CCN 51 had better shoot dry weight yield when inoculated with *Acaulospora mellea*, *Scutellospora calospora* and *Glomus formosum* species. The highest values for mycorrhizal colonization rate were observed in plants inoculated by species of the genus *Glomus*, *Scutellospora* and *Acaulospora*. It can be concluded that cocoa-cabruca areas harbor significant diversity of arbuscular mycorrhizal fungi species, observed in the occurrence and identification of the species of these microorganisms present in these areas and that inoculation of cocoa seedlings with AMF species is a promising technology in the production of cocoa seedlings in nursery.

Keywords: Mycorrhization, agroforestry systems, *Theobroma cacao* L.

REFERENCIAL TEÓRICO

A cultura do cacau

O cacauero (*Theobroma cacao* L.), pertencente à família Malvaceae, é uma planta perenifolia, originária da América do Sul. Típico de clima tropical, o cultivo do cacau encontrou ambiente fértil na floresta ombrófila densa nas várzeas dos principais rios amazônicos (Guimarães, 2016; Almeida; Brito, 2003), se estendendo por várias regiões brasileiras, tornando-se a principal cultura em algumas localidades, especialmente no Sul da Bahia.

No final da década de 70, o Brasil ocupava a 2ª posição na produção mundial de cacau (Conab, 2017), sendo o segundo maior exportador da cultura. Com a baixa nos preços do produto no mercado externo, resultante da grande crise cacauera proveniente da devastação causada pela “vassoura de bruxa”, uma das principais enfermidades que acomete o cacauero, causada pelo fungo *Moniliophthora perniciosa*; o país passou a ocupar a sétima posição no ranking mundial na produção do cacau (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2019). Atualmente países dos continentes africano, asiático e da América do Sul são os principais produtores e exportadores de cacau (The International Cocoa Organization, 2018). Enquanto, no cenário mundial, a Costa do Marfim, Gana, Camarões e Nigéria na África Ocidental são os maiores produtores da cultura (Vásquez et al., 2019).

Considerada uma das culturas de grande importância econômica, o cacau é mundialmente comercializado, sobretudo, pelo valor de suas sementes, matéria prima na fabricação do chocolate e na utilização da manteiga para fabricação de fármacos e cosméticos (Santos et al., 2014; Vásquez et al., 2019). Seu cultivo ocorre tradicionalmente em sistema sombreado (The International Cocoa Organization, 2013), sob o dossel das árvores, como também, pode ser cultivado a pleno sol, desde que adotadas práticas de manejo adequadas, como reposição de água e nutrientes (Almeida; Valle, 2007). Entretanto, esta forma de cultivo demanda maior aporte de insumos externos e alto nível tecnológico, o que acarreta maior custo na produção.

O cacau apresenta uma grande variação genética com relação às características fisiológicas e morfológicas (Alexandre et al., 2015). Cultivado em condições naturais, o cacau pode atingir de 20 a 25 metros de altura e seu ciclo produtivo pode superar 100 anos (Almeida; Valle, 2007), enquanto que em plantios comerciais sua altura varia entre 3 e 5 metros e seu ciclo de vida é em média de 35 anos (Vogel, 1975). A adaptação edafoclimática do cacau envolve um conjunto de fatores ambientais favoráveis para o desenvolvimento da planta, tais como: solos bem drenados, com profundidade de 1,5 m; fertilidade média/alta; baixas variações de temperatura, precipitação anual entre 1800 a 2500 mm ano e baixa velocidade dos ventos (Valle, 2012; Souza Junior et al., 1999; The International Cocoa Organization, 2013).

As variedades de cacau cultivadas são pertencentes a três grupos: Crioulo, Forastero e Trinitário, que apresentam características morfológicas e locais de origem distintos (Vásquez et al., 2019). Os primeiros cacaueiros domesticados foram os da variedade Crioulo, cultivados durante muito tempo nas Américas Central e Sul (Sounigo et al., 2003). Os frutos produzidos por esta variedade apresentam sementes rosadas ou brancas com sabor e aroma peculiar. O cacau Crioulo é amplamente utilizado comercialmente na fabricação de chocolates finos (Mendonça et al., 2016), no entanto são altamente suscetíveis a doenças.

O Forastero é uma variedade cultivada em larga escala em decorrência da resistência a doenças e por apresentar altos rendimentos (Almeida; Valle, 2007). Visando unir as características peculiares de aroma e sabor da variedade Crioulo com a resistência a fitopatógenos da variedade Forasteiro fez-se o cruzamento desses genótipos dando origem ao grupo Trinitário (Motamayor, 2001; Motamayor et al., 2008; Almeida; Chaves, 2010). Essa variedade apresenta cotilédones das sementes com coloração variando de branca a violeta-pálida.

No cultivo do cacau, os fatores climáticos são determinantes na produção da cultura, pois o estágio de crescimento e desenvolvimento da planta de cacau depende altamente da temperatura. O cacau quando submetido a temperatura acima ou abaixo da considerada ideal, ocorre redução da taxa fotossintética, afetando diretamente a floração, crescimento vegetativo e desenvolvimento dos frutos (Nangoi et al., 2007; Toledo-Hernández et al., 2017).

No estágio de emissão de folhas a temperatura também pode ser restritiva, no entanto, exerce pouca interferência, uma vez que esse processo é controlado por fatores endógenos da planta (Vogel, 1975). Contudo, é imprescindível promover o sombreamento das mudas. À medida que o cacauero se desenvolve, atingindo cerca de 1,2 m de altura, a planta começa a emitir seus primeiros ramos plagiotrópicos, formando a copa do cacauero, como é comumente conhecido (Garcia; Nicolella, 1985). Nesse estágio, o sombreamento deve estar bem estabelecido, a fim de evitar a submissão da planta a estresse de temperatura.

Outro fator restritivo no desenvolvimento e produtividade do cacau é a umidade relativa do ar, que interfere diretamente na abertura dos estômatos nas folhas de cacau. Em condições de baixa umidade relativa do ar e sob estresse hídrico folhas de cacau apresentam baixa resistência estomática. Contudo, alguns genótipos desenvolveram mecanismos de regulação estomática, diminuindo a transpiração quando submetidos a tais condições (Almeida; Valle, 2007).

Outros fatores imprescindíveis, que podem causar restrições ao desenvolvimento de plantas de cacau é a disponibilidade de elementos minerais. O cacauero em fase de desenvolvimento apresenta algumas exigências nutricionais, o que dependerá do estágio de crescimento da planta (Ceplac, 2016), sendo o nitrogênio, o nutriente exigido em maior quantidade. Esse mineral exerce função importante nos processos metabólicos e nutricionais do cacauero, uma vez que a deficiência desse nutriente acarreta sérios danos ao desenvolvimento do cacauero como: redução no tamanho da planta, clorose e necrose das folhas (Almeida et al., 2014).

Outros minerais também são essenciais no desenvolvimento e produtividade de plantas de cacau. De acordo com Boletim Técnico, desenvolvido pela Ceplac, cerca de 15 elementos são indispensáveis na nutrição da cultura, sendo estes: nitrogênio, potássio, fósforo, cálcio, oxigênio, hidrogênio, ferro, zinco, enxofre, magnésio, carbono, cobre, manganês, boro e molibdênio (Chepote et al., 2013).

Antes da adubação é importante realizar análises de solo, especialmente em sistemas sombreados (cabruca), pois o grande aporte de matéria orgânica, proveniente do acúmulo dos restos de plantas, disponibiliza grande parte de nutrientes para os cacaueros (Zaia et al., 2008).

Sistema cacau cabruca.

A Mata Atlântica tem como principal característica a grande variedade de espécies faunísticas e florísticas, bem como, uma expressiva complexidade ecológica e grau de ameaça e endemismo, tornando-a um ponto de acesso para a conservação da biodiversidade (Oliveira et al., 2011). Entretanto, atualmente, existe apenas 1% a 5% da cobertura original, resultado da redução de espécies arbóreas, bem como, do elevado grau de degradação dos solos e o aumento da emissão de CO₂ para atmosfera (Sambuichi, 2006).

Em regiões onde há uma grande atividade antrópica, a conservação de extensas áreas de reserva é muito difícil, sobretudo quando a vegetação natural encontra-se muito reduzida e fragmentada (Vanhove et al., 2016). Entretanto, a região do Sul da Bahia ainda apresenta expressiva concentração de árvores nativas comparada a outras regiões de abrangência da Floresta Atlântica devido ao sistema tradicional de plantio do cacau, conhecido na região como “cabruca” (Sambuichi, 2006).

O cacau cabruca pode ser conceituado como um sistema agrossilvicultural, que consiste na substituição dos elementos do sub-bosque por uma cultura de interesse econômico, implantada sob a proteção das árvores (Lobão et al., 1997). Esse sistema de cultivo também denominado de agroflorestal é considerado mundialmente uma alternativa promissora para a conservação da biodiversidade das regiões (Vásquez et al., 2019; Toledo-Hernández, et al., 2017; Vanhove et al., 2016).

No Sul da Bahia, o cacauzeiro foi inserido inicialmente sob a copa das árvores nativas, se expandindo, com o passar dos anos, por todo sub-bosque. Como espécie umbrófila, o dossel proporcionou-lhe a proteção inicial necessária para seu desenvolvimento (Lobão et al., 2004). Aos poucos as áreas compostas por floresta nativa foram ocupadas por extensos cultivos de cacau que por sua vez formaram corredores ecológicos, conectando fragmentos de mata remanescentes (Oliveira et al., 2011).

O modelo agrossilvicultural cacau-cabruca permite a conservação de remanescentes florestais da Mata Atlântica, compostas por indivíduos arbóreos de

elevada significância econômica, social e ecológica (Lobão et al., 1997). Estes sistemas propiciam a formação de corredores ecológicos entre os fragmentos dos remanescentes florestais, permitindo o fluxo de espécies da fauna (Vásquez et al., 2019; Toledo-Hernández et al., 2017), além de manter a qualidade dos solos em níveis próximos ao de uma floresta natural; bem como, a conservação dos recursos hídricos quando, na faixa ciliar houver alta densidade arbórea (Setenta, 2003; Lobão; Valeri, 2009; Lobão et al., 2012; Toledo-Hernández et al., 2017; Vanhove et al., 2016).

Fungos micorrízicos arbusculares

A microbiota do solo exerce papel importante nas interações que equilibram e sustentam os ecossistemas naturais (Ruivo, 1993) e cultivados (Maschio et al., 1992). As micorrizas arbusculares (MA) são associações entre plantas e fungos do solo do filo Glomeromycota (Schüßler et al., 2001). O benefício da associação para a planta surge do aumento da extensão da superfície de absorção e, em troca, o fungo é subsidiado por carboidratos fotoassimilados (Herrman et al., 2004). O termo micorriza, foi inicialmente sugerido pelo botânico alemão Albert Bernard Frank, no ano de 1885 (Souza et al., 2005), onde “mico” significa fungo e “riza” significa raízes, termos originados do grego (Wang; Qiu, 2006).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) desempenham grande influência na estruturação das comunidades vegetais (Heijden et al., 2003; Ba et al., 2011), promovendo o aumento na absorção de nutrientes como P (Bressan et al., 2001; Pfeffer et al., 1999), Zn e Cu (Pfeffer et al., 1999; Marschner; Dell, 1994), N e K (Gupta et al., 2002; Bressan et al., 2001); a tolerância das plantas a doenças radiculares (Borges et al., 2007); e influenciando na diversidade e produtividade vegetal (Miller; Kling, 2000); além de favorecerem a comunicação de duas ou mais plantas através das hifas fúngicas (Wardle, 2002).

FMAs são componentes comuns da rizosfera e raízes da maioria das plantas vasculares e são vastamente distribuídos no reino vegetal (Dodd, 2000). Por ser evolutivamente uma antiga forma de simbiose entre plantas e micorrizas, cerca de 90% das espécies de plantas existentes são micorrizadas (Moënné-Looco et al.,

2015; Marinho et al., 2019), sendo considerada uma associação cosmopolita, reconhecida mundialmente como parte integrante dos ecossistemas naturais (Gadkar et al., 2001).

Os fatores edafoclimáticos e a relação planta-microrganismo são determinantes no estabelecimento da simbiose micorrízica. Desta forma, a inoculação com diferentes espécies de FMAs produzirá respostas diferenciadas por parte do hospedeiro (Costa et al., 2001; Cavalcante et al., 2002). Além dos fatores ambiente e material genético da planta e do fungo, a densidade de propágulos também pode influenciar na resposta a micorrização (Siqueira et al., 1994).

Esporos, micélio extra radicular e pedaços colonizados de raízes são os principais tipos de propágulos de FMAs no solo. Sua abundância e viabilidade determinam a manutenção destes microrganismos em situações desfavoráveis, como modificações físico-químicas do solo (Aguiar, 2004). Os esporos são estruturas estratégicas de resistência a condições adversas do ambiente. O micélio extra radicular dos FMA é constituído por uma rede de hifas que absorve e transporta água e nutrientes do solo para a planta, podendo se diferenciar em componentes de absorção, de crescimento ou de infecção (Morton et al., 1994). Pedaços das raízes colonizados por estruturas de FMA são também importantes para manutenção desses microrganismos no solo (Souza; Silva, 1996).

A associação se inicia por meio de propágulos do fungo presentes no solo, que podem ser esporos, hifas, ou pedaços colonizados de raízes (Souza et al., 2006). Desses propágulos originam-se as hifas infectivas, que desenvolvem-se de forma progressiva, aumentando as chances de contato com as raízes das plantas (Bertolazi et al., 2010). Ao encontrarem as raízes, as hifas fixam-se sua superfície, se diferenciando em apressório, por meio do qual penetra as células da epiderme, onde é formada a unidade de infecção (Kiriachek et al., 2009). Formada a unidade de infecção, ocorre uma expansão extracelular das hifas pelo córtex da raiz, que posteriormente tornam-se intracelular, formando novelos de hifas, onde ocorre a diferenciação em arbúsculos, vesículas e esporos (Souza et al., 2006).

A diversidade de espécies de FMAs em diferentes biomas é outra característica importante desses microrganismos. Essa diversidade está diretamente ligada com o tipo de hospedeiro, condições edáficas e manejo do solo

(Marinho et al., 2019; Klironomos et al., 2011). Tais condições podem influenciar na riqueza de espécies presentes em determinado ecossistema.

Embora a taxonomia molecular tenha sido muito útil para elucidar a filogenia dos FMAs em nível de gênero ou níveis superiores, existem grandes conflitos em relação a diferenciação das espécies, devido às dificuldades em se multiplicar o fungo em cultura pura e ao alto grau de polimorfismo entre genes encontrados em um mesmo fungo (esporo) (Berbara et al., 2006; Landis et al., 2004; Sanders, 2004; Cavalcante et al., 2013). Deste modo, a identificação das espécies é, em geral, feita pelas características morfológicas dos esporos (Silva et al., 2006; Ba et al., 2012).

Características como as subunidades da parede e propriedades da mesma (cor, espessura, pigmentação, ornamentação e reações histoquímicas) podem ser observadas nos esporos e utilizadas para identificação a nível específico (Bentivenga; Morton, 1994). O desenvolvimento dos esporos também define características de suas paredes internas e externas, estabelecendo critérios importantes para a classificação (Moreira; Siqueira, 2006).

Fungos micorrízicos arbusculares na produção de mudas

No processo de produção, as plantas são expostas a fatores adversos que podem induzir perturbações ao crescimento e ao metabolismo (Barnawal et al., 2014; Ait-El-Mokhtar et al., 2019). Esses fatores determinam o desenvolvimento e produtividade dos cultivos, gerando perdas econômicas significativas. Nesse aspecto, diversos estudos comprovam a eficiência da microbiota do solo no desenvolvimento e nutrição vegetal (Tristão et al., 2006; Mendes et al., 2011; Kumar et al., 2016; Meena et al., 2015; Meena et al., 2017). Dentre os microrganismos que atuam nesse processo estão os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). A utilização de inóculo de FMAs na produção de mudas de fruteiras representa uma alternativa promissora na obtenção de mudas de qualidade, com maior resistência ao ataque por fitopatógenos e fatores edafoclimáticos (Zhang et al., 2019; Cameron et al., 2013; Yan et al., 2012).

Em simbiose mutualística com as mudas, os FMAs formam estruturas hifais nas células corticais do hospedeiro, chamadas arbúsculos, que promove melhor

aproveitamento de nutrientes do solo (Köhl et al., 2015); melhorias na absorção de nutrientes, gerando um aumento da biomassa vegetal (Garcia et al., 2017; Javot et al., 2007; Cavalcante et al., 2013; Pel et al., 2018), bem como, reduz o tempo de permanência em viveiro (Miranda; Miranda, 2000, Costa et al., 2001).

Embora os benefícios dessa simbiose sejam visíveis nas plantas hospedeiras, alguns fatores podem limitar essa interação (Cavalcante et al., 2013). As respostas a simbiose são altamente dependentes da relação planta/microrganismo (Costa et al., 2001; Cavalcante et al., 2013; Sarr et al., 2019; Ortaç, 2019), tipo de solo/substrato (Tristão et al., 2006), disponibilidade de nutrientes no solo, especialmente o fósforo (Pel et al., 2018), entre outros fatores. Nesse sentido, é imprescindível a seleção de espécies de FMAs eficientes em formar simbiose com as plantas no processo de produção de mudas micorrizadas (Ananthakrishnan et al., 2004; Costa et al., 2001).

Várias espécies frutíferas são beneficiadas pela inoculação com FMAs durante a produção de mudas em viveiros (Miranda; Miranda, 2000), pois apesar da impossibilidade de cultivar esses microrganismos *in vitro*, eles podem ser eficazmente multiplicados e utilizados em culturas produzidas em viveiro ou sacos de polietileno e posteriormente cultivadas em campo (Yan et al., 2012).

De acordo com estudo desenvolvido por Tristão et al. (2006), verificando o efeito da inoculação de diferentes espécies de FMAs no desenvolvimento de mudas de cafeeiro, constatou-se resultados satisfatórios. Segundo o estudo, as mudas de cafeeiro inoculadas por *Gigaspora margarita*, apresentou melhores efeitos a micorrização e conseqüentemente melhor desenvolvimento das mudas.

Costa et al. (2001), testando a inoculação de FMAs em mudas de aceroleira verificaram resultados significativos em relação ao tempo de permanência das mudas em viveiro após o enraizamento das estacas. De acordo com os autores, o tempo normalmente varia de seis a oito meses, sendo reduzido à metade com a inoculação micorrízica. Verificaram-se ainda benefícios quanto ao desenvolvimento das mudas em relação à altura, área foliar e produção de biomassa seca.

Em testes realizados com mudas de citros, as inoculações com espécies do gênero *Glomus*, *G. mosseae*, *G. versiforme* e *G. diaphanum*, promoveram melhorias na estrutura do solo, através do efeito da glomalina, uma glicoproteína

produzida por FMA que desempenha papel importante na estabilidade dos agregados do solo, favorecendo, dessa forma, o desenvolvimento das mudas (Wu et al., 2008).

Diante dos resultados obtidos em diversos estudos realizados, a inoculação de mudas com espécies de fungos micorrízicos arbusculares possibilita a obtenção de mudas de qualidade nutricional e fitossanitária, com maior resistência a fatores adversos do ambiente, bem como, maiores taxas de pegamento quando transplantadas para o campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, R.L.F. **Uso e propriedades do solo: efeitos nas micorrizas arbusculares.** Tese (Doutorado). Universidade Federal de Pernambuco: Recife, 2004, 63 p.

AIT-EL-MOKHTAR, M; LAOUANE, R. B.; ANLI, M.; BOUTASKNIT, A.; WAHBI, S. & MEDDICH, A. Use of mycorrhizal fungi in improving tolerance of the date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seedlings to salt stress. **Scientia Horticulturae**, v. 253, p.429-438, 2019.

ALEXANDRE, R. S.; CHAGAS, K.; MARQUES, H. I.; COSTA, P. R. Caracterização de frutos de clones de cacauzeiros na região litorânea de São Mateus, ES. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 8, p. 785-790, 2015.

ALMEIDA, A-A.; VALLE, R. R. Ecophysiology of the cacao tree. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 4, p. 425-448, 2007.

ANANTHAKRISHNAN, G.; RAVIKUMAR, R.; GIRIJA, S.; GANAPATHI, A. Selection of efficient arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of cashew and their application in the cashew nursery. **Scientia Horticulturae**, v. 100, n. 1-4, p.369-375, 2004.

BA, L.; NING, J.; WANG, D.; FACELLI, E.; FACELLI, J. M.; YANG, Y.; ZHANG, L. The relationship between the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and grazing in a meadow steppe. **Plant And Soil**, v. 352, n. 1-2, p.143-156, 2012.

BANZATTO, D. V.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: FCAV/UNESP. 247 p., 1992.

BARNAWAL, D.; BHARTI, N.; MAJI, D.; CHANOTIYA, C. S.; KALRA, A. ACC deaminase-containing *Arthrobacter protophormiae* induces NaCl stress tolerance through reduced ACC oxidase activity and ethylene production resulting in improved nodulation and mycorrhization in *Pisum sativum*. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 11, p.884-894, 2014.

BARNI, E.; SINISCALCO, C. Vegetation dynamics and arbuscularmycorrhiza in old-fields successions of the western Italian Alps. **Micorrhiza**, v.10, p.63-72, 2000.

BENEDETTI, T.; ANTONIOLLI, Z. I.; GIRACCA, E. M. N.; STEFFEN, R. B. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares na cultura do milho após uso de espécies de plantas de cobertura de solo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.4, n.1, p. 44-51, 2005.

BENTIVENGA, S. P.; MORTON, J. B. Stability and heritability of fatty acid methylester profiles of glomalean endomycorrhizal fungi. **Mycological Research**. v.98, n.12, p. 1419-1426. 1994.

BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A. C. Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: FERNANDES, M.S. (ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 53-88, 2006.

BERTOLAZI, A. A.; CANTON, G. C.; AZEVEDO, I. G.; CRUZ, Z. M. A.; SOARES, D. N. E. S.; CONCEIÇÃO, J. M.; RAMOS, A. C. O papel das ectomicorrizas na biorremediação de metais pesados no solo. **Natureza on line, Santa Teresa**, v. 8, n. 1, p. 24-31, 2010.

BORGES, A. J. S.; TRINDADE, A. V.; MATOS, A. P.; PEIXOTO, M. F. S. Reduction of fusarium wilt of "banana-maçã" by inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.1, p. 35-41, 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Brasil quer ganhar posições na produção mundial de cacau e chocolate**. 2019. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/noticias/brasil-quer-retomar-protagonismo-no-cenario-global-de-cacau-e-chocolate>>. Acesso em: 18 out. 2019.

BRESSAN, W.; SIQUEIRA, J. O.; VASCONCELLOS, C. A.; PURCINO, A. A. C. Fungos micorrízicos e fósforo, no crescimento, nos teores de nutrientes e na produção do sorgo e soja consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p. 250-260, 2001.

CAMERON, D. D.; NEAL, A. L.; VAN WEES, S. C.; TON, J. Mycorrhiza-induced resistance: more than the sum of its parts? **Trends In Plant Science**, v. 18, n. 10, p.539-545, 2013.

CAPRONI, A. L.; FRANCO, A. A.; BERBARA, R. L. L.; GRANHA, J. R. D. O.; MARINHO, N. F. FMAs em solo estéril revegetado com *Acaciamangium*, após mineração com bauxita. **Revista Árvore**, v.29, n.3, p.373-381, 2005.

CAVALCANTE, U. M. T.; MAIA, L. C.; COSTA, C. M. C.; SANTOS, V.F. Mycorrhizal dependency of passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). **Fruits**, v.56, p.317-324, 2001.

CAVALCANTE, U. M. T.; MAIA, L. C.; COSTA, C. M. C.; CAVALCANTE A. T.; SANTOS, V. F. Efeito de fungos micorrízicos arbusculares, da adubação fosfatada e da esterilização do solo no crescimento de mudas de maracujazeiro amarelo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.26, p. 1099-1106, 2002.

CAVALCANTE, U. M. T.; GOTO, B. T.; MAIA, L. C. Aspectos da simbiose micorrízica arbuscular. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, v. 5, p. 180-208, 2013.

CHEPOTE, R. E., SODRÉ, G. A; REIS, E. L; PACHECO, R. G.; MARROCOS, P. C; VALLE, R. R. Recomendações de corretivos e fertilizantes na cultura do cacauzeiro no sul da Bahia. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brazil**, 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Cacau (Amêndoa): análise mensal. Acesso em 15 de fev. 2019. Disponível em <file:///C:/Users/apare/Downloads/Cacau_-_Analise_Mensal_-_dezembro-2017.pdf>.

COSTA, C. M. C.; MAIA, L. C.; CAVALCANTE, U. M. T.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Influência de fungos micorrízicos arbusculares sobre o crescimento de dois genótipos de aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p. 893-901, 2001.

DODD, J. C. The role of arbuscular mycorrhizal fungi in agro – and natural ecosystems. **Outlook on Agriculture**, v. 29, n. 1, p. 55-62, 2000.

ENKHTUYA, B.; RYDLOVÁ, J.; VOSÁTKA, M. Effectiveness of indigenous and non-indigenous isolates of arbuscular mycorrhizal fungi in soils from degraded ecosystems and man-made habitats. **Applied Soil Ecology**, v.14, p.201-211, 2000.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. IN: Reunião anual da região brasileira da sociedade internacional de biometria, 45., São Carlos, 2000. **Programa e resumos...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

GADKAR, V.; DAVID-SCHWARTZ, R.; KUNIK, T.; KAPULNIK, Y. Arbuscular mycorrhizal fungal colonization. Factors involved in host recognition. **Plant Physiology**, v.127, p. 1493-1499, 2001.

GARCIA, J. R.; NICOLELLA, G. Correlação entre algumas medidas dendrométricas, origem genética e produção de frutos em cacauzeiros. **Revista Theobroma**, v. 15, p. 113-124, 1985.

GARCIA, K.; CHASMAN, D.; ROY, S.; ANÉ, J. M. Physiological Responses and Gene Co-Expression Network of Mycorrhizal Roots under K⁺ Deprivation. **Plant Physiology**, v. 173, n. 3, p.1811-1823, 2017.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques to measure vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, v.84, n.3, p.484-500, 1980.

GUEDES, Mariana. **Cacau da Bahia: 70% da produção nacional**. Disponível em: <<http://www.mda.gov.br/sitemda/noticias/cacau-da-bahia-70-da-produ%C3%A7%C3%A3o-nacional>>. Acesso em 15 fev. 2019.

GUPTA, M. L.; PRASAD, A.; RAM, M.; KUMAR, S. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus *Glomus fasciculatum* on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. **Bioresource Technology**, v.81, p. 77-79, 2002.

HEIJDEN, M. G. A.; WIEMKEN, A.; SANDERS, I. R. Different arbuscular mycorrhizal fungi alter coexistence and resource distribution between co-occurring plant. **New Phytologist**, v. 157, p. 569-578, 2003.

HERRMAN, S.; OELMMULLER, R.; BUSCOT, F. Manipulation of the onset of ectomycorrhiza formation by indole-3-acetic acid, activated charcoal or relative humidity in the association between oak microcuttings and *Pilodermacroceum* influence on plant development and photosynthesis. **Journal Plant Physiology**, v. 161, p. 509-17, 2004.

HOOGLAND, D. C.; ARNON, D. I. **The water culture method of growing plants without soil**. Berkeley: University of California, 32 p., 1950.

JAVOT, H.; PENMETSA, R. V.; TERZAGHI, N.; COOK, D. R.; HARRISON, M. J. A *Medicago truncatula* phosphate transporter indispensable for the arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 5, p.1720-1725, 2007.

JEFFRIES, P.; GIANINAZZI, S.; PEROTTO, S.; TURNAU, K.; BAREA, J. M. The contribution of arbuscular fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. **Biology and Fertility of Soils**, v.37, p. 1-16, 2003.

KIRIACHEK, S. G.; AZEVEDO, L. C. B.; PERES, L. E. P; LAMBAIS, M. R. Regulation of arbuscular mycorrhizae development. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 1-16, 2009.

KLIRONOMOS, J.; ZOBEL, M.; TIBBETT, M.; STOCK, W. D.; RILLIG, M.C.; PARRENT, J. L.; MOORA, M.; KOCH, A. M.; FACELLI, J. M.; FACELLI, E.; DICKIE, I. A.; BEVER, J. D. Forces that structure plant communities: quantifying the importance of the mycorrhizal symbiosis. **New Phytologist**, v. 189, p. 366-370, 2011.

KÖHL, L.; LUKASIEWICZ, C. E.; VAN DER HEIJDEN, M. G. Establishment and effectiveness of inoculated arbuscular mycorrhizal fungi in agricultural soils. **Plant, Cell & Environment**, [s.l.], v. 39, n. 1, p.136-146, 2015.

KORMANICK, P. P.; MCGRAW, A. C. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. In: SCHENCK, N.C. (Ed.). **Methods and principles of mycorrhizal research**. Minnesota, American Phytopathological Society, p.34-37, 1982.

KUMAR, A.; PATEL, J.S.; BAHADUR, I.; MEENA, V.S. The molecular mechanisms of KSMs for enhancement of crop production under organic farming. **Potassium Solubilizing Microorganisms for Sustainable Agriculture**, p.61-75, 2016.

LANDIS, F. C.; GARGAS, A.; GIVNISH, T. J. Relationships among arbuscular mycorrhizal fungi, vascular plants and environmental conditions in oak savannas. **New Phytologist**, v. 164, p. 493-504, 2004.

MARINHO, F.; OEHL, F.; SILVA, I. R.; COYNE, D.; NÓBREGA VERAS, J. S.; MAIA, L. C. High diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in natural and anthropized sites of a Brazilian tropical dry forest (Caatinga). **Fungal Ecology**, v. 40, p. 82-91, 2019.

MARSCHNER, H.; DELL, B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**, v.159, p. 89-102, 1994.

MENDES, R.; KRUIJT, M.; BRUIJN, I.; DEKKERS, E.; VAN DER VOORT, M.; SCHNEIDER, J. H.; RAAIJMAKERS, J. M. Deciphering the Rhizosphere Microbiome for Disease-Suppressive Bacteria. **Science**, v. 332, n. 6033, p.1097-1100, 2011.

MEENA, V. S.; MEENA, S. K.; VERMA, J. P.; KUMAR, A.; AERON, A.; MISHRA, P. K.; DOTANIYA, M. L. Plant beneficial rhizospheric microorganism (PBRM)

strategies to improve nutrients use efficiency: A review. **Ecological Engineering**, v. 107, p.8-32, 2017.

MEENA, R. K. SINGH, R. K., SINGH, N. P., MEENA, S. K.; MEENA, V. S. Isolation of low temperature surviving plant growth – promoting rhizobacteria (PGPR) from pea (*Pisum sativum* L.) and documentation of their plant growth promoting traits. **Biocatalysis And Agricultural Biotechnology**, v. 4, n. 4, p.806-811, 2015.

MENDONÇA, T. A.; DANTAS, E. A.; GOUVEA, A. A. L.; OLIVEIRA, R. S.; ALVES, A. R.; PADILHA, F. F.; MACHADO, B. A. S. Prospecção Tecnológica sobre a Utilização de Cacau Fino. **Revista Virtual de Química**, v. 8, n. 4, p. 1094-1103, 2016.

MILLER, R. M.; KLING, M. The importance of integration and scale in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**, v.226, p.295-309, 2000.

MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N. Introdução da tecnologia de inoculação com fungos micorrízicos arbusculares na produção de mudas de viveiros. **Embrapa Cerrados-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2000.

MOËNNE-LOCCOZ, Y.; MAVINGUI, P.; COMBES, C.; NORMAND, P.; STEINBERG, C. Microorganisms and biotic interactions. In: Bertrand, J.C., et al., (Eds.), *Environmental Microbiology: Fundamentals and Applications: **Microbial Ecology***. Springer Science Business Media, Dordrecht, p. 395-444, 2015.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica de solo**. Lavras: UFLA, 2006, 729 p.

MORTON, J.; FRANKE, M.; CLOUD, G. The nature of fungal species in Glomales. In: READ, D.J.; LEWIS, D.H.; FITTER, A.H.; ALEXANDER, I.J. (Eds). **Mycorrhizas in Ecosystems**. University Press, p. 65-73, 1994.

MORTON, J.B.; BENTIVENGA, S.P.; BEVER, J. D. Discovery, measurement, and interpretation of diversity in arbuscular endomycorrhizal fungi (Glomales, Zygomycetes). **Canadian Journal of Botany**, v. 73, p. 25-32, 1995.

MOTAMAYOR, J. C.; LACHENAUD, P.; MOTA, J. W. S.; LOOR, R.; KUHN, D. N. Geographic and Genetic Population Differentiation of the Amazonian Chocolate Tree (*Theobroma cacao* L.). **PLoS ONE**, Chicago, v. 3, n. 10, p. 3311- 3319, 2008.

NANGOI, I. I.; LUIZ, A. J.; MARION, F. P.; MAIA, A; SENTELHAS, P. C. Meta-análise: estudo de caso para o zoneamento agroclimático do cacauzeiro. In: **Embrapa Meio Ambiente-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15, 2007, Aracaju. Trabalhos... Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2007. CD-ROM.

OLIVEIRA, J. R.; SAGGIN JÚNIOR, O. J.; RESENDE, L. V.; SILVA, E. M. R.; RESENDE, E. M.; RESENDE., J. M. Eficiência de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) em colonizar e beneficiar o crescimento de mudas micropropagadas de cará-da-costa. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 2, p. 1-4, 2003.

ORTAŞ, I. Role of Microorganisms (Mycorrhizae) in Organic Farming. **Organic Farming**, p.181-211, 2019.

PEL, R.; DUPIN, S.; SCHAT, H.; ELLERS, J.; KIERS, E. T.; VAN STRAALLEN, N. M. Growth benefits provided by different arbuscular mycorrhizal fungi to *Plantago lanceolata* depend on the form of available phosphorus. **European Journal of Soil Biology**, v. 88, p.89-96, 2018.

PFEFFER, P. E.; DOUDS JUNIOR, D. D.; BÉCARD, G.; SHACHAR-HILL, Y. Carbon uptake and the metabolism and transport of lipids in an arbuscular mycorrhiza. **Plant Physiology**, v.20, p. 587-598, 1999.

RAJAN, S. K.; REDDY, B. J. D.; BAGYARAJ, D.J. Screening of arbuscular mycorrhizal fungi for their symbiotic efficiency with *Tectonagrandis*. **Forest Ecology and Management**, v.126, p.91-95, 2000.

SAGGIN JÚNIOR, O. J.; SILVA, E. M. R. Micorriza arbuscular – papel, funcionamento e aplicação da simbiose. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. **Processos biológicos no sistema solo-planta**. Embrapa Agrobiologia – Brasília – DF, p. 101-149, 2005.

SAGGIN JÚNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O. Micorrizas arbusculares em cafeeiro. In: SIQUEIRA, J. O., ed. **Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, p.203-254, 1996.

SANDERS, I. R. Plant and arbuscular mycorrhizal fungal diversity – are we looking at the relevant levels of diversity and are we using the right techniques? **New Phytologist**, v. 164, p. 415-418, 2004.

SARR, P. S.; SUGIYAMA, A.; BEGOUDE, A. D. B.; YAZAKI, K.; ARAKI, S.; NAWATA, E. Diversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) croplands in Cameroon as revealed by Illumina MiSeq. **Rhizosphere**, v. 10, p.1-6, 2019.

SCHIAVO, J. A. E.; MARTINS, M. A. Produção de mudas de acácia colonizadas com micorrizas e rizóbio em diferentes recipientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 2, p. 173-178, 2003.

SCHÜßLER A.; SCHWARZOTT D.; WALKER C. A. New fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. **Mycological Research**, v. 105, p. 1413-1421, 2001.

SIEVERDING, E. **Vesicular-arbuscularmycorrhiza management in tropical agrosystems**. Eschbom, Germany. Technical Cooperation, 1991. 372 p.

SILVA, R. P.; PEIXOTO, J. R.; JUNQUEIRA, N. T. V. Influência de diversos substratos no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro azedo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* DEG.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n. 2, p.377-381, 2001.

SILVA, R. L. A.; CHAVES, L. H. G.; BONOMO, P.; ALMEIDA FILHO, R. L.; FERNANDES, J. D. Produção do cacauzeiro submetido a diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 4, p. 171-182, 2014.

SIQUEIRA, J. O. Micorrizas arbusculares. In: ARAÚJO, R.S.; HUNGRIA, M.(Eds.). **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília: Embrapa - SPI, p.151-194, 1994.

SONG, F. Q.; TIAN, X. J.; YANG, G. T. The effects of AM mycorrhizal on *Populusussuriensis*. **Resource Forest Science**, v.17, p.86–91, 2004.

SOUNIGO, O.; LACHENAUD, P.; BASTIDE, P.; CILAS, C.; N'GORAN, J; LANAUD, C. Assessment of the value of doubled haploids as progenitors in cocoa (*Theobroma cacao* L.) breeding. **Journal of Applied Genetics**, v.44, p.339-353, 2003.

SOUZA JUNIOR, J. O.; KER, J. C.; MELLO, J. W. V.; CRUZ, C. D. Produtividade do cacauzeiro em função de características do solo. II. Características físico-morfológicas e alguns elementos extraídos pelo ataque sulfúrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 4, p. 873-880, 1999.

SOUZA, F. A.; SILVA, E. M. P. Micorrizas arbusculares na revegetação de áreas degradadas. In: SIQUEIRA, J.O. (Ed.) **Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas**, Lavras: UFLA/DCS/DCF, p. 255-290, 1996.

SOUZA, V. C.; SILVA, R. A.; CARDOSO, G. D.; BARRETO, A. F. Estudos sobre fungos micorrízicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 612-618, 2006.

THE INTERNATIONAL COCOA ORGANIZATION. Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics, Vol. XLIV, No. 3, Cocoa year 2017/18.

TRISTÃO, F. S. M.; ANDRADE, S. A. L.; SILVEIRA, A. P. D. Fungos micorrízicos arbusculares na formação de mudas de cafeeiro, em substratos orgânicos comerciais. **Bragantia**, v. 65, n. 4, p.649-658, 2006.

TOLEDO-HERNÁNDEZ, M.; WANGER, T. C.; TSCHARNTKE, T. Neglected pollinators: Can enhanced pollination services improve cocoa yields? A review. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 247, p.137-148, 2017.

VANHOVE, W.; VANHOUDT, N.; VAN DAMME, P. Effect of shade tree planting and soil management on rehabilitation success of a 22-year-old degraded cocoa (*Theobroma cacao* L.) plantation. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 219, p.14-25, 2016.

VÁSQUEZ, Z. S.; CARVALHO NETO, D. P.; PEREIRA, G. V.; VANDENBERGHE, L. P.; OLIVEIRA, P. Z.; TIBURCIO, P. B.; SOCCOL, C. R. Biotechnological approaches for cocoa waste management: A review. **Waste Management**, v. 90, p.72-83, 2019.

WANG, B.; QIU, Y. L. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. **Mycorrhiza**, v. 16, p. 299-363, 2006.

WARDLE, D. A. **Communities and ecosystems: Linking the aboveground and belowground components**. Princeton: Princeton University Press, 2002, p.457.

YAN, L. I.; YING-LONG, C. H. E. N.; MIN, L. I.; XIAN-GUI, L. I. N.; RUN-JIN, L. I. U. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi communities on soil quality and the growth of cucumber seedlings in a greenhouse Soil of continuously planting cucumber. **Pedosphere**, v. 22, n. 1, p.79-87, 2012.

ZAIA, F. C; GAMA RODRIGUES, A. C.; GAMA RODRIGUES, E. F.; MACHADO, R. C. R. Fósforo orgânico em solos sob agrossistemas de cacau. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1987-1995, 2008.

ZHANG, Z.; MALLIK, A.; ZHANG, J.; HUANG, Y.; ZHOU, L. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on inoculated seedling growth and rhizosphere soil aggregates. **Soil And Tillage Research**, v. 194, p.1-7, 2019.

ARTIGO 1

OCORRÊNCIA E DIVERSIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM PLANTIOS DE CACAU-CABRUCÁ NA REGIÃO SUL DA BAHIA¹

¹Artigo a ser ajustado para posterior submissão ao Comitê Editorial do periódico científico Revista Brasileira de Ciências Agrárias, em versão na língua inglesa.

Ocorrência e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em plantios de cacau-cabruca na região Sul da Bahia

Resumo: O cacauzeiro é uma das principais culturas agrícolas cultivado mundialmente. O cultivo do cacau na região Sul da Bahia é realizado especialmente sob o sistema cabruca, essa forma de plantio é importante na conservação da comunidade animal e comunidade vegetal da Mata Atlântica na região. Por outro lado, estudos revelam que a ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) em sistemas agrícolas tem promovido o desenvolvimento e produtividade de diversas culturas, sendo o cacauzeiro uma das plantas beneficiadas por esta associação. Tendo em vista os diversos benefícios dos FMAs em sistemas agroflorestais, o presente estudo teve como objetivo avaliar a ocorrência e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em plantios de cacau-cabruca localizados na Região do Sul da Bahia. Inicialmente, foram coletadas amostras de solo (camada 0-15 cm de profundidade) e raízes finas (<2mm), durante dois períodos (seco e chuvoso) em 6 áreas de plantio cacau-cabruca, para determinação da densidade de esporos de FMAs, identificação taxonômica das espécies de FMAs e avaliação da taxa de colonização micorrízica das plantas. Os resultados demonstraram que houve maior ocorrência dos FMAs durante o período seco na área 2. Durante o período chuvoso a maior densidade de esporos foi registrada na área 1. Não houve interferência do período de coleta sobre a taxa de colonização das raízes das plantas de cacau, contudo as maiores taxas de colonização foram registradas nas áreas 1, 2, 3 e 6. Em relação a diversidade de espécies fúngicas, foram identificadas 26 espécies nas áreas estudadas, sendo observado maior riqueza de espécies nas áreas 2 (11 espécies) e 3 (11 espécies), com predominância dos gêneros *Glomus* e *Acaulospora*. Houve correlação positiva significativa entre a taxa de colonização e o teor de Mg e pH do solo. Com isso, conclui-se que áreas cacau-cabruca apresenta expressiva ocorrência e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares.

Palavras-chave: Micorrização, *Theobroma cacao* L., identificação taxonômica.

Occurrence and diversity of arbuscular mycorrhizals fungi in cocoa-cabruca plantations in Southern Bahia.

Abstract: The Cocoa is one of the main crops grown worldwide. Cocoa cultivation in southern Bahia is carried out especially under the cabruca system, this form of planting is important in the conservation of the animal community and plant community of the Atlantic Forest in the region. On the other hand, studies reveal that the occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in agricultural systems has promotes the development and productivity of several crops, being cacao one of the plants benefited by this association. In view of diverse benefits of AMFs in agroforestry systems, this study aimed to evaluate the occurrence and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in cocoa-cabruca plantations located in southern Bahia. Initially, soil samples (layer 0-15 cm deep) and thin roots (<2mm) were collected during two periods (dry and rainy) in 6 areas of cocoa-cabruca planting, to determine the AMF spore density. taxonomic identification of AMF species and evaluation of plants mycorrhizal colonization rate. The results showed that there was a higher occurrence of AMF during the dry season in area 2. During the rainy season the highest spore density was recorded in area 1. There was no interference of the collection period on the colonization rate of cocoa plant roots, however the highest colonization rates were recorded in areas 1, 2, 3 and 6. Regarding the diversity of fungal species, 26 species were identified in the studied areas, with greater species richness observed in areas 2 (11 species) and 3 (11 species), with predominance of the genera *Glomus* and *Acaulospora*. There was a significant positive correlation between colonization rate and Mg content and soil pH. Thus, it is concluded that cocoa-cabruca areas show significant occurrence and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi.

Keywords: Mycorrhization, *Theobroma cacao* L., taxonomic identification.

INTRODUÇÃO

A comunidade microbiana do solo através de seus processos biológicos desempenha papel fundamental na manutenção de diversos agroecossistemas e ecossistemas naturais (Prado et al., 2019). Dentre eles, os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) ganham destaque, por estabelecerem simbiose mutualística com a maioria das plantas. Essa simbiose oferece grandes benefícios para as plantas com a ampliação da área de absorção de água e nutrientes pelas hifas. Estudos realizados em diversos sistemas agrícolas demonstraram que os FMAs atuam de forma significativa melhorando o desenvolvimento e produtividade de várias culturas (Li et al., 2019; Aggangan et al., 2019; Frew, 2019; Thioub et al., 2019).

Por apresentar característica cosmopolita, os FMAs podem ser encontrados nos mais diversos ecossistemas do mundo, em associação com as mais variadas espécies vegetais (Kivlin et al., 2011; Wang, 2017). A diversidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares presentes em um ecossistema, desempenha funções importantes na estruturação e manutenção da microbiota dos solos, mantém a produtividade da comunidade vegetal, além de atuar na estruturação e estabilidade dos agregados do solo (Wang, 2017; Yang et al., 2016; Prado et al., 2019). De acordo com Sarr et al. (2019), uma comunidade de FMAs, composta por várias espécies apresenta maior eficiência em aumentar a produtividade de uma determinada cultura.

Segundo Costa et al. (2001) para algumas culturas agrícolas é imprescindível selecionar espécies de FMAs com alta eficiência em formar simbiose e promover rendimentos. Neste sentido, o levantamento da diversidade de espécies fúngicas nos ecossistemas cultivados torna-se uma necessidade, de modo a identificar os diversos benefícios trazidos pelo micobionte ao fitobionte, promovendo manejo sustentável das áreas, redução dos custos de produção, favorecendo especialmente agricultores familiares, entre outros benefícios (Jiménez-Moreno et al., 2018).

Nos sistemas de cultivo cacau-cabruca praticado no Sul da Bahia, o levantamento da ocorrência e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares é de

extrema importância, tendo em vista os grandes entraves enfrentados pelas comunidades rurais desta localidade com a baixa produtividade da cultura e consequente baixa lucratividade com a comercialização do produto. Isso tem acarretado sérios problemas socioeconômico e intensificado o êxodo rural nessa região. A falta de incentivos financeiros e baixo nível tecnológico na produção cacauífera, tornam-se os principais obstáculos a serem superados pelos cacauicultores, que com poucos recursos para investirem em insumos e mão de obra no manejo do cacau acabam desestimulados.

Nesse sentido, as áreas de cacau-cabruca no Sul da Bahia são extremamente propensas a abrigar uma grande diversidade de fungos micorrízicos arbusculares e outros microrganismos benéficos presentes no solo. Essas áreas apresentam características bem próximas de uma floresta natural, sendo favorecidas pela disponibilidade de nutrientes provenientes da biomassa das árvores nativas da Mata Atlântica. A cobertura vegetal (matéria morta), mantém a umidade do solo, dispensando a necessidade de irrigação e revolvimento do solo.

Tais atributos, tornam essas áreas ideais para o levantamento da ocorrência e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares, uma vez que áreas com manejo intensivo interfere diretamente na eficiência da associação fungo/planta, podendo apresentar perda de diversidade dos FMAs em estudo.

Diante do exposto, o presente estudo propõe realizar um levantamento sobre a ocorrência e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em sistemas de cacau-cabruca na região Sul da Bahia.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização das áreas de coleta

As coletas foram realizadas em 6 propriedades localizadas no Sul da Bahia, situadas entre municípios de Itajuípe e Ilhéus. Todas as propriedades apresentavam características semelhantes: pertencentes a agricultores familiares, com até quatro módulos fiscais, (≤ 80 hectares); plantios de cacau com idade entre

cinco a dez anos de implantação, com pouco ou nenhum manejo. As variedades de cacau predominante nessas áreas foram: CCN51, CEPEC 2002, PH 16 e SJ 02, clones mais utilizados pelos cacauicultores da região por apresentar alta produtividade, maior resistência às doenças vassoura de bruxa e podridão parda e autocompatibilidade.

As áreas estão localizadas nas seguintes coordenadas geográficas. Área 1: 14°37'55.2"S 39°23'56.2"W; Área 2: 14°37'45.2"S 39°24'10.5"W Área 3: 14°37'34.5"S 39°24'23.1"W; Área 4: 14°39'14.4"S 39°23'32.3"W; Área 5: 14°40'11.6"S 39°23'37.1"W; Área 6: 14°41'00.4"S 39°24'22.4"W; com topografia plana, solos bem drenados, propício ao cultivo do cacauzeiro. Para melhor caracterização dos atributos químicos do solo das áreas de coleta, foi realizada uma análise de solo (Tabela 1).

A região apresenta alta pluviosidade ao longo do ano, mesmo em períodos secos, chegando a 1.495 mm de pluviosidade média anual, nas áreas localizadas na cidade de Itajuípe e 1.946 mm nas áreas localizadas na cidade de Ilhéus.

Tabela 1. Análise de solo das áreas de coleta de solo e raízes de cacau no Sul da Bahia.

Determinações		áreas					
		Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	Área 6
pH CaCl ₂	-	4,7	5	4,9	4,6	4,6	4,9
M.O. Colorimétrica.	g.dm. ⁻³	35	32	21	33	35	31
P Resina	mg.dm. ⁻³	18	14	12	11	17	9
K Resina	mmolc.dm. ⁻³	1,2	<0,9	1,6	2	2,4	1,9
Ca Resina	mmolc.dm. ⁻³	29	28	20	25	28	28
Mg Resina	mmolc.dm. ⁻³	16	22	14	9	11	14
H+Al SMP	mmolc.dm. ⁻³	58	34	42	52	52	28
SB	mmolc.dm. ⁻³	46,2	50,8	35,6	36	41,4	43,9

CTC	mmolc.dm. ³	104,2	84,8	77,6	88	93,4	71,9
V	%	44	60	46	41	44	61

Coleta das amostras de solo e raízes de cacau

Foram coletadas de forma aleatória, em caminho zig zag, 5 amostras de solo em cada área na camada 0-15 cm de profundidade, durante dois períodos (chuvoso e seco). As amostras de solo após coleta, foram secas ao ar, destorroadas, homogeneizadas, peneiradas em peneira de 2 mm, e em seguida armazenadas a 4°C em câmara fria, até realização das análises. Foram coletadas também raízes finas de cacau (<2 mm), na profundidade de 0-15 cm. As raízes coletadas nas áreas foram lavadas em água e acondicionadas em recipientes plásticos, previamente identificados contendo álcool 50%, para conservação até as análises.

Para realização da análise química do solo, foram coletadas em cada área amostras de solo, de forma aleatória, em caminho zig zag, na camada de 0-15 cm, sendo 1 amostra composta (formada por 5 amostras simples) por área. As amostras de solo após coleta, foram secas ao ar, destorroadas, homogeneizadas, peneiradas em peneira de 2 mm e encaminhadas para Laboratório de Química do Solo, do Departamento de Ciência do Solo, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Esalq-USP).

Determinação da densidade de esporos

Após coleta, foi determinada a densidade de esporos utilizando a metodologia do peneiramento úmido. Conforme esta metodologia, os esporos de FMA foram extraídos de 50 g das amostras de solo (Gerdemam & Nicolson, 1963), seguido por centrifugação em água e solução de sacarose 50% (Jenkins, 1964). Neste procedimento, cada amostra de solo foi transferida para um recipiente contendo 1000 mL de água, homogeneizados com a mão para desestruturação de todos os torrões (aglomerados) existentes.

Na sequência, o material foi decantado por um minuto, sendo o sobrenadante vertido sobre duas peneiras sobrepostas de 40 e 400 mesh. O material retido nas peneiras foi recolhido em um tubo de ensaio e submetido à centrifugação em água (3000 rpm) por 3 minutos. Em seguida o sobrenadante foi descartado e, ao material depositado no fundo, adicionou-se solução de sacarose 50%. O material foi ressuspenso com auxílio de bastão de vidro e os tubos de ensaio novamente levados à centrífuga (2000 rpm) por 1 minuto.

O sobrenadante foi vertido na peneira de 400 mesh e os esporos retidos na mesma foram lavados em água corrente para retirada do excesso de sacarose, e transferidos para placa canaletada, para serem quantificados com auxílio de um microscópio estereoscópico (40 x).

Determinação da taxa de colonização micorrízica

Para determinação da taxa de colonização micorrízica, foram coletadas raízes finas de cacau (< 2mm), lavadas repetidas vezes em água destilada e em seguida imersas em solução de NaOH 10% por 24 h, em temperatura ambiente, para serem diafanizadas. Após esse período, foram lavadas com água destilada, tratadas com H₂O₂ alcalina por 45 minutos e em seguida com HCl 1% por 3 minutos. Posteriormente, foram imersas em solução de azul de trypan 0,05% lactoglicerol por 24 h, em temperatura ambiente (Koske; Gemma, 1989), e após este período, conservadas em lactoglicerol ácido, até avaliação. A avaliação da percentagem de colonização micorrízica foi realizada através do método da placa quadriculada (Giovannetti; Mosse, 1980).

Os fragmentos de raízes coradas foram colocados em placa quadriculada (quadrículas de 1,27 cm) e observados em microscópio estereoscópico (40x), sendo contados 100 segmentos de raiz que fizerem interseção com as linhas verticais e horizontais e registrando-se o número de segmentos colonizados. Foram considerados colonizados, os segmentos de raízes que apresentaram estruturas típicas de fungos micorrízicos, tais como vesículas, arbúsculos, hifas e pelotões.

Identificação taxonômica das espécies de FMAs

Para identificação taxonômica das espécies de FMA, foram montadas lâminas com PVLG (álcool polivinílico-lactoglicerol) e com Melzer + PVLG (1:1; v:v) (Morton et al., 1993), a partir das extrações realizadas para contagem de esporos. Esses esporos foram agrupados de acordo com as características morfológicas (cor, tamanho, forma) e dispostos nas lâminas para identificação. Para subsidiar a identificação, utilizou-se literatura especializada (Schenck; Perez 1988; Carrenho, 1998; INVAN, 2009; Blaszkowski, 2009). A riqueza de espécies foi determinada de acordo com o número de espécies de FMAs que ocorreram na área.

Delineamento experimental e análise estatística

O estudo foi constituído com base no experimento em delineamento inteiramente casualizado (DIC). O esquema fatorial estabelecido foi 6 x 2, sendo 6 áreas e 2 períodos de coleta (chuvoso e seco), com cinco repetições. Os resultados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade (Bartlett). Quando não atendidos os pressupostos os dados foram transformados pela função raiz quadrada do arco-seno x . Posteriormente foi efetuada análise de variância e teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, para a comparação das médias, das variáveis densidade de esporos e taxa de colonização das raízes. Para verificar a relação das referidas variáveis com variáveis de análise química do solo, durante o período chuvoso foi estimada a matriz de correlação, segundo método de Pearson. A significância do coeficiente de correlação (r) verificada pelo teste t de Student, a 5 % de probabilidade. Todas as análises estatísticas foram realizadas, utilizando o programa R (R, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros de ocorrência e estabelecimento da simbiose dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) com as raízes de cacau, constituem-se fatores importantes nos estudos desses microrganismos.

Nesse sentido, o teste F da análise de variância, a 5% de probabilidade representou interação significativa entre os dados da análise fatorial para densidade de esporos, o que indica expressiva interação entre as áreas e o período de coleta das amostras analisadas (Tabela 2).

Nota-se que a determinação da área com maior ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares dependerá do período de coleta das amostras (Tabelas 2 e 3), Bomfim et al (2010), avaliando aspectos fisiológicos de fungos micorrízicos em cafeeiros cultivados sob dois sistemas (sombreado e pleno sol) durante dois períodos (seco e chuvoso), encontraram resultados semelhantes ao presente estudo. O mesmo não ocorreu com a taxa de colonização, onde apenas a área foi significativa, não podendo determinar qual melhor período de coleta para o estabelecimento dos FMAs com as raízes das plantas de cacau (Tabelas 2 e 4).

Tabela 2. Resumo da Análise de variância da densidade de esporos e taxa de colonização.

Fonte de variação	QM	
	Densidade de Esporos	Taxa de Colonização
Área	0,25760***	799,07***
Período	0,62467***	55,01
Área x Período	0,24565***	74,99
Resíduo	0,02683	123,08
CV%	29,56	20,0

*** e * significativo ($p \leq 0,001$) e ($p \leq 0,05$), respectivamente pelo teste F. QM= quadrado médio; CV %= coeficiente de variação.

Tendo em vista que a melhor área de ocorrência dos FMAs dependerá do período em que as amostras foram coletadas, observa-se diferença significativa a

nível de 0,05 de probabilidade entre as áreas e os períodos de coleta das amostras de solo (Tabela 3). Essa diferença é explicada por ser a variação sazonal um dos fatores que influencia diretamente a esporulação de algumas espécies de FMAs, sendo estas restritas a condições sazonais, apresentando maior esporulação em determinados períodos do ano (Cardoso et al., 2003).

Tabela 3. Densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em plantios de cacau cabruca durante dois períodos de coleta na Região Sul da Bahia.

Área	Densidade de Esporos (por 50 g de solo)	
	Período chuvoso	Período seco
Área 1	562,8 aA	300,4 cB
Área 2	284,0 bB	671,8 aA
Área 3	147,6 bB	349,2 cA
Área 4	91,2 bB	475,6 bA
Área 5	138,2 bA	90,8 dA
Área 6	72,4 bB	392,6 cA

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Letras maiúsculas comparam nas linhas cada área em ambos os períodos de coleta. Letras minúsculas comparam na coluna as áreas em cada período de coleta.

A densidade de esporos nas áreas avaliadas variou entre 72,4 a 562,8 esporos por 50 g de solo durante o período chuvoso, enquanto que no período seco foi entre 90,8 a 671,8 esporos por 50 g de solo (Tabela 3). Estes valores referentes a densidade de esporos estão próximos aos valores encontrados por Marinho et al. (2019) em seu estudo sobre diversidade de fungos micorrízicos em locais naturais e antropizados de florestas tropicais brasileira na Caatinga. Nesse estudo, os autores verificaram maior densidade de esporos nas áreas naturais.

Na coleta realizada durante o período chuvoso, observou-se maior densidade de esporos na área 1 (562,8 esporos por 50 g de solo), diferindo estatisticamente dos valores registrados nas áreas 2, 3, 4, 5 e 6. A alta densidade de esporos nessa área evidencia a grande ocorrência de fungos micorrízicos em sistemas agroflorestais (cacau cabruca). As áreas 2, 3, 4, 5 e 6 não diferiram

estatisticamente entre si, apresentando, respectivamente: 284,0; 147,6; 91,2; 138,2 e 72,4 esporos por 50 g de solo (Tabela 3).

No período seco a área 2 apresentou maior densidade de esporos (671,8 esporos por 50 g de solo), seguido da área 4 (475,6 esporos por 50 g de solo). As áreas 1, 3 e 6 não apresentaram diferença estatística entre si (300,4; 349,2; 392,6 esporos por 50 g de solo). Na área 5, registrou-se o menor valor referente à densidade de esporos, em comparação as demais áreas (90,8 esporos por 50 g de solo).

Em relação à densidade de esporos nas áreas entre os períodos de coleta, verificou-se que na área 1, foram registrados maiores valores durante o período chuvoso em comparação ao período seco, diferindo estatisticamente entre si (562,8 e 300,4 esporos por 50 g de solo, respectivamente). Entretanto as áreas 2, 3, 4 e 6, apresentaram maiores valores referentes à densidade de esporos no período seco (349,2 a 671,8 esporos por 50 g de solo) em relação ao período chuvoso (72,4 a 284,0 esporos por 50 g de solo). Não houve diferença significativa na densidade de esporos entre o período seco e chuvoso na área 5. Com relação às épocas de coletas das amostras, observa-se que de um modo geral, houve um aumento da esporulação dos fungos no período seco em comparação ao período chuvoso (Tabela 3). Em estudo realizado com cafeeiro cultivado em sistema sombreado e a pleno sol, durante duas épocas de coleta, Bonfim et al. (2010) também observaram maior densidade de esporos no sistema arborizado durante a época seca.

Ainda segundo Bonfim et al. (2010) em condições ambientais adversas algumas espécies de FMAs desenvolvem estratégias de sobrevivência e manutenção da espécie através do aumento da esporulação. Poucos são os estudos avaliando a ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares associados ao cacau em sistema cabruca na literatura, contudo, nota-se que o presente levantamento apresenta resultados expressivos em densidade de esporos encontrados nas áreas em sistema cacau-cabruca.

Não houve influência do período de coleta das amostras sobre a taxa de colonização das raízes de cacau pelos FMAs, sendo observada apenas diferença com relação à área coletada sobre esta variável (Tabela 4). Observa-se que as plantas de cacau na área 2 apresentaram maior taxa de colonização micorrízica

nas raízes (81%), contudo, não diferiram estatisticamente das plantas nas áreas 1, 3 e 6 (69%, 76%, 75%, respectivamente). Menores valores referentes a taxa de colonização micorrízica foram registrados nas áreas 4 e 5 que não diferiram estatisticamente entre si, apresentando 52% e 47%.

A taxa de colonização micorrízica das raízes de cacau variou entre 47% a 81%. Os valores registrados nesse estudo são superiores aos observados por outros autores em plantios de cacau cabruca (Santos 1986; Cuenca et al 1991; Santos et al, 2007; Oliveira Filho, 2019). Os períodos (chuvoso e seco) de coleta das amostras de solo não interferiram na taxa de colonização das raízes no estudo com cacau em sistema-cabruca. A não interferência dos períodos de coleta das amostras de raízes na taxa de colonização, em raízes de cacau, representa um aspecto importante de resistência das espécies de FMAs que formam simbiose com o cacau a fatores climáticos. Tal aspecto favorece o cacau, que contará com os benefícios dessa associação praticamente o ano inteiro. Esses resultados evidenciam que as condições climáticas podem interferir no estabelecimento da simbiose fungo-planta, no entanto não são fatores determinantes na associação micorrízica.

Tabela 4. Taxa de colonização micorrízica das raízes de cacau em plantios de cacau-cabruca na Região Sul da Bahia.

Área	Taxa de colonização (%)
Área 1	69 a
Área 2	81 a
Área 3	76 a
Área 4	52 b
Área 5	47 b
Área 6	75 a

Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

A riqueza de espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) presentes em uma determinada área representa a composição da diversidade

micorrízica atuante no solo. Dessa forma constitui-se um outro fator importante a ser avaliado em estudos sobre fungos micorrízicos arbusculares.

Conforme os resultados obtidos, foram identificadas um total de 26 espécies de FMAs nativos das áreas de cacau cabruca. As áreas 2 e 3 apresentaram maior riqueza de espécie (11), predominando os gêneros *Glomus* e *Acaulospora* (Tabela 5). A segunda maior riqueza de espécie ocorreu na área 1 (9), seguida das áreas 4 (6) e 5 (6) (Tabela 5). Na área 6 foi registrado menor riqueza de espécie (4), composta apenas por espécies do gênero *Acaulospora*. Os gêneros *Acaulospora* e *Glomus* foram mais abundantes nas áreas estudadas, sendo *Acaulospora* encontrada em todas as áreas.

Em estudo realizado em áreas de cacau cabruca no Sul da Bahia, Oliveira Filho (2019) encontrou resultado semelhante em relação a predominância desses gêneros nesses agroecossistemas. A grande ocorrência dos gêneros *Glomus* e *Acaulospora* se deve ao fato da adaptação dos mesmos a climas tropicais, como encontrado no Sul da Bahia (Cuenca; Meneses, 1996; Feldmann et al., 2000; Zhao et al., 2001). Esses dados corroboram também com os resultados encontrados por (Lima et al, 2013), em estudo realizado no Semiárido do Nordeste. Espécies desses gêneros desenvolveram uma capacidade adaptativa a diferentes fatores como pH do solo e teor de matéria orgânica (Carrenho 1998).

As espécies *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora foveata*, *Acaulospora herrerae*, ocorreram em todas as áreas estudadas. Entretanto, algumas espécies foram exclusivas das áreas como *Dominikia* sp., *Sclerocystis sinuosa* registradas na área 1, *Glomus glomerulatum* e *Glomus* sp. (similar a *invermaium*) na área 2, *Gigaspora decipiens*, *Acaulospora tuberculata*, *Ambispora appendiculata* e *Paraglomus brasilianum* na área 3, *Septoglomus* sp (similar a *furcatum*), *Funneliformis* sp., *Septoglomus furcatum* na área 5 e *Acaulospora longula* na área 6.

Embora a riqueza de espécies identificadas constitua uma pequena amostra, esta apresentou resultados satisfatórios se comparado com outros levantamentos. Em um estudo, Oliveira Filho (2019) identificou cerca de 42 espécies de fungos micorrízicos arbusculares em cacauzeiros no Sul da Bahia. Considerando que suas coletas foram realizadas durante as quatro estações do ano, enquanto o presente

estudo foi avaliado apenas dois períodos (chuvoso e seco), a riqueza de espécie encontrada representou mais de 50%.

Tabela 5. Diversidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares em plantios de cacau cabruca na região Sul da Bahia.

Espécies de FMA	Áreas					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	X	X	X	X		
<i>Acaulospora morrowiae</i>	X	X	X			
<i>Glomus brohultii</i>	X	X	X			
<i>Acaulospora</i> sp nov.	X					
<i>Dominikia</i> sp.	X					
<i>Paraglomus occultum</i>	X	X				
<i>Acaulospora foveata</i>	X	X	X	X		X
<i>Sclerocystis sinuosa</i>	X					
<i>Glomus</i> sp. (similar a <i>G. trufemii</i>)	X					
<i>Glomus trufemii</i>		X	X	X		
<i>Claroideoglomus etunicatum</i>		X			X	
<i>Glomus spinuliferum</i>		X	X			
<i>Glomus</i> sp. (similar a <i>Ambispora</i>)		X				
<i>Glomus glomerulatum</i>		X				
<i>Glomus</i> sp. (similar a <i>invermaium</i>)		X				
<i>Gigaspora decipiens</i>			X			
<i>Acaulospora tuberculata</i>			X			
<i>Ambispora appendicola</i>			X			
<i>Paraglomus brasilianum</i>			X			
<i>Acaulospora. Herrerae</i>			X	X	X	X
<i>Acaulospora mellea</i>				X	X	X

<i>Glomus sp.</i> (similar a trufemii)				X		
<i>Septoglomus sp.</i> (similar a furcatum)					X	
<i>Funneliformis sp.</i>					X	
<i>Septoglomus furcatum</i>					X	
<i>Acaulospora longula</i>						X
Riqueza de Espécies	9	11	11	6	6	4

O comportamento das taxas de colonização das raízes (Tx.Col) e densidade de esporos (NE) com relação aos atributos químicos do solo também foi verificado. A correlação entre essas variáveis auxilia na compreensão do desenvolvimento dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) a partir da disponibilidade de determinados nutrientes presentes no solo. Os resultados são expressos na matriz de correlação seguinte (Figura 1).

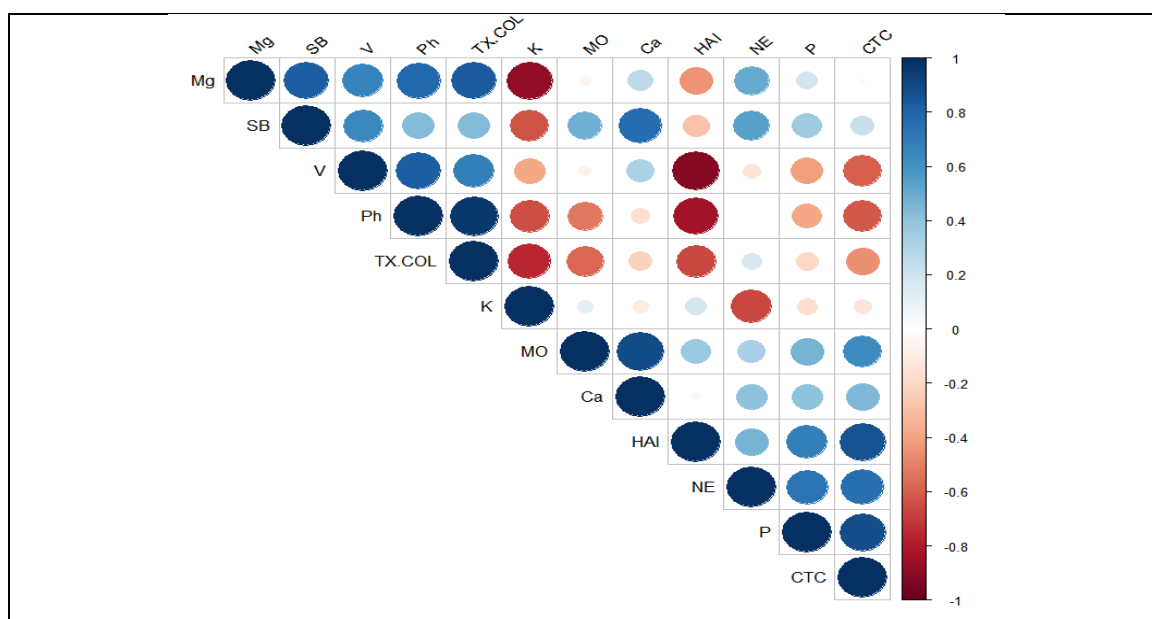


Figura 1. Matriz de correlação entre as variáveis estudadas. A cor azul representa correlação positiva e a cor vermelha correlação negativa. A intensidade da coloração reflete a magnitude do coeficiente de correlação. TX.COL=Taxa de Colonização; NE=Número de Esporos; MO=Matéria Orgânica; SB=Soma de Bases; CTC= Capacidade de Troca de Cátions.

De acordo com a matriz de correlação, observa-se correlação positiva significativa ($r=0,83$) entre a taxa de colonização e o teor de magnésio (Mg) presente na parte aérea das mudas de cacau (Figura 1). Conforme aumenta a taxa de colonização das raízes, houve aumento no teor de Mg no solo. De acordo com Silveira et al. (2002) correlações positivas indicam relação direta entre as variáveis estudadas. Conforme Nunes et al. (2008) valores elevados de taxa de colonização são responsáveis por valores elevados do parâmetro avaliado.

Desse modo pode-se inferir que a disponibilidade de magnésio no solo influencia o aumento da taxa de colonização das raízes de plantas de cacau. Freitas et al. (2005) em estudo sobre a associação entre fungos micorrízicos arbusculares e espécies pioneiras em capoeiras na Amazônia Central encontrou correlações positivas entre a taxa de colonização e o teor de nutrientes do solo, dentre os quais encontrava-se o magnésio, resultado semelhante ao encontrado nesse estudo. Ainda sobre a taxa de colonização verifica-se correlação positiva significativa ($r=0,97$) com o pH do solo. As áreas de coleta deste estudo apresentaram solos ácidos com pH variando entre 4,6 a 5,0, valores próximos do que se considera ambiente propício para ocorrência e diversidade de espécies de FMAs (Pausas e Austin, 2001), o que refletiu em uma correlação positiva da variável estudada com pH do solo.

Segundo Soti (2014) o nível de colonização micorrízica está relacionado também ao pH do solo: um maior grau de colonização micorrízica ocorre em solos com pH 5,5 a 6,0. Em outro estudo realizado por Soti et al. (2015) avaliando o pH do solo no crescimento, absorção de nutrientes e colonização micorrízica em *Lygodium microphyllum* encontrou efeito significativo do pH do solo e a taxa de colonização, indicando que a variável analisada exerce relação com a colonização das raízes das plantas.

A taxa de colonização apresentou correlação negativa significativa com o teor de potássio (K) do solo ($r= -0,75$). Diferentemente do fósforo, o potássio é um nutriente de grande mobilidade no solo (Chepote et al., 2013), provavelmente a disponibilidade desse elemento no solo influenciou na taxa de colonização das raízes do cacaueiro, proporcionando uma correlação inversa. Com relação aos

teores de matéria orgânica, houve correlação negativa, porém não significativa ($r = -0,57$), com a taxa de colonização.

Verificou-se correlação significativa positiva entre: número de esporos e os teores de fósforo no solo ($r = 0,73$). Balota et al. (2011) observou que a adição de níveis crescentes de fósforo no solo proporcionou aumentos significativos na esporulação de FMAs. Houve ainda, correlação significativa entre o número de esporos e capacidade de troca catiônica (CTC) ($r = 0,75$). O número de esporos e os teores de potássio presente no solo apresentou correlação negativa, porém não foi significativa ($r = -0,67$). Não houve correlação significativa entre o número de esporos e os teores de magnésio (Mg), cálcio (Ca) e matéria orgânica (MO) do solo.

CONCLUSÃO

- A maior ocorrência dos FMAs aconteceu em maior número de áreas durante período seco, onde houve uma maior esporulação dos fungos micorrízicos.
- O período de coleta não influenciou na taxa de colonização das raízes das plantas de cacau, contudo as maiores taxas de colonização foram registradas nas áreas 1, 2, 3 e 6.
- Verificou-se maior riqueza de espécies nas áreas 2 e 3, sendo os gêneros *Glomus* e *Acaulospora* os mais abundantes.
- Houve uma correlação linear entre a química do solo e a taxa de colonização dos FMAs apenas para o elemento magnésio.
- Verificou-se também correlação positiva entre a taxa de colonização e o pH do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGGANGAN, N.S.; CORTES, A.D.; REAÑO, C.E. Growth response of cacao (*Theobroma cacao* L.) plant as affected by bamboo biochar and arbuscular mycorrhizal fungi in sterilized and unsterilized soil. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 22, p. 101-347, 2019.

BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; STENZEL, N. M. C. Resposta da acerola à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares em solo com diferentes níveis de fósforo. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p. 166-175, 2011.

BONFIM, J. A.; MATSUMOTO, S. N.; LIMA, J. M.; CÉSAR, F. R. C. F.; SANTOS, M. A. F. Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e aspectos fisiológicos em cafeeiros cultivados em sistema agroflorestal e a pleno sol. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p.201-206, 2010.

CARDOSO, I. M.; BODDINGTON, C.; JANSSEN, B.H.; OENEMA, O.; KUYPER, T.W. Distribution of mycorrhizal fungal spores in soils under agroforestry and monocultural coffee systems in Brazil. **Agroforestry Systems**, v.58, p.33-43, 2003.

CARRENHO, R. **Influência de diferentes espécies de plantas hospedeiras e fatores edáficos no desenvolvimento de FMA**. Tese de doutorado. Universidade Estadual de São Paulo. Sao Paulo – SP, 1998, 135p.

COSTA, C. M. C.; MAIA, L. C.; CAVALCANTE, U. M. T.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Influência de fungos micorrízicos arbusculares sobre o crescimento de dois genótipos de aceroleira (*Malpighia emarginata* DC). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 6, p. 893-901, 2001.

CUENCA, G.; MENESES, E. Diversity patterns of arbuscular mycorrhizal fungi associated with cacao in Venezuela. **Plant and Soil**, v. 183, n. 2, p. 315-322, 1996.

CHEPOTE, R. E.; SODRÉ, G. A.; REIS, E. L.; PACHECO, R. G.; MARROCOS, P. C.; VALLE, R. R. Recomendações de corretivos e fertilizantes na cultura do cacauero no Sul da Bahia. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, Brazil, n. 203, 2013.

FELDMANN, F.; SILVA JUNIOR, J. P.; IDCZAK, E.; LIEBEREI, R. AMF spore community composition at natural and agricultural sites in Central Amazonia-a long term study. **Neotropical Ecosyst Hamburg**, p. 669-682, 2000.

FREITAS, R. D. O. **Associação entre fungos micorrízicos arbusculares e espécies pioneiras em capoeiras na Amazônia Central**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Amazonas. Manaus – Amazonas, 80p., 2005.

FREW, A. Arbuscular mycorrhizal fungal diversity increases growth and phosphorus uptake in C3 and C4 crop plants. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 135, p.248-250, 2019.

JIMÉNEZ-MORENO, M.J.; MORENO-MÁRQUEZ, M. D. C.; MORENO-ALÍAS, I.; RAPOPORT, H.; FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R. Interaction between mycorrhization with *Glomus intraradices* and phosphorus in nursery olive plants. **Scientia Horticulturae**, v. 233, p.249-255, 2018.

LI, C. U. I.; FENG, G. U. O.; ZHANG, J. L.; SHA, Y. A. N. G.; MENG, J. J.; YUN, G. E. N. G.; WAN, S. B. Arbuscular mycorrhizal fungi combined with exogenous calcium improves the growth of peanut (*Arachis hypogaea* L.) seedlings under continuous cropping. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 18, n. 2, p.407-416, 2019.

LIMA, F.; SOARES, A. C. F.; SOUSA, C. S. Ocorrência e atividade de fungos micorrízicos arbusculares em plantios de eucalipto (*Eucalyptus* sp.) no litoral norte da Bahia, Brasil. **Revista Árvore**, v. 37, n. 2, p. 245-255, 2013.

MARINHO, F.; OEHL, F.; SILVA, I. R.; COYNE, D.; NÓBREGA VERAS, J. S.; MAIA, L. C. High diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in natural and anthropized sites of a Brazilian tropical dry forest (Caatinga). **Fungal Ecology**, v. 40, p. 82-91, 2019.

NUNES, J. L. D. S.; SOUZA, P. V. D. D.; MARODIN, G. A. B.; FACHINELLO, J. C. Inoculação de fungos micorrízicos arbusculares em porta-enxerto de pessegueiro cv Okinawa. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, SP. v. 30, n. 4, p. 1100-1106, 2008.

NUNES, J. L. S.; SOUZA, P. V. D. D.; MARODIN, G. A. B.; FACHINELLO, J. C. Desenvolvimento de plântulas de pessegueiro'Okinawa'inoculadas com micorrizas arbusculares isoladas de pomares de pessegueiros e de vinhedos. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Cruz das Almas, Ba. v. 35, n. 3, p. 845-852, 2013.

OLIVEIRA, A. N.; OLIVEIRA, L. A.; FIGUEIREDO, A. F. Colonização micorrízica e concentração de nutrientes em três cultivares de bananeiras em um Latossolo Amarelo da Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v. 33, n. 3, p. 345-352, 2003.

OLIVEIRA FILHO, L. J. X. **Caracterização de indicadores da qualidade do solo em sistemas agroflorestais**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Santa Cruz. Ilhéus – BA, 76p., 2019.

PAUSAS, J.G.; AUSTIN M. P. Patterns of plant species richness in relation to different environments: an appraisal. **Journal of Vegetation Science**, v. 12, p.153-166, 2001.

PRADO, I.G.O.; SILVA, M. D. C. S.; PRADO, D. G. O.; KEMMELMEIER, K.; PEDROSA, B. G.; SILVA, C. C.; KASUYA, M. C. M. Revegetation process increases the diversity of total and arbuscular mycorrhizal fungi in areas affected by the Fundão dam failure in Mariana, Brazil. **Applied Soil Ecology**, v. 141, p.84-95, 2019.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>, 2019.

SANTOS, O. M. Efeito de Diferentes Fontes de Fósforo e Fungos Micorrízicos Vesículo-Arbusculares sobre o Crescimento e Absorção de Nutrientes em Plantas de Cacau. **Universitas**, n. 38, p. 81, 1986.

SANTOS, T. L.; RIBEIRO, D.O.; REIS, J. N.; GROSS, E. **Fungos micorrízicos arbusculares em cacauzeiros da Fazenda Luz do Vale (Itabuna-BA)**. Anais do 13º Seminário de Iniciação Científica da UESC, Ilhéus: UESC. 2007.

SARR, P. S.; SUGIYAMA, A.; BEGOUDE, A. D. B.; YAZAKI, K.; ARAKI, S.; NAWATA, E. Diversity and distribution of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) croplands in Cameroon as revealed by Illumina MiSeq. **Rhizosphere**, v. 10, p.147-153, 2019.

SILVEIRA, S. V.; SOUZA, P. V. D.; KOLLER, O. C. Efeito de fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimento do abacateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 37, n. 11, p. 1597-1604, 2002.

SOTI, P. G.; JAYACHANDRAN, K.; PURCELL, M.; VOLIN, J. C.; KITAJIMA, K. Mycorrhizal symbiosis and *Lygodium microphyllum* invasion in south Florida. **A biogeographic comparison**. Symbiosis, v.62, n.2, p.81-90, 2014.

SOTI, P.G.; JAYACHANDRAN, K.; KOPTUR, S.; VOLIN, J. C. Effect of soil pH on growth, nutrient uptake, and mycorrhizal colonization in exotic invasive *Lygodium microphyllum*. **Plant Ecology**, v. 216, n. 7, p. 989-998, 2015.

THIOUB, M.; EWUSI-MENSAH, N.; SARKODIE-ADDO, J.; ADJEI-GYAPONG, T. Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation enhances phosphorus use efficiency and soybean productivity on a Haplic Acrisol. **Soil And Tillage Research**, v. 192, p.174-186, 2019.

WANG, F. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in mining-impacted sites and their contribution to ecological restoration: Mechanisms and applications. **Critical**

Reviews in Environmental Science and Technology, v. 47, n. 20, p. 1901-1957, 2017.

YANG, Y.; LIANG, Y.; HAN, X.; CHIU, T. Y.; GHOSH, A.; CHEN, H.; TANG, M. The roles of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in phytoremediation and tree-herb interactions in Pb contaminated soil. **Scientific Reports**, v. 6, p. 20469, 2016.

ZHAO, Z.W.; XIA, Y. M.; QIN, X. Z.; LI, X. W.; CHENG, L. Z.; SHA, T.; WANG, G. H. Arbuscular mycorrhizal status of plants and the spore density of arbuscular mycorrhizal fungi in the tropical rain forest of Xishuangbanna, southwest China. **Mycorrhiza**, v. 11, n. 3, p. 159-162, 2001.

ARTIGO 2

FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NO CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DE MUDAS CLONAIIS DE CACAU²

²Artigo a ser ajustado para posterior submissão ao Comitê Editorial do periódico científico Pesquisa Agropecuária Tropical, em versão na língua inglesa.

Fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e nutrição de mudas clonais de cacau

Resumo: O processo de recuperação e renovação da cacauicultura no Sul da Bahia vem demandando a produção de mudas clonais adaptadas e resistentes aos problemas fitossanitários da cultura na região. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) no crescimento e nutrição de mudas clonais de cacau. O experimento foi instalado em delineamento de blocos inteiramente casualizados, em esquema fatorial 4 x 4 + 1, onde foi avaliada a eficiência de 4 espécies de fungos micorrízicos arbusculares: *Acaulospora mellea*, *Dentisculata heterogama*, *Scutellospora calospora* e *Glomus formosanum*, mais tratamento controle (sem inoculação com o fungo), em 4 clones de cacau: SJ 02, CEPEC 2002, CCN 51 e PH 16; com 5 repetições. Após 120 dias o experimento foi coletado para determinação da altura das mudas, diâmetro do caule, produção de biomassa seca na parte aérea e raízes, teores de macronutrientes e taxa de colonização micorrízica. Os resultados demonstraram que o clone CCN 51 apresentou maiores teores de Ca e Mg, bem como diâmetro do caule e peso seco da raiz. O clone PH 16 e CCN 51 apresentaram melhores rendimentos de peso seco da parte aérea, quando inoculado com as espécies *Acaulospora mellea*, *Scutellospora calospora* e *Glomus formosanum*. Os maiores valores referentes a taxa de colonização micorrízica foram observados nas mudas inoculadas pelas espécies do gênero *Glomus*, *Scutellospora* e *Acaulospora*, sendo os gêneros *Acaulospora* e *Glomus* mais eficientes na absorção do S. A taxa de colonização micorrízica apresentou correlação direta com o desenvolvimento das mudas. A inoculação de algumas espécies de fungos micorrízicos arbusculares em mudas de diferentes genótipos de cacau melhora o desenvolvimento das mudas em fase de viveiro.

Palavras-chave: Produção de mudas, *Theobroma cacao* L. micorrização.

Arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nutrition of clonal cocoa seedlings

Abstract: The process of recovery and renewal of cocoa cultivation in Southern Bahia has been demanding the production of clonal seedlings adapted and resistant to crop phytosanitary problems in the region. In this sense, the present work aimed to evaluate the efficiency of species of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in the growth and nutrition of clonal cocoa seedlings. In this sense, the present work aimed to evaluate the efficiency of species of arbuscular mycorrhizals fungi (AMF) in the growth and nutrition of cocoa clonal seedlings. The experiment was carried out in fully randomized block design in a 4 x 4 + 1 factorial scheme, where you rated the efficiency of four species of arbuscular mycorrhizals fungi: *Acaulospora mellea*, *Dentisculata heterogama*, *Scutellospora calospora* and *Glomus formosanum*, more control treatment (without inoculation with the fungus) in 4 cocoa clones: SJ 02, CEPEC 2002, CCN 51 and PH 16; with 5 repetitions. After 120 days the experiment was collected to determine plants height, stem diameter, dry biomass production of aerial part and roots, macronutrient contents and mycorrhizal colonization rate. The results showed that clone CCN 51 presented higher Ca and Mg contents, as well as stem diameter and root dry weight. The clone PH 16 and CCN 51 presented better shoot dry weight yield when inoculated with *Acaulospora mellea*, *Scutellospora calospora* and *Glomus formosanum* species. The highest values referring the colonization rate were observed in the seedlings inoculated by species of the genus *Glomus*, *Scutelospora* and *Acaulospora*, being the genera *Acaulospora* and *Glomus* more efficient in the absorption of S. The rate of mycorrhizal colonization presented direct correlation with seedling development. The inoculation of some species of arbuscular mycorrhizal fungi in seedlings of different cocoa genotypes improves seedling development in the nursery phase.

Keywords: Seedling production, *Theobroma cacao* L. mycorrhization.

INTRODUÇÃO

Estudos vêm sendo desenvolvidos com intuito de determinar a eficiência de microrganismos simbiotes presentes no solo em promover melhorias nutricionais às plantas (Sousa et al., 2008; Pralon; Martins, 2001; Sugai et al., 2011). Dentre os microrganismos que promovem benefícios nutricionais para as plantas, os fungos micorrízicos arbusculares ganham destaque, por se associar a maioria das plantas vasculares, e auxiliar na absorção de nutrientes disponíveis no solo e disponibilizá-los por meio das raízes às plantas hospedeiras (Wang; Qiu, 2006).

Com o estabelecimento da associação entre os simbiotes, a planta se beneficia com o aumento da área de absorção, proporcionado pelas hifas fúngicas, disponibilizando água e minerais, especialmente o fósforo, elemento pouco móvel no solo (Pereira et al., 2012), e em contrapartida o fungo é beneficiado pelos exsudatos das raízes que permitem o ciclo de vida desses microrganismos (Hoffmann; Lucena, 2006).

A produção de mudas inoculadas com fungos micorrízicos tem demonstrado resultados satisfatórios, especialmente na indução de resistência a fatores abióticos pelas plantas micorrizadas (Pereira et al., 2012). De modo geral, os FMAs favorecem a tolerância das plantas a diversas condições de estresses refletindo positivamente no desenvolvimento das mesmas.

No Sul da Bahia, a produção de mudas de cacau, constitui-se uma etapa importante no processo de recuperação e implantação de novas áreas de cultivo da cacauicultura na região. Contudo, o grande fator restritivo advém das dificuldades econômicas de manejar a cultura sob o dossel da floresta Atlântica, desestimulando grande parte dos cacauicultores (Sodré et al., 2012). Com isso vários esforços vêm sendo desenvolvidos para minimizar os custos de produção do cacau, especialmente para os agricultores familiares, que não dispõem de recursos para investimento nas áreas cultivadas.

Dentre os estudos desenvolvidos com intuito de favorecer a produção do cacau, minimizando os custos gerados com o manejo e adubação; a inoculação de fungos micorrízicos arbusculares em mudas de cacau torna-se uma alternativa promissora, melhorando o estado nutricional das mudas, propiciando melhor estabelecimento em campo e maior taxa de pegamento, o que diminui de forma

expressiva as perdas, além de formar plantas de cacau mais resistentes aos fatores abióticos e problemas fitossanitários da cultura.

No processo de produção de mudas, a escolha do material vegetal também é um fator determinante para as demais fases da implantação ou restauração das áreas de cacau. Para isso é imprescindível a seleção de cultivar adaptada às condições edáficas da região e resistentes às enfermidades fúngicas comuns nessas áreas. Nesse aspecto, a Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), registrou algumas cultivares de cacau, com características específicas que favorecem o estabelecimento e produtividade da cacauicultura. No entanto, tais atributos por si só não minimiza os danos causados por fitopatógenos nos cultivos de cacau, sendo necessários manejos e tecnologias capazes de potencializar a produtividade desses clones.

Diante do exposto o presente trabalho propôs avaliar a eficiência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) na produção e nutrição de mudas clonais de cacau, visando obter melhorias no crescimento e no estado nutricional das mudas.

MATERIAL E MÉTODOS

Instalação e condução do experimento

O experimento foi instalado no Instituto Biofábrica de Cacau (IBC), em delineamento de blocos inteiramente casualizados, esquema fatorial 4x4+1, sendo 4 clones de cacau (SJ 02, CEPEC 2002, CCN 51 e PH 16) x 4 espécies de fungos micorrízicos arbusculares (*Acaulospora mellea*, *Dentisculata heterogama*, *Scutellospora calospora* e *Glomus formosanum*), com 1 tratamento controle, com 5 repetições.

As mudas de cacau foram obtidas no Instituto Biofábrica de Cacau, cultivadas inicialmente em tubetes com capacidade para 288 mL contendo substrato. Inicialmente, hastes dos clones selecionados foram introduzidos nos tubetes contendo substrato para o enraizamento. Neste procedimento a extremidade das hastes antes de serem plantadas foram tratadas com ácido indolbutírico, de modo a auxiliar no enraizamento das estacas. O processo de

enraizamento durou aproximadamente 60 dias e durante esse período, as mudas foram mantidas no viveiro 50% de sombra, recebendo apenas irrigação com água isenta da solução nutritiva que é comumente adicionada para nutrição das mudas nesse processo.

Após enraizamento, as mudas foram transferidas para sacos plásticos com capacidade para 3 kg, contendo substrato comercial, previamente esterilizado em autoclave a 120°C durante uma hora e meia, em três dias alternados. A inoculação das mudas com as espécies de fungos micorrízicos arbusculares foi realizada colocando-se próximo a região das raízes, o inoculo formado por solo, esporos, fragmentos de hifas e raízes colonizadas, no momento do transplante para os sacos.

A quantidade de inoculo foi definida de acordo com o número de esporos por grama de solo, utilizando-se 100 esporos por planta. No tratamento controle, foram adicionados 10 mL de uma suspensão obtida pela filtração da mistura de solo-inoculo isenta de propágulos de FMA, para tentar equilibrar a população microbiana do solo. As mudas foram mantidas em condições de viveiro (50% de sombra), sendo irrigadas com água destilada, conforme necessidade, durante 120 dias, contados a partir do enraizamento das mudas.

Avaliação do crescimento e estado nutricional das mudas micorrizadas

Após 120 dias, as mudas foram coletadas, sendo inicialmente realizada a medição da altura das mudas (distância entre o nível do solo e a inserção do broto terminal da haste principal), com auxílio de uma régua milimetrada e do diâmetro do caule (5 cm acima do colo da planta) utilizando um paquímetro digital. Feita a medição, as mudas foram cortadas, separando-se a parte aérea das raízes. As raízes foram lavadas e, com auxílio de uma pinça, subamostras (<2 mm) foram coletadas aleatoriamente e preservadas em álcool etílico a 50% para determinação da colonização micorrízica utilizando o método da placa quadriculada (Giovannetti; Mosse, 1980). O restante das raízes foi acondicionado em estufa de secagem com ventilação forçada a 65°C, até a obtenção de peso constante para determinação da biomassa seca radicular.

Para determinação da colonização micorrízica, as raízes finas coletadas das mudas (< 2mm) foram lavadas repetidas vezes em água destilada e em seguida imersas em solução de NaOH 10% por 24 h, em temperatura ambiente, para serem diafanizadas. Após esse período, foram lavadas com água destilada, tratadas com H₂O₂ alcalina por 45 minutos e em seguida com HCl 1% por 3 minutos. Posteriormente imersas em solução de azul de trypan 0,05% lactoglicerol por 24 h, em temperatura ambiente (Koske; Gemma, 1989), e após este período, conservadas em lactoglicerol ácido, até avaliação.

A avaliação da percentagem de colonização micorrízica foi realizada através do método da placa quadriculada (Giovannetti; Mosse, 1980). Neste método, fragmentos de raízes coradas foram colocados em placa quadriculada (quadrículas de 1,27 cm) e observados em microscópio estereoscópico (40x), sendo contados 100 segmentos de raiz que fizeram interseção com as linhas verticais e horizontais e registrou-se o número de segmentos colonizados. Considerou-se positivos, os segmentos de raízes que apresentaram estruturas típicas de fungos micorrízicos, tais como vesículas, arbúsculos, hifas e pelotões (Figura 1).

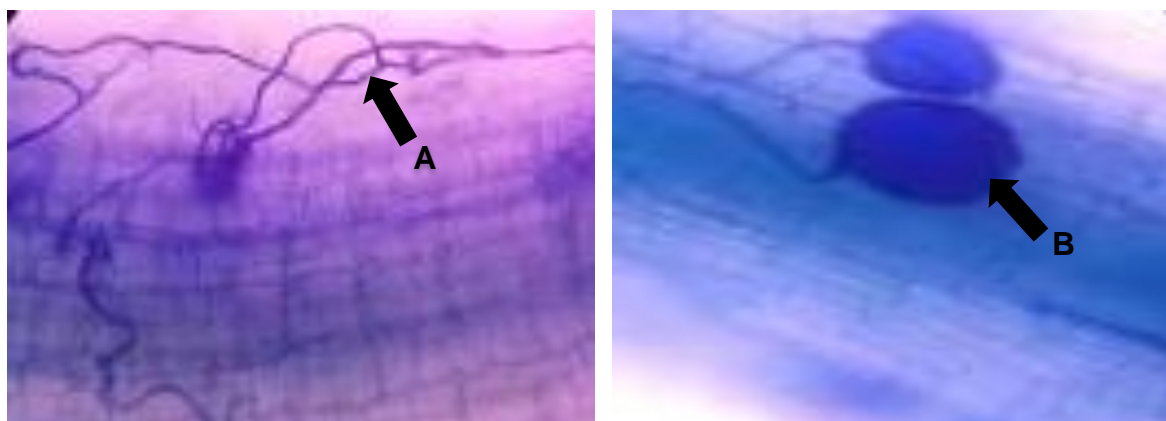


Figura 1: Estruturas de fungos micorrízicos arbusculares em raízes de mudas de cacau. A= hifas intra-radicular, B= vesícula.

A parte aérea das mudas de cacau foi colocada para secar em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até atingir peso constante. Após este período, determinou-se a biomassa seca da parte aérea, através de pesagem, e em seguida, foi realizada moagem e digestão com ácido sulfúrico e peróxido de hidrogênio

(Thomas et al., 1967) e nos extratos, foram determinados os teores dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S).

Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Bartlett). Quando não atendidos os pressupostos os dados foram transformados pela função raiz quadrada do arco-seno x.

Foi também realizada análise de variância e teste de Scott e Knott, a 5% de probabilidade, para a comparação das médias. Realizou-se ainda um teste de correlação de Pearson (significância pelo teste t de Student, a 5% de probabilidade), entre as variáveis, teor de macronutrientes, altura das plantas, diâmetro do caule, produção de biomassa seca na parte aérea e raízes e taxa de colonização micorrízica das raízes, utilizando o programa estatístico R (R, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os clones influenciaram no diâmetro do caule (Diam) e peso seco das raízes (PSR). A interação dos diferentes clones e espécies de FMAs influenciou no peso seco da parte aérea das mudas (PSPA), e na taxa de colonização das raízes (TX. COL) (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância da altura (Alt), diâmetro (Diam), peso seco da parte aérea (PSPA), peso seco da raiz (PSR), taxa de colonização (TX. COL).

Fonte de Variação	QM				
	Alt	Diam	PSPA	PSR	TX. COL
Clone	34,50 ^{ns}	0,505*	0,0047 ^{ns}	3,05*	0,0078 ^{ns}
Fungo	177,72 ^{ns}	0,088 ^{ns}	0,013***	1,36 ^{ns}	0,1729***

CxF	64,60 ^{ns}	0,172 ^{ns}	0,0051*	1,88 ^{ns}	0,0508***
Resíduo	79,78	0,141	0,0018	0,99	0,0102
CV%	25,62	14,93	18,82	66,56	14,81

*** e * significativo ($p \leq 0,001$) e ($p \leq 0,05$), respectivamente pelo teste F. não significativo (ns), Quadrado Médio (QM), Coeficiente de Variação (CV).

Os clones influenciaram na absorção de nutrientes como Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg). As espécies de FMAs inoculadas influenciaram na absorção do Enxofre (S) (Tabela 2). Na absorção de nutrientes não houve interação dos diferentes clones utilizados com as espécies de fungos micorrízicos inoculadas.

Tabela 2. Resumo da análise de variância dos teores de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), nitrogênio (N), fósforo (P), enxofre (S).

Fonte de Variação	QM					
	K	Ca	Mg	N	P	S
Clone	28,34 ^{ns}	12,38*	7,52***	8,97 ^{ns}	0,270 ^{ns}	0,268 ^{ns}
Fungo	8,48 ^{ns}	1,32 ^{ns}	1,45 ^{ns}	2,72 ^{ns}	0,070 ^{ns}	0,316*
CxF	32,36 ^{ns}	3,94 ^{ns}	0,83 ^{ns}	4,50 ^{ns}	0,095 ^{ns}	0,078 ^{ns}
Resíduo	24,51	3,24	1,09	4,70	0,095	0,106
CV%	25,29	16,38	19,63	13,81	13,52	17,35

*** e * significativo ($p \leq 0,001$) e ($p \leq 0,05$), respectivamente pelo teste F. não significativo (ns), Quadrado Médio (QM), Coeficiente de Variação (CV).

De acordo com os resultados, nota-se que mudas do clone CCN 51 apresentaram maiores teores de Ca, em relação às mudas dos demais clones. Paramo et al. (2014) avaliando a absorção e distribuição de nutrientes em clones de cacau e seus efeitos nos rendimentos, verificaram que o CCN 51 foi mais

eficiente na absorção de nitrogênio, fósforo e potássio, o que indica uma alta eficiência desse clone na absorção de nutrientes. Os clones SJ 02, CEPEC 2002 e PH 16 não diferiram estatisticamente entre si, com relação aos teores de Ca na parte aérea, cujos valores variaram entre 9,9 e 12,11 (g kg⁻¹). Não houve diferença significativa entre os clones CCN 51 e PH 16 com relação ao teor de Mg (Tabela 3). Alguns clones de cacau são mais eficientes na absorção de nutrientes que outros (Paramo et al., 2014).

Tabela 3. Teores de Ca (cálcio), Mg (magnésio), diâmetro do caule (DIAM) e peso seco das raízes (PSR) de diferentes clones de cacau.

Clone	Ca	Mg	DIAM	PSR
	(g kg ⁻¹)			(g planta ⁻¹)
SJ 02	9,905 b	4,70 b	2,38 b	1,03 b
CEPEC 2002	10,87 b	4,75 b	2,74 a	2,02 a
CCN 51	12,11 a	6,03 a	2,59 a	1,70 a
PH 16	11,13 b	5,86 a	2,35 b	1,22 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

No desenvolvimento das mudas de cacau, verificou-se melhor desempenho dos clones CEPEC 2002 e CCN 51 em diâmetro do caule (Diam) e peso seco da raiz (PSR), não diferindo estatisticamente entre si. Isso evidencia que há uma diferença entre os clones com relação a eficiência nutricional e produção de biomassa (Carmo-Pinto et al., 2011). Os clones SJ 02 e PH 16 apresentaram desempenho inferior para essas variáveis (Tabela 3).

Analisando o desempenho das espécies de FMAs associadas aos clones de cacau, nota-se que as mudas do clone SJ 02 inoculadas com as espécies fúngicas não diferiram estatisticamente entre si, contudo, apresentaram maior incremento na produção de biomassa na parte aérea em comparação às mudas do tratamento controle.

Tabela 4. Efeito da inoculação com espécies de fungo micorrízicos arbusculares (FMA) sobre o peso seco da parte aérea (g planta⁻¹) de diferentes clones de cacau.

Espécies de FMA	Clones			
	SJ 02	CEPEC 2002	CCN 51	PH 16
<i>Acaulospora mellea</i>	3,80 a B	5,85 a A	8,11 a A	3,85 b B
<i>Dentisculata heterogama</i>	5,50 a A	8,16 a A	2,21 b B	5,55 a A
<i>Scutellospora calospora</i>	7,18 a A	8,33 a A	7,29 a A	8,51 a A
<i>Glomus formosanum</i>	5,83 a A	4,93 a A	7,37 a A	2,74 b B
Controle	2,58 b A	4,56 a A	4,20 b A	3,48 b A

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na linha, e minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

O clone CEPEC 2002 apresentou desenvolvimento semelhantes ao clone SJ 02 em relação as espécies inoculadas, não diferindo estatisticamente entre si. No entanto, mudas do clone CEPEC 2002 não diferiram estatisticamente das mudas do tratamento controle. Nesse caso, nota-se que provavelmente os rendimentos em peso seco da parte aérea (PSPA) das mudas de cacau foi proveniente de aspectos genéticos do próprio clone. Em estudo realizado por Isminio (2016) avaliando o crescimento de genótipos de cacau submetidos à deficiência hídrica e adubação potássica, verificou que mesmo sob estresse hídrico o clone CEPEC 2002 não apresentou redução na produção de biomassa seca, isso explica o fato de não haver diferença estatística entre as mudas do clone CEPEC 2002 inoculadas com as espécies de FMAs e as mudas do tratamento controle. Observa-se com os resultados que genótipos do CEPEC 2002 possuem alto potencial de produção de biomassa, sendo assim, o desenvolvimento das mudas desse clone independe da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) (Tabela 4).

No caso do clone CCN 51, as espécies de FMAs que promoveram incremento no peso seco da parte aérea (PSPA) das mudas foram *Acaulospora mellea*, *Scutellospora calospora* e *Glomus formosanum*. Mudas inoculadas com a espécie *Dentisculata heterogama*, que não diferiram estatisticamente das mudas controle. Para o clone PH 16 as melhores espécies foram *Dentisculata heterogama* e *Scutellospora calospora*, seguidas pelas espécies *Acaulospora mellea* e *Glomus formosanum*, que também não diferiram das mudas controles (Tabela 4).

Analisando a eficiência de cada espécie de FMAs entre os diferentes clones, observa-se que *Acaulospora mellea*, promoveu incrementos significativos na produção de biomassa seca na parte aérea dos clones CEPEC 2002 e CCN 51. A espécie *Dentisculata heterogama*, aumentou a produção de biomassa seca da parte aérea (PSPA) nas mudas de cacau dos clones SJ 02, CEPEC 2002 e PH 16. Não houve diferença significativa na produção de biomassa seca da parte aérea dos clones quando inoculados com a espécie *Scutellospora calospora*. Enquanto para a espécie *Glomus formosanum* apenas o PH 16 apresentou desempenho inferior aos outros clones para peso seco da parte aérea (PSPA) (Tabela 4). Vários trabalhos evidenciam os efeitos positivos da inoculação por fungos micorrízicos no aumento da produção de matéria seca em frutíferas (Trindade et al., 2001; Minhoni e Auler, 2003).

Samarão et al. (2011) encontraram respostas positivas da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares proporcionando aumento na produção de matéria seca de mudas de gravioleira. Costa et al. (2001) testando a inoculação de FMAs em aceroleira também verificaram resultados expressivos da inoculação no aumento da matéria seca da parte aérea. Entretanto é preciso considerar o que foi verificado por Soares et al., (2012) em seu estudo sobre a inoculação de espécies de FMAs em mudas de jenipapeiro, que geralmente existe seletividade do hospedeiro por determinadas espécies de FMAs. Nesse sentido, alguns clones de cacau são mais responsivos a inoculação micorrízica em comparação a outros, isso dependerá do grau de compatibilidade genética entre o fungo e a planta.

Outro fator analisado que depende do grau de compatibilidade genética entre o fungo e a planta é a taxa de colonização. A taxa de colonização das raízes das mudas de cacau depende muito da interação fungo/planta e também é influenciada por fatores ambientais. Conforme os resultados obtidos, nota-se que o genótipo do fungo e da planta influenciaram na taxa de colonização. Para o clone SJ 02, verificou-se maiores taxa de colonização pelas espécies *Dentisculata heterogama*, *Scutellospora calospora* e *Glomus formosanum*, com respectivamente 68%, 70% e 80%. Mudas do clone CEPEC 2002 apresentaram maiores taxas de colonização, quando inoculadas pelas espécies *Scutellospora calospora* (79%) e *Glomus formosanum* (84%) que não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 5).

Em um trabalho desenvolvido com a inoculação de FMAs do gênero *Glomus* em mudas de citros, os autores verificaram alto nível de colonização das raízes (Yan et al, 2012). No caso do presente estudo, espécies do gênero *Acaulospora* e *Dentisculata* inoculadas a todos os clones testados e *Scutellospora* inoculadas ao clone PH 16 também apresentaram boas taxas de colonização. De acordo com Cavalcante et al. (2002), a inoculação de diferentes espécies de FMA resulta em respostas diferenciadas por parte do hospedeiro.

Tabela 5. Taxa de colonização micorrízica das mudas de diferentes clones de cacau.

Espécies de FMAs	Clones			
	SJ 02	CEPEC	CCN 51	PH 16
	2002			
<i>Acaulospora mellea</i>	50 b A	41 b A	63 b A	56 c A
<i>Dentisculata heterogama</i>	68 a A	57 b A	60 b A	76 b A
<i>Scutellospora calospora</i>	70 a B	79 a B	71 b B	98 a A
<i>Glomus formosanum</i>	80 a A	84 a A	84 a A	54 c B

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na linha, e minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

As mudas do clone CCN 51 quando inoculadas pelo fungo *Glomus formosanum* apresentaram maiores taxas de colonização micorrízica (84%), diferindo estatisticamente das mudas inoculadas pelas espécies *Acaulospora mellea*, *Dentisculata heterogama* e *Scutellospora calospora*. Silveira et al. (2003) registrou resultados semelhantes avaliando a espécie do gênero *Glomus* em seu estudo com mudas de maracujazeiro. O clone PH 16, apresentou maior taxa de colonização pela espécie *Scutellospora calospora* (98%) seguida pela espécie *Dentisculata heterogama* (76%) que diferiu estatisticamente entre si e das demais espécies. Contudo, mudas inoculadas com as espécies *Acaulospora mellea* e *Glomus formosanum* não diferiram estatisticamente entre si com relação à taxa de colonização micorrízica (Tabela 5).

Referente aos melhores clones dentro de cada espécie de FMAs para taxa de colonização observa-se que as espécies *Acaulospora mellea* e *Dentisculata*

heterogama, não apresenta diferença estatística entre os clones utilizados. Enquanto para *Scutellospora calospora* apenas o clone PH 16 apresentou melhor taxa de colonização das raízes. Já para *Glomus formosanum* todos os clones apresentaram melhores taxas de colonização, exceto o PH 16, onde registrou-se resultado inferior aos demais clones dentro dessa espécie (Tabela 5).

Na absorção do Enxofre (S) as melhores espécies de FMAs foram *Acaulospora mellea* e *Glomus formosanum*, seguidas das espécies *Dentisculata heterogama*, *Scutellospora calospora*, que não diferiram estatisticamente das plantas controle (Tabela 6). Embora na literatura existam poucos estudos sobre a eficiência dos fungos micorrízicos arbusculares na absorção do Enxofre, nota-se que no presente estudo a atuação desses microrganismos foi bastante expressiva. O enxofre é de extrema importância no desenvolvimento da planta, suas funções assemelham-se ao do nitrogênio (Stipp e Casarin, 2010). Assim também como o nitrogênio, este elemento não se encontra disponível no solo para absorção pelas plantas, havendo a necessidade de processos microbiológicos para mineralização e disponibilização deste em forma de sulfato (SO_4^{2-}). No processo de mineralização do enxofre neste estudo, os fungos micorrízicos arbusculares exerceram grande influência.

Tabela 6. Teor de enxofre (g kg^{-1}) nas mudas de cacau de diferentes clones inoculadas pelas espécies de FMAs.

FUNGOS	ENXOFRE (S) (g kg^{-1})
<i>Acaulospora mellea</i>	1,98 a
<i>Dentisculata heterogama</i>	1,72 b
<i>Scutellospora calospora</i>	1,86 b
<i>Glomus formosanum</i>	2,09 a
Controle	1,72 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Foi verificado ainda, a relação entre a taxa de colonização micorrízica (Tx.Col) com o desenvolvimento das mudas de cacau (Alt, Diam, PSPA e PSR) e nutrição das mudas (N, P, K, S, Ca, Mg). De acordo com os resultados

apresentados na matriz de correlação, observa-se variáveis altamente correlacionadas positivamente, o que indica uma correlação linear entre as mesmas (Figura 2).

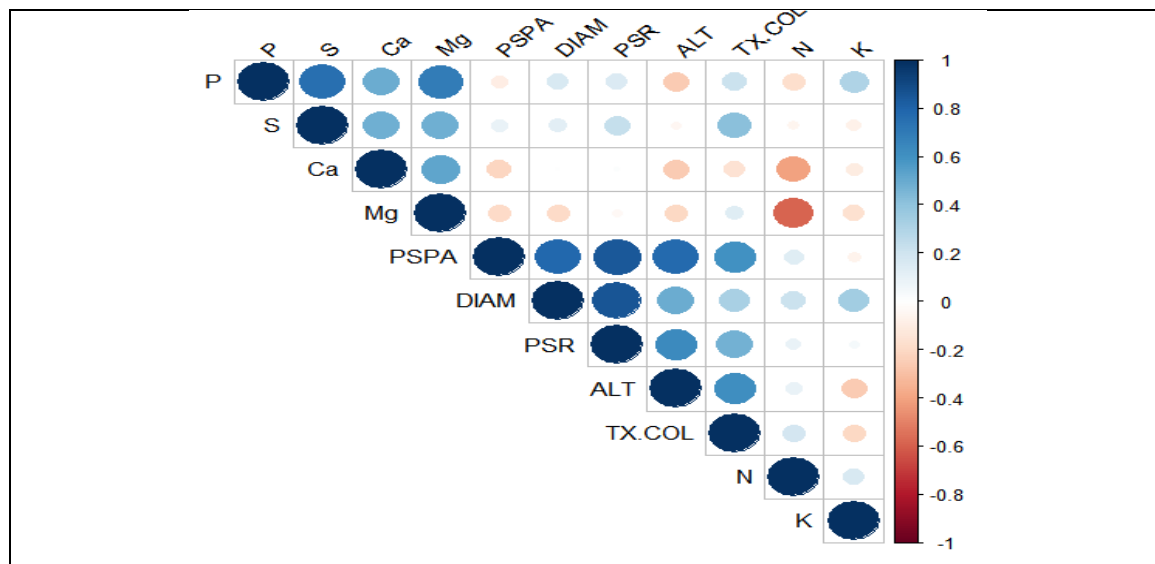


Figura 2. Matriz de correlação entre as variáveis estudadas. A cor azul representa correlação positiva e a cor vermelha correlação negativa. A intensidade da coloração reflete a magnitude do coeficiente de correlação. TX.COL=Taxa de Colonização; ALT=Altura; PSPA=Peso Seco da Parte Aérea; DIAM=Diâmetro do Caule; PSR=Peso Seco da Raiz.

A taxa de colonização das raízes das mudas de cacau apresentou correlações significativas com as variáveis de desenvolvimento das mudas. Conforme os resultados obteve-se correlação positiva significativa entre taxa de colonização (TX.COL) e peso seco da parte aérea (PSPA) ($r=0,61$), peso seco da raiz (PSR) ($r=0,48$) e altura de plantas (ALT) ($r=0,61$) (Figura 2). Silveira et al. (2003) constataram em seu estudo correlação significativa entre taxa de colonização e produção de matéria seca, o que reflete diretamente em maior peso seco da parte aérea das plantas avaliadas. Soares et al. (2012), avaliando fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e nutrição de mudas de jenipapeiro também encontraram correlações significativas entre a taxa de colonização e desenvolvimento das mudas.

As variáveis de desenvolvimento das plantas também apresentaram correlações significativas entre si. Verifica-se correlação positiva entre altura de plantas (ALT) e peso seco da parte aérea (PSPA) ($r=0,78$); altura de plantas (ALT)

e diâmetro do caule (DIAM) ($r=0,50$); altura de planta (ALT) e peso seco da raiz (PSR) ($r=0,63$). O peso seco da raiz (PSR) apresentou uma alta correlação significativa com o peso seco da parte aérea (PSPA) ($r=0,84$). A correlação entre esta variável com o diâmetro do caule (DIAM) também foi positiva e altamente significativa ($r=0,86$). O diâmetro do caule correlacionou-se significativamente apenas com o peso seco da parte aérea (PSPA), apresentando alto coeficiente de correlação ($r=0,79$) (Figura 2).

CONCLUSÃO

- O clone CCN 51 apresentou melhor desempenho na absorção do Cálcio e Magnésio, maior peso seco da raiz e diâmetro do caule.
- Os clones PH 16, CCN 51 apresentaram melhores rendimentos em peso seco da parte aérea, quando inoculado com as espécies de FMAs: *Acaulospora mellea*, *Scutellospora calospora* e *Glomus formosanum*.
- Todos os clones apresentaram boas taxas de colonização das espécies de FMAs utilizadas exceto SJ 02, CEPEC 2002 e CCN 51 dentro da espécie *Scutellospora calospora* e PH 16 dentro da espécie *Glomus formosanum*.
- As espécies *Acaulospora mellea* e *Glomus formosanum* foram mais eficientes na absorção do Enxofre.
- Houve correlação positiva significativa entre o estabelecimento da simbiose e o desenvolvimento das mudas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARMO PINTO, S. I.; NETO, A. E. F.; NEVES, J. C. L.; FAQUIN, V.; SILVA MORETTI, B. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v. 35, p.523-533, 2011.

CAVALCANTE, U. M. T.; MAIA, L. C.; MELO, A. M. M.; SANTOS, V. F. Influência da densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares na produção de mudas de maracujazeiro amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 05, p. 643-649, 2002.

CEPLAC - **A Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira. Lista de clones**. Disponível em <<http://www.ceplac.gov.br/radar/ListaClones.asp>> Acesso em 20 Set. 2019.

COSTA, C. M. C.; MAIA, L. C.; CAVALCANTE, U. M. T.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Influência de fungos micorrízicos arbusculares sobre o crescimento de dois genótipos de aceroleira (*Malpighia emarginata* DC). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 6, p. 893-901, 2001.

HOFFMANN, L. V.; LUCENA, V. S. Para entender Micorrizas Arbusculares. **Embrapa Algodão-Documentos (INFOTECA-E)**, 1ª ed. Campina Grande, PB, 2006.

ISMINIO, P. L. **Potencial hídrico foliar, trocas gasosas e crescimento em genótipos de *Theobroma cacao* I. submetidos à deficiência hídrica e adubação potássica**. Tese de Doutorado. Viçosa. Minas Gerais - MG, 87p., 2016.

MINHONI, M. T. A.; AULER, P. A. M. Efeito do fósforo, fumigação do substrato e fungo micorrízico arbuscular sobre o crescimento de plantas de mamoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 841-847, 2003.

PARAMO, Y. J. P.; FLORES, J. C. M.; CARABALI, A. G.; HERNANDEZ, F. A. Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento. **Acta Agronómica**, v. 63, n. 2, p. 145-152, 2014.

PEREIRA, M. S. F.; HADDAD, L. S. A. M.; BAZZOLLI, D. M. S.; KASUYA, M. C. M. Micorriza arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1663-1679, 2012.

PRALON, A. Z.; MARTINS, M. A. Utilização do resíduo industrial ferkal na produção de mudas de *Mimosa caesalpiniaefolia*, em estéril de extração de argila, inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 55-63, 2001.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. 2019.

SAMARÃO, S. S.; RODRIGUES, L. A.; MARTINS, M. A.; MANHÃES, T. N.; MOTA ALVIM, L. A. Desempenho de mudas de gravioleira inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares em solo não-esterilizado, com diferentes doses de fósforo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n. 1, p. 81-88, 2011.

SILVEIRA, A. P. D.; SILVA, L. R.; AZEVEDO, I. C.; OLIVEIRA, E.; MELETTI, L. M. M. Desempenho de fungos micorrízicos arbusculares na produção de mudas de maracujazeiro-amarelo, em diferentes substratos. **Bragantia**, v. 62, n. 1, p. 89-99, 2003.

SOARES, A. C. F.; SOUSA, C. S.; GARRIDO, M. S.; LIMA, F. S. Fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e nutrição de mudas de jenipapeiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 1, p.47-54, 2012.

SODRÉ, G. A.; VENTURINI, M. T.; RIBEIRO, D. O.; MARROCOS, P. C. L. Extrato da casca do fruto do cacauero como fertilizante potássico no crescimento de mudas de cacauero. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 3, p.881-887, 2012.

SOUSA, C. S.; SOARES, A. C. F.; GARRIDO, M. S. Tomato seedlings grown in organic potting mix inoculated and incubated with streptomycetes. **Bragantia**, v. 68, n. 1, p.195-203, 2009.

STIPP, S. R.; CASARIN, V. A importância do enxofre na agricultura brasileira. **Informações agronômicas**, v. 129, n. 1, p.14-20, 2010.

SUGAI, M. A. A.; COLLIER, L. S.; SAGGIN JÚNIOR, O. J. Inoculação micorrízica no crescimento de mudas de angico em solo de cerrado. **Bragantia**, v. 70, n. 2, p.416-423, 2011.

TRINDADE, A. V.; SIQUEIRA, J. O.; ALMEIDA, F. P. Dependência micorrízica de variedades comerciais de mamoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 12, p.1485-1494, 2001.

WANG, B.; QIU, Y. L. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. **Mycorrhiza**, v.16, p.299-363, 2006.

YAN, L. I. L.; YING-LONG, C. H. E. N.; MIN, L. I.; XIAN-GUI, L. I. N.; RUN-JIN, L. I. U. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi communities on soil quality and the growth of cucumber seedlings in a greenhouse soil of continuously planting cucumber. **Pedosphere**, v. 22, n. 1, p. 79-87, 2012.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos poucos estudos encontrados na literatura sobre ocorrência e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em áreas de cacau cultivado em sistema cabruca, bem como os poucos experimentos realizados com a inoculação de FMAs na produção de mudas de cacau, o presente estudo apresenta grande contribuição para estudos futuros com FMAs associados ao cacau em sistema sombreado e na produção de mudas de cacau micorrizadas. Os resultados desta pesquisa contribuirão ainda para a introdução da tecnologia de inoculação de fungos micorrízicos na produção de mudas de cacau pelos pequenos e médios cacauicultores da região, uma vez que dispõe de poucos recursos para manejo da cultura. Dessa forma, os resultados obtidos nesse estudo são de grande importância na busca por mitigar os grandes entraves enfrentados pela produção cacaueira na Região Sul da Bahia.