

FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES: COMPOSIÇÃO, COMPRIMENTO DE MICÉLIO EXTRARRADICULAR E GLOMALINA EM ÁREAS DE MATA ATLÂNTICA, RIO DE JANEIRO

ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI: COMPOSITION, LENGTH EXTRARADICAL MYCELIUM AND GLOMALIN IN AREAS OF ATLANTIC FOREST, RIO DE JANEIRO

Cristiane Figueira da Silva¹ Marcos Gervasio Pereira² Vera Lúcia dos Santos³ Divino Levi Miguel⁴
Eliane Maria Ribeiro da Silva⁵**RESUMO**

A Mata Atlântica é considerada um ambiente de ampla biodiversidade, no entanto, por estar constantemente sendo submetida a uma intensa pressão antrópica, encontra-se bastante fragmentada e desconectada, circundada por extensas matrizes formadas de pastos, capoeiras, monoculturas e áreas urbanas. A fragmentação, bem como determinados sistemas de uso e manejo do solo, pode ocasionar alterações na composição e atividade de microrganismos do solo, como os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). Dessa forma, o trabalho teve como objetivo avaliar a composição da população dos FMAs em diferentes áreas de Mata Atlântica, determinar a influência do tipo de cobertura vegetal na abundância de esporos de FMAs, no comprimento de micélio extrarradicular (CMET) e nos teores de proteína do solo relacionada à glomalina no solo (PSRG). Os sistemas avaliados foram: agricultura anual (AgAn); agricultura perene (AgP), pasto, floresta secundária estágio inicial (FSEI); floresta secundária estágio médio (FSEM); floresta secundária estágio avançado (FSEA). Coletaram-se amostras de terra na profundidade de 0–5 cm, em duas épocas distintas (verão e inverno). Um total de 27 morfotipos de esporos de FMAs foi coletado, sendo que a espécie *Glomus macrocarpum* Tulasne & Tulasne foi presente em todas as áreas estudadas, em ambas as épocas de coleta e na maioria das vezes com uma elevada frequência de ocorrência. A abundância de esporos de FMAs foi influenciada pelo tipo de cobertura vegetal. Uma baixa esporulação dos FMAs foi observada na área de AgAn em ambas as coletas. As áreas agrícolas modificaram a composição das espécies de FMAs em relação aos sistemas florestais. Os teores de PSRG - facilmente extraível (PSRG-FE) reduziram-se quando da passagem de FSEM para agricultura.

Palavras-chave: fragmentação; atividade agrícola; glicoproteína; micélio extrarradicular.

ABSTRACT

The Atlantic Forest is considered an environment of great biodiversity. However, by constantly being subjected to intense human pressure, is very fragmented and disconnected, surrounded by extensive matrices formed by pastures, *capoeiras*, monocultures and urban areas. Fragmentation, as well as certain uses and soil management can cause changes in the composition and activity of soil microorganisms, such as mycorrhizal

1 Engenheira Florestal, Dr^a., Pós-Doutoranda do curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, BR 465, km 7, CEP 23890-000, Seropédica (RJ), Brasil. cfigueirasilva@yahoo.com.br

2 Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Adjunto do Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, BR 465, km 7, CEP 23890-000, Seropédica (RJ), Brasil. gervasio@ufrjr.br

3 Engenheira Agrônoma, Dra., Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, BR 465 km 7, CEP 23890-000, Seropédica (RJ), Brasil. veralussan@yahoo.com.br

4 Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Assistente do Departamento de Engenharia Agrícola e Solos, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Estrada do Bem Querer, km 4, CEP 45031-900, Vitória da Conquista (BA), Brasil. divino.miguel@uesb.edu.br

5 Engenheira Florestal, Dr^a., Pesquisadora da Embrapa Agrobiologia, BR 465, km 7, CEP 23890-000, Seropédica (RJ), Brasil. eliane.silva@embrapa.br

fungi (AMF). Fragmentation, as well as certain uses and soil management may entail a reduction of edaphic microflora. Thus, the study aimed to evaluate the composition of the population of mycorrhizal fungi (MF) in different areas, to determine the influence of vegetation on the abundance of AMF spores in the length of extraradical mycelium (LEM) and levels of Glomalin-related soil protein (GRSP) the ground. The systems were evaluated: annual crops (Anag); perennial agriculture (PAG), pasture, secondary forest early stage (SFES), secondary forest medium stage (SFME); advanced stage secondary forest (ASSF). Soil samples were collected at a depth of 0-5 cm, in two different seasons (summer and winter), and analyzed the abundance of spores and species composition of AMF, the LEM, and the presence of GRSP. It was recovered a total of 27 morphotypes of spores of AMF, and AMF species was that which was present in all areas studied in both seasons and in most cases with a high frequency of occurrence. The abundance of AMF spores was influenced by the type of vegetation. A low AMF sporulation was observed in the area of Anag both stations. The agricultural areas have changed the species composition of AMF in relation to forest systems. The concentration of GRSP - easily extractable (GRSP-EE) fell in the SFME for agriculture. **Keywords:** fragmentation; agricultural activity; glycoprotein; extraradical mycelium.

INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica é considerada um ambiente de vasta biodiversidade, mas submetida a uma intensa pressão antrópica desde a colonização do Brasil. Atualmente, cerca de 7% da área original do bioma (FARIA, 2012), encontra-se bastante fragmentada e desconectada, representada em sua quase totalidade por pequenas manchas florestais dispersas, circundadas por extensas matrizes formadas de pastos, capoeiras, monoculturas e áreas urbanas (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2002).

As diferentes formas de uso do solo sejam com a manutenção da floresta nativa secundária, com culturas anuais e perenes, com pastagens ou com reflorestamentos, podem mudar os atributos edáficos (físicos, químicos e/ou biológicos), o que pode ocasionar degradação e perda de qualidade, promovendo prejuízos para a sua sustentabilidade (SOUZA et al., 2005). Dentre as propriedades biológicas do solo, os fungos micorrízicos arbusculares têm papel essencial para a manutenção da biodiversidade e qualidade de um solo (PATREZE; TSAI, 2009).

Os FMAs, além de favorecerem a absorção de nutrientes, aumentam a resistência das plantas a estresse hídrico, exercem controle sobre patógenos e influenciam a agregação do solo (BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006; WRIGHT et al., 2007; PENG; GUO; LIU, 2013). O papel dos FMAs na agregação do solo se dá através de diferentes mecanismos, sendo um dos principais a produção de uma glicoproteína denominada de glomalina. Esta

proteína, além de contribuir para estabilidade dos agregados, tem sido apontada como um importante meio de armazenamento do carbono e nitrogênio no solo (WRIGHT et al., 2007; FOKOM et al., 2012). Correlações positivas entre a glomalina e o carbono, o nitrogênio e a agregação do solo têm sido encontradas em diversos trabalhos (WRIGHT et al., 2007; WILSON et al., 2009; CURAQUEO et al., 2011; WU et al., 2011; FOKOM et al., 2012; DAI et al., 2013).

No que se refere à atividade dos FMAs nos solos, estudos relatam que, durante o ano, a mesma encontra-se sujeita a variações dependendo das condições de temperatura, umidade, matéria orgânica do solo, fósforo, nitrogênio, pH e aeração do solo (HENTZ et al., 2006). Além disso, existem relatos de que o manejo do solo ou as práticas agrícolas podem alterar a população e a diversidade de FMAs (PURIN; KLAUBERG; STURMER, 2006; LEE; EOM, 2009; ANGELINI et al., 2012). Já é de conhecimento que os cultivos podem selecionar espécies de FMAs, modificar a composição de sua população nativa (SILVA et al., 2006; SILVA et al., 2008) e influenciar a dinâmica das estruturas (esporos e micélio extrarradicular) desses organismos no solo. Contudo, os efeitos de sistemas agrícolas sobre a composição dos FMAs ainda não estão muito bem esclarecidos (SILVA et al., 2008; LOSS et al., 2009; ANGELINI et al., 2012).

Avaliando a diversidade e estrutura da comunidade de FMAs em solos temperados, Jansa et al. (2002), observaram que, com o cultivo agrícola, houve redução da comunidade de FMAs tendo em vista que, das 17 espécies e 5 gêneros

encontrados antes do cultivo, somente 12 espécies e 2 gêneros foram detectados após o mesmo. Independentemente do tipo de cultura estabelecida em Latossolos do estado de Minas Gerais, Nóbrega et al. (2001) verificaram que maior comprimento de micélio extrarradicular (CMET) ocorre em solo não cultivado (floresta nativa), o que contribui para ocorrência de agregados mais estáveis nesse solo. Zatorre (2009) observou que o tipo de cobertura vegetal influencia a quantidade de glomalina no solo, encontrando maiores teores desta glicoproteína em solos sob capoeira, quando comparado a solos sob pastagem.

O conhecimento da composição e dinâmica dos organismos do solo é importante para o desenvolvimento de sistemas de manejo mais eficientes (MIRANDA et al., 2010). Assim, o trabalho teve como objetivo avaliar a composição da população dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), determinar a influência do tipo de cobertura vegetal na abundância de esporos de FMAs, avaliar o comprimento de micélio extrarradicular (CMET) e os teores de glomalina no solo de diferentes áreas da Mata Atlântica.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área de estudo

O trabalho foi realizado no município de Pinheiral, região do Médio Paraíba Fluminense, na sub-bacia do Ribeirão Cachimbal. A área está localizada entre as latitudes 22°33'S e 22°38'S e entre as longitudes 43°57'W e 44°05'W. O clima da região, de acordo com Köppen (1938), foi identificado como Am – clima tropical chuvoso, de monção, com inverno seco, sendo as médias de temperatura e precipitação no período de novembro de 2009 a junho de 2010, de 22,14°C e 57,50 mm, respectivamente. Para o estudo foram selecionadas seis áreas: floresta secundária em estágio inicial (FSEI), floresta secundária em estágio médio (FSEM), floresta secundária em estágio avançado (FSEA), pasto, agricultura perene (AgP) e agricultura anual (AgAn) (Tabela 1). Todas as áreas estão localizadas na posição de terço superior de encosta, sendo os solos das mesmas classificados como Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico (MENEZES, 2008).

TABELA 1: Descrição dos sistemas de uso do solo na região do Médio Vale Paraíba do Sul, Rio de Janeiro.
TABLE 1: Description of land use in the Middle Valley of South Paraíba, Rio de Janeiro.

Sigla	Descrição da área ⁽¹⁾
FSEI	Floresta secundária estágio inicial: cobertura florestal pouco densa, característica de estágio inicial de sucessão (CONAMA, 1994), originada por utilização da área até 1985 como pastagem espontânea, manejada por roçadas anuais e queimadas ocasionais, quando foi ocupada por pequenos agricultores, que a cercaram, permitindo assim a regeneração florestal.
FSEM	Floresta secundária estágio médio: em área contígua e de mesma cota que a FSEI e que, até 1985, encontrava-se sob cobertura de pasto espontâneo com formação inicial de capoeira, sendo mantida protegida até os dias atuais, o que permitiu o desenvolvimento sucessional típico do estágio médio.
FSEA	Floresta secundária estágio avançado: cobertura florestal densa e mais bem estruturada do que as anteriores, o que permite enquadrá-la neste estágio sucessional (CONAMA, 1994) – provavelmente, a sucessão teve início após a decadência da cafeicultura na região e constitui o fragmento mais antigo da porção inferior da sub-bacia.
Pasto	Explorada com pastagem espontânea desde a década de 1950, foi formada na década de 1990 com <i>Brachiaria decumbens</i> e, a partir daí, mantida por meio de roçadas anuais e com a prática de queimada restringida – com o decorrer dos anos ressurgiu nessa paisagem a gramínea conhecida como grama-batatais (<i>Paspalum notatum</i>), que passou a coexistir com a braquiária introduzida.
AgP	Agricultura perene: até a década de 1990 esta área foi utilizada como pastagem. Após esse período, seu uso se voltou às atividades agrícolas com a finalidade de subsistência (milho e feijão), atualmente encontra-se com cultivo de citros. O sistema de preparo é o convencional (sem adubação e sem calagem), com capinas manuais periódicas.
AgAn	Agricultura anual: utilizada para agricultura de subsistência (milho, feijão, mandioca) há aproximadamente 20 anos. O sistema de preparo é o convencional (sem adubação e sem calagem), com capinas manuais periódicas.

Em que: ⁽¹⁾ Adaptado de Menezes (2008).

Amostragem

Em cada uma das unidades de estudo foi delimitada uma parcela de 20 x 20 metros, na qual foram coletadas amostras de terra, em dezembro (verão) de 2009 e junho (inverno) de 2010. Para as análises de abundância e diversidade de esporos de FMAs, comprimento de micélio extrarradicular e glomalina no solo. Em cada uma das áreas, foram coletadas três amostras compostas na profundidade de 0-5 cm, cada amostra composta foi formada a partir de cinco amostras simples. Após a coleta, as amostras foram previamente secas à sombra, acondicionadas em sacolas plásticas e armazenadas a 10°C.

Extração dos esporos e identificação das espécies de FMAs

A caracterização dos FMAs foi realizada em duas épocas (verão e inverno). O processo de identificação dos FMAs constou de duas etapas: identificação direta e indireta. Na identificação direta, foi realizada a extração de esporos pelo método de peneiramento úmido (GERDEMANN; NICHOLSON, 1963) e centrifugação em água e sacarose. O procedimento de extração de esporos de FMAs do solo foi feito a partir de uma amostra de terra, composta de cinco subamostras coletadas na profundidade de 0-5 cm. Dessa amostra composta, foi retirada uma amostra de 50 g, na qual foi realizada a contagem dos esporos. Em seguida, os esporos foram preparados em lâminas com as soluções fixadoras Melzer e álcool polivinil em lactoglicerol (PVLG) e identificados segundo suas características morfológicas (SCHENCK; PEREZ, 1987; INVAM, 2001).

Para identificação indireta dos FMAs, foram instalados dois experimentos (cultivo armadilha com *Brachiaria decumbens* Stapf) em casa de vegetação com o objetivo de recuperação das espécies de fungos, que no momento das coletas realizadas no período chuvoso (verão) e seco (inverno), não estavam esporulando. Foram utilizados vasos de 700 mL de capacidade, sendo que os vasos receberam em seu fundo, uma camada de areia autoclavada, e sob essa camada, foram adicionados 50 g da camada superficial (0-5 cm) de cada uma das áreas, no qual foi colocada novamente outra camada de areia autoclavada. O uso de areia autoclavada teve como objetivo isolar o solo de possíveis contaminações externas. Posteriormente, os vasos foram semeados

com *B. decumbens*, utilizando-se uma alta densidade de semeadura, tendo como objetivo um maior desenvolvimento do sistema radicular. Após quatro meses, foi realizada a coleta de uma amostra de 50 g de terra para a extração de esporos de FMAs, seguindo-se o método de Gerdemann e Nicolson (1963). Os esporos foram identificados segundo suas características morfológicas (SCHENCK; PÉREZ, 1987; INVAM, 2001).

Comprimento de micélio extrarradicular

A quantificação do comprimento de micélio extrarradicular total no solo (CMET) foi feita por peneiramento úmido e filtração em membranas de celulose quadriculadas, segundo metodologia proposta por Melloni (1996) com algumas modificações. Foram homogeneizados em liquidificador 5 g de solo e 100 mL de sacarose (45%). Posteriormente, o conteúdo foi centrifugado a 2000 r.p.m. durante dois minutos, sendo o sobrenadante passado em peneiras de 300 µm e 38 µm sobrepostas. O material retido na peneira de 38 µm foi transferido para tubos tipo Falcon de 15 mL. Para coloração, o conteúdo dos tubos de 15 mL foi agitado rapidamente (10 segundos) em agitador tipo Vortex e, em seguida passado por membrana de triacetato de celulose (47 mm de diâmetro e 0,45 µm de porosidade) quadriculada (linhas horizontais e verticais distanciadas de 3 mm) montada em conjunto kitassato® e bomba de vácuo. As membranas foram secas à temperatura ambiente e colocadas sobre papel de filtro embebido em azul de metila (0,05 %).

A observação das hifas na membrana foi feita em um microscópio ótico, utilizando uma lente objetiva (A-Plan; 10x/0,25; 160/-) e uma ocular reticulada de área total de 100 mm² (10 linhas horizontais e 10 verticais distanciadas) formada por quadrículas de 1 mm², de forma a possibilitar o registro das interseções das hifas com as linhas horizontais do reticulado da ocular quando esta fosse disposta a cada campo (3 x 3 mm) da membrana, sendo previamente assumido que seriam observados 25 campos alternados.

O número de interseções de hifas foi utilizado na equação de Newman (1966): $R = (3,14 * A * n) / 2 * H$. Em que: R = comprimento do micélio externo presente na alíquota utilizada (cm); A = área em que as hifas foram efetivamente depositadas sobre a membrana (cm²); n = número de interseções de hifas nas linhas horizontais da membrana;

H= comprimento total das linhas horizontais da membrana, na área considerada.

Proteína do solo relacionada à glomalina

A glomalina nas amostras de terra foi quantificada como proteína do solo relacionada à glomalina (PSRG). Duas frações de PSRG (glomalina facilmente extraível – GFE; glomalina total - GT) foram distinguidas em função das condições de extração (RILLIG, 2004; WRIGHT; UPDAHYAYA, 1998). A proteína do solo relacionada à glomalina - facilmente extraível (PSRG-FE) foi obtida a partir da extração em autoclave, utilizando-se um grama de amostra de terra e 8 mL de solução citrato de sódio 20 mM, pH 7,4, a uma temperatura de 121°C por 30 min. A quantidade de proteína do solo relacionada à glomalina – total (PSRG – T) foi obtida utilizando-se um grama de amostra de terra e 8 ml de citrato de sódio 50 mM, com pH 8,0 a 121°C, por 60 min. Para extração desta fração, foram necessários mais de um ciclo de autoclavagem (3 a 13 ciclos dependendo da amostra), até que a amostra atingisse a cor amarelo-clara. Em ambas as frações, posteriormente à autoclavagem, foram realizadas centrifugações a 5000 g por 20 min, em que o sobrenadante foi removido para posterior quantificação da proteína. A quantificação da glomalina foi realizada pelo método Bradford (1976) modificada por Wright et al. (1996), disponível no *site* www.usda.gov, usando como padrão albumina de soro bovino. As concentrações da glomalina, para ambas as frações, foram corrigidas para mg g⁻¹ de solo, considerando-se o volume total de sobrenadante e o peso de solo seco.

Análise dos dados

Os dados foram avaliados quanto à homocedasticidade, pelo teste de Cochran (SNEDECOR; COCHRAN, 1989) e quanto à distribuição normal dos resíduos pelo teste de Lilliefors (CAMPOS, 1979). Posteriormente, foram submetidos à análise de variância e ao teste t de Bonferroni ($\alpha = 0,05$) através do programa SISVAR para o Windows (FERREIRA, 2000). As análises de agrupamentos foram realizadas utilizando o programa NTSYS-pc 2.1 (ROLF, 1992). As relações entre os atributos edáficos foram determinadas por análise de correlação de Pearson.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Composição de espécies e abundância de esporos de FMAs

Um total de 27 morfotipos de esporos de FMAs (nas diferentes áreas, nas duas estações, através da identificação direta e indireta) pertencentes a seis gêneros e quatro famílias (Glomaceae, Acaulosporaceae, Gigasporaceae e Archaeosporaceae), foi quantificado nas áreas em estudo (Tabelas 2 e 3). Entre as famílias de FMAs encontradas, maior número de espécies pertence à família Glomaceae (*Glomus macrocarpum*, *Glomus clavisporum*, *Glomus clarum*, *Glomus tortuosum*, *Glomus verruculosum*, *Glomus etunicatum*, *Glomus* sp. 1, *Glomus* sp. 2, *Glomus lamellosum*, *Glomus glomerulatum*), e o menor a família Gigasporaceae (*Gigaspora* sp.) (Tabelas 2 e 3).

A ocorrência das espécies de FMAs está relacionada às espécies de plantas presentes em determinado ambiente, às características do solo e à época de amostragem (CAPRONI et al., 2005). Na literatura existem relatos de que o pH é um fator que influencia de forma significativa à distribuição das espécies de FMAs (BENEDETTI et al., 2005; SILVA et al., 2007). De acordo alguns autores, os gêneros *Gigaspora*, *Scutellospora* e *Acaulospora* têm “preferência” por solos com pH de 4,0 a 6,0 (SILVEIRA, 1998; SILVA et al., 2008), enquanto espécies de *Glomus* apresentam maior taxa de germinação, colonização radicular e ocorrência natural em condições de pH próximos do neutro ou alcalino (6,0 a 8,0) (SILVEIRA, 1998). Silva et al. (2007), por outro lado, sugerem que espécies do gênero *Acaulospora* podem tolerar ampla faixa de pH. No presente estudo, espécies de *Glomus* e *Acaulospora* foram identificadas em solos com pH variando de 4,08 a 5,89.

Além do pH, a variação nos teores de matéria orgânica tem sido mencionada como potencial na seleção de espécies de FMAs. Existem evidências da diminuição da ocorrência de *Acaulospora scrobiculata* em solos com teores de matéria orgânica (MOS) elevados. Enquanto a *Acaulospora spinosa* e *Entrophospora colombiana* são mais favorecidas pelo aumento nos teores de MOS (BENEDETTI et al., 2005). No estudo atual, *Acaulospora spinosa* foi observada apenas em áreas de pasto (Tabela 3), cujo teor de MOS esteve em torno de 40 mg g⁻¹ de solo, enquanto *Entrophospora colombiana* foi encontrada nas áreas de FSEM,

TABELA 2: Frequência de ocorrência (%) de espécies de FMAs presentes em amostras de solo de áreas de floresta secundária em três estádios sucessionais (floresta secundária estágio avançado – FSEA; floresta secundária estágio médio – FSEM; floresta secundária estágio inicial – FSEI) no verão e no inverno. ID – identificação direta; II – identificação indireta; V – verão; I – inverno.

TABLE 2: Frequency of occurrence (%) of AMF species present in soil samples from areas of secondary forest in three successive stages (secondary forest early stage – FSEA; secondary forest medium stage - FSEM; advanced stage secondary forest – FSEI) in the summer and winter. DI - direct identification; II - indirect identification; S - summer, W – winter.

Espécies de FMAs	FSEA				FSEM				FSEI			
	V		I		V		I		V		I	
	ID	II	ID	II	ID	II	ID	II	ID	II	ID	II
<i>Glomus macrocarpum</i> Tulasne & Tulasne	100	67	100	100	100	100	67	100	100	100	100	100
<i>Glomus clavisorum</i> (Trappe) Almeida & Schenck	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Glomus clarum</i> Nicol. & Schenck	-	-	-	-	-	33	-	-	-	-	-	-
<i>Glomus tortuosum</i> Schenck & Smith	33	-	33	-	33	-	-	-	-	-	-	-
<i>Glomus verruculosum</i> Blaszk	-	-	-	-	100	33	33	-	-	-	33	-
<i>Glomus etunicatum</i> Becker & Gerd.	-	-	-	-	-	-	-	33	-	-	-	100
<i>Glomus</i> sp. 1	-	-	-	-	-	33	-	-	-	-	33	-
<i>Gigaspora</i> sp.	33	33	-	-	-	-	-	-	-	67	-	-
<i>Scutellospora heterogama</i> (Nicolson & Gerdermann) Walker & Sanders	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scutellospora fulgida</i> Koske & C. Walker	-	-	-	33	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Acaulospora foveata</i> Trappe & Janos	100	67	67	-	33	-	-	-	100	33	33	-
<i>Acaulospora scrobiculata</i> Trappe	33	67	-	33	33	33	-	33	67	67	-	33
<i>Acaulospora tuberculata</i> Janos & Trappe	-	-	-	-	33	33	33	-	-	-	-	-
<i>Acaulospora mellea</i> Spain & Schenck	-	-	100	67	100	67	100	100	-	33	100	67
<i>Entrophospora colombiana</i> Spain & Schenck	-	-	-	-	-	100	-	-	-	100	-	-
<i>Archaeospora leptoticha</i> (Schenck & Smith) Morton & Redecker	100	-	-	33	-	-	-	-	-	33	33	33
<i>Archaeospora trappei</i> (Ames & Linderman) Morton & Redecker	-	-	-	-	33	-	-	-	100	-	-	-
Riqueza total de espécies	8	4	4	5	8	8	4	4	4	7	6	5

FSEI e pasto (Tabelas 2 e 3) onde os teores de MOS foram, respectivamente, 37, 35 e 40 mg g⁻¹ de solo.

Do total de espécies encontradas neste estudo, verificou-se através da identificação direta (ID) dos esporos, que 19 espécies estavam esporulando no verão e 16 espécies no inverno, sendo 10 espécies comuns em ambas as épocas (Tabelas 2 e 3). Esporos de *Glomus clarum*, *Glomus* sp. 1, *Entrophospora* sp., *Entrophospora scutata* e *Scutellospora* sp. foram observados somente na época seca, enquanto os de *Glomus lamellosum*, *Glomus etunicatum*, *Glomus glomerulatum*, *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora spinosa*, *Archaeospora leptoticha* e *Scutellospora pellucida*

foram encontrados apenas durante a época das chuvas (Tabelas 2 e 3). Silva et al. (2006), em áreas agrícolas e florestais, encontraram um total de 30 espécies, sendo 21 observadas na época seca (inverno) e 19 na época chuvosa (verão), com 10 espécies comuns em ambas as épocas.

Algumas das espécies encontradas neste estudo (*Glomus macrocarpum*, *Acaulospora laevis*, *Glomus tortuosum*, *Acaulospora spinosa*, *Acaulospora scrobiculata*, *Glomus etunicatum*, *Archaeospora leptoticha*, *Acaulospora mellea*, *Acaulospora tuberculata*, *Acaulospora foveata*, *Acaulospora laevis*, *Glomus glomerulatum*) (Tabelas 2 e 3) já foram observadas em áreas

TABELA 3: Frequência de ocorrência (%) de espécies de FMAs presentes em amostras de solo de áreas de pastagem e agricultura anual (AgAn) e perene (AgP), no verão e no inverno. ID – identificação direta; II – identificação indireta; V – verão; I – inverno.

TABLE 3: Frequency of occurrence (%) of AMF species present in soil samples from areas pasture and perennial (AgP) and Annual (AgAn) crops ges in the summer and winter. DI - direct identification; II - indirect identification; S - summer, W – winter.

Espécies de FMAs	Pasto				AgP				AgAn			
	V		I		V		I		V		I	
	ID	II	ID	II	ID	II	ID	II	ID	II	ID	II
<i>Glomus macrocarpum</i> Tulasne & Tulasne	100	100	100	100	100	100	100	100	100	33	100	100
<i>Glomus clarum</i> Nicol. & Schenck	-	-	-	-	-	-	33	-	-	-	-	-
<i>Glomus tortuosum</i> Schenck & Smith	-	-	-	-	33	-	-	-	-	-	-	-
<i>Glomus verruculosum</i> Blaszk	-	-	67	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Glomus lamellosum</i> Dalpe, Koske & Tews	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Glomus etunicatum</i> Becker & Gerd.	-	-	-	-	33	-	-	67	33	-	-	67
<i>Glomus glomerulatum</i> Sieverding	-	-	-	-	33	-	-	-	-	-	-	-
<i>Glomus sp. 1</i>	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-
<i>Glomus sp. 2</i>	-	-	-	-	-	67	-	-	-	-	-	-
<i>Gigaspora sp.</i>	67	-	33	-	-	-	-	33	-	67	-	-
<i>Scutellospora scutata</i> Walker & Diederichs	-	-	-	-	-	-	33	-	-	-	100	-
<i>Scutellospora heterogama</i> (Nicolson & Gerdermann) Walker & Sanders	-	-	-	-	33	-	-	33	100	-	-	33
<i>Scutellospora fulgida</i> Koske & C. Walker	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33	-
<i>Scutellospora pellucida</i> (Nicolson & Schenck) Walker & Sanders	-	-	-	-	-	-	-	-	33	-	-	-
<i>Scutellospora sp.</i>	-	-	-	-	-	67	-	-	-	100	100	-
<i>Acaulospora foveata</i> Trappe & Janos	100	33	67	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Acaulospora scrobiculata</i> Trappe	-	67	-	67	67	33	-	33	67	33	-	-
<i>Acaulospora mellea</i> Spain & Schenck	-	100	67	100	33	100	100	100	67	100	33	100
<i>Acaulospora spinosa</i> Walker & Trappe	-	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Acaulospora laevis</i> Gerdermann & Trappe	33	33	67	-	100	100	67	-	33	-	33	-
<i>Acaulospora sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	67	-	-
<i>Entrophospora colombiana</i> Spain & Schenck	-	67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Entrophospora infrequens</i> (Hall) Ames & Schneider	100	33	33	-	67	-	-	-	-	-	-	-
<i>Entrophospora sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33	-
<i>Archaeospora leptoticha</i> (Schenck & Smith) Morton & Redecker	33	-	67	33	33	-	-	100	33	-	33	33
<i>Archaeospora trapei</i> (Ames & Linderman) Morton & Redecker	67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Riqueza total de espécies	8	8	8	4	10	7	5	7	8	6	8	4

florestais e/ou agrícolas (BENEDETTI et al., 2005; SILVA et al., 2006). Fochi et al. (2004) encontraram *Glomus macrocarpum*, *Scutellospora heterogama* e *Acaulospora scrobiculata* em amostras de terra coletadas em viveiros e pomares de citros. Espécies também encontradas neste trabalho na área de citros

(agricultura perene) (Tabela 3). A espécie *Glomus macrocarpum* aparece em todos os sistemas e em ambas as épocas, tanto pela ID, quanto pela II (verão e inverno). Além disso, apresentaram-se na maioria das vezes com frequência de ocorrência elevada (100%) (Tabelas 2 e 3). A espécie

Acaulospora mellea apresentou padrão similar, no entanto, sua frequência de ocorrência variou desde níveis elevados (100%) a níveis mais baixos de ocorrência (33%). Em contrapartida, espécies como *Glomus clavisorum*, *Glomus lamellosum*, *Glomus glomerulatum*, *Acaulospora spinosa*, *Entrophospora* sp. e *Scutellospora pellucida* tiveram ocorrência pontual e com baixa frequência de ocorrência (Tabelas 2 e 3). Na identificação direta (ID) dos esporos presentes nas amostras de terra coletadas no verão, foram encontradas oito, oito e quatro espécies de FMAs na área de FSEA, FSEM e FSEI, respectivamente, enquanto na pastagem e nos sistemas agrícolas (perene e anual) foram observadas oito, dez e oito espécies, respectivamente (Tabelas 2 e 3).

Pela identificação indireta (II), pode-se observar a ocorrência de espécies nos diferentes sistemas avaliados, que não foram detectadas pela ID (Tabelas 2 e 3), possivelmente, por não estarem esporulando no momento da coleta e estarem presentes no solo na forma de hifas ou colonizando fragmentos de raízes.

No verão, na FSEM, as espécies *Glomus clarum*, *Glomus* sp. 1 e *Entrophospora colombiana* foram resgatadas pela II e não foram detectadas pela ID. Já no inverno foram resgatados, nesta área, *Glomus etunicatum* e *Acaulospora scrobiculata*. Na FSEI, as espécies recuperadas, no verão, pela II foram *Gigaspora* sp., *Acaulospora mellea*, *Archaeospora leptoticha* e *Entrophospora colombiana* e, no inverno, *Glomus etunicatum* e *Acaulospora scrobiculata*. No pasto, as espécies *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora mellea*, *Acaulospora spinosa*, *Entrophospora colombiana* foram resgatadas pela II no verão e somente a espécie *Acaulospora scrobiculata* no inverno. Nas áreas agrícolas, no verão, três espécies foram recuperadas em cada uma das áreas (AgP – *Glomus* sp. 1, *Glomus* sp. 2 e *Scutellospora* sp.; AgAn – *Gigaspora* sp., *Acaulospora* sp. e *Scutellospora* sp.), enquanto, no inverno, foram resgatadas quatro espécies na AgP (*Glomus etunicatum*; *Gigaspora* sp.; *Scutellospora heterogama*; *Archaeospora leptoticha*) e duas espécies na AgAn (*Glomus etunicatum* e *Scutellospora heterogama*). Na FSEA, no verão, não foram recuperadas espécies pela II que já não haviam sido detectadas pela ID (Tabelas 2 e 3), ao contrário do inverno, em que houve a recuperação das espécies *Scutellospora fulgida* e *Archaeospora leptoticha*. A ocorrência de outras espécies de FMAs na identificação indireta em

relação à identificação direta indica que o uso do cultivo armadilha com a *Brachiaria brizantha* foi eficiente em recuperar estes fungos do solo.

É importante ressaltar que a II resgatou maior número de espécies, presente no solo coletado no verão, em relação aquele coletado no inverno, na maioria das áreas (Tabela 2). Tal padrão evidencia que no verão, maior número de espécies de FMAs encontrava-se no solo na forma de hifas ou colonizando fragmentos de raízes, quando comparadas ao inverno.

No inverno, nas florestas secundárias em estádios avançado e médio e na AgP, observou-se, através de ID, uma queda de 50% no número de espécies esporulando, em relação ao verão. Nas demais áreas, a riqueza total se manteve ou foi mais elevada, como no caso da FSEI (Tabela 2). De acordo com Caproni et al. (2007), é comum observar que a esporulação de algumas espécies de FMAs é sensível às situações de estresse hídrico. Estes autores discutem ainda, que as variações climáticas, caracterizadas pelo excesso de chuvas ou pela falta delas, podem influenciar a infectividade, o comprimento da raiz colonizada e o número de esporos (SIEVERDING, 1991).

De acordo com trabalhos científicos, as alterações que ocorrem no solo, desde cultivos até processos de degradação erosiva, podem modificar a predominância de uma espécie fúngica na formação da associação micorrízica (HENTZ et al., 2006). Além disso, quanto maior a intensidade de modificação imposta ao solo, menor a diversidade dos FMAs (SILVEIRA, 1998). Neste estudo pode-se observar que a riqueza total (RT) das espécies de FMAs não modificou com muita intensidade quando da passagem de florestas para pasto ou cultivos agrícolas. Encontrou-se no verão, uma RT (incluindo ID e II) da ordem de oito, onze e oito para as áreas de FSEA, FSEM e FSEI, respectivamente. Enquanto, para a pastagem, AgP e AgAn a RT foi de 12, 13 e 11, respectivamente (Tabelas 2 e 3). No inverno, observou-se para a FSEA, FSEM e FSEI, RT de sete, seis e oito, respectivamente. Já, nas áreas de pastagem e agrícolas (perene e anual), foram encontradas nove, dez e dez espécies, respectivamente (Tabelas 2 e 3). Ou seja, em ambas as épocas, a diversidade de espécies de FMAs foi em sentido contrário à diversidade de espécies vegetais. Já é de conhecimento que a comunidade de plantas pode alterar a composição de FMAs de determinado local. No entanto, a diversidade de FMAs, não segue a de plantas, de maneira que, pode

ocorrer uma abundância de espécies de FMAs na presença de poucas espécies vegetais ou vice-versa (SANDERS; FITTER, 1992; ALLEN et al., 1995; HENTZ et al., 2006).

Através da análise das Figuras 1A e 1B verifica-se o grau de semelhança entre os sistemas estudados, no que diz respeito à ocorrência de espécies de FMAs, no verão e no inverno, respectivamente. No verão, pode-se observar a formação de três grupos. O primeiro grupo integrou os sistemas agrícolas (perene e anual) com 78% de similaridade entre si, enquanto o segundo grupo foi constituído das áreas de FSEA e pasto (62% de similaridade), e o terceiro pelas áreas de FSEM e FSEI (73% de similaridade). No inverno, houve a formação de dois grupos, sendo o primeiro formado pelos sistemas florestais e o pasto, com 71% de similaridade, e o segundo pelos sistemas agrícolas (71% de similaridade).

Em ambas as estações, observou-se menor grau de semelhança entre os sistemas agrícolas e os de pastagem e florestais, o qual ficou em torno de 50% de similaridade. De acordo com Ferreira, Carneiro e Saggin Junior (2012), a comunidade de FMAs está intimamente relacionada ao solo (manejo e fertilidade) e à planta hospedeira (diversidade e fisiologia do crescimento), sendo tal comunidade um reflexo da qualidade dos ecossistemas e de grande importância para sua resiliência. Assim, a mudança na composição dos FMAs, quando da passagem de sistemas florestais para sistemas

agrícolas, pode estar relacionada, principalmente, às espécies vegetais cultivadas nos sistemas agrícolas, bem como ao tipo de manejo (capinas periódicas) adotado. As perturbações do solo, provenientes desse tipo de manejo (convencional), podem selecionar grupos específicos de FMAs, os quais, possivelmente, são mais tolerantes a determinados estresses, promovidos pelo revolvimento do solo, fato que depende das estratégias de vida e colonização (raízes) das espécies fúngicas. Lee e Eom (2009) observaram que práticas agrícolas, as quais promovem o revolvimento do solo, modificam a composição da comunidade de esporos dos FMAs, em relação àquelas que causam menos perturbação ao solo.

A abundância de esporos de FMAs nas seis áreas estudadas, no verão, mostrou uma variação de 336 a 1635 esporos por 50 cm³ de solo, sendo a menor média encontrada na área de agricultura anual (AgAn) e a maior na área de pasto. No inverno, a amplitude de variação foi menor, sendo observada a menor média (136 esporos/50 cm³ solo) na AgAn e a maior (732 esporos/50 cm³ solo) na área de FSEM (Tabela 4).

O padrão de esporulação dos FMAs observado entre as áreas variou de acordo com as estações. O pasto foi a área que apresentou a maior abundância de esporos tanto em relação aos sistemas florestais quanto em relação aos sistemas agrícolas, no verão. Por outro lado, no inverno, não diferiu das áreas de FSEM, FSEI e AgP (Tabela 4). Avaliando

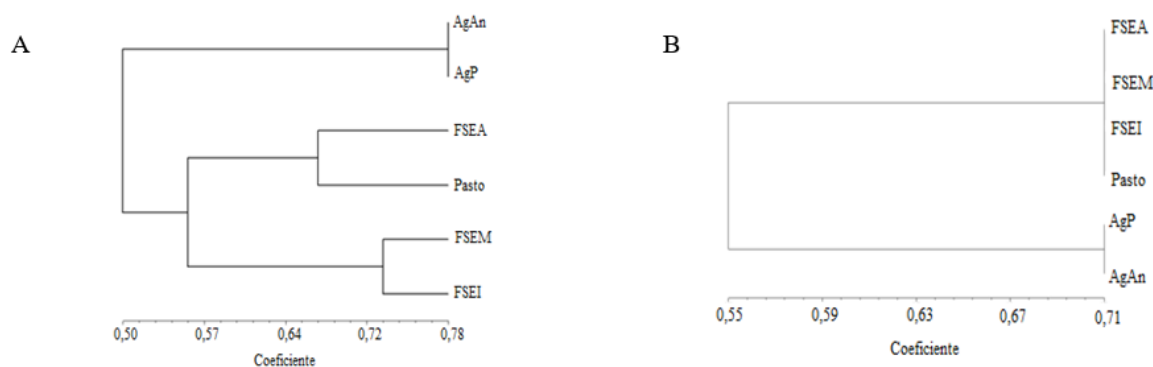


FIGURA 1: Dendrograma da ocorrência de espécies de FMAs em áreas de agricultura anual (AgAn) e perene (AgP), pastagem e floresta secundária em três estádios sucessionais (floresta secundária estágio avançado – FSEA; floresta secundária estágio médio – FSEM; floresta secundária estágio inicial – FSEI), no verão (A) e no inverno (B).

FIGURE 1: Dendrogram of the occurrence of AMF species in areas of annual (AgAn) and perennial (AgP) crops, pasture and secondary forest in three successive stages (secondary forest early stage – FSEA; secondary forest medium stage - FSEM; advanced stage secondary forest – FSEI) in the summer and winter.

a conversão de florestas neotropicais nas áreas de pastagens da Nicarágua e Costa Rica, Picone (2000) verificou que estes fungos foram iguais ou mais abundantes em pastagem do que em florestas.

Uma baixa esporulação foi observada na área de AgAn, tendo a mesma diferido da FSEM e da FSEI, no inverno, e de todas as áreas no verão (Tabela 4). Em estudos realizados na zona oeste da África Central, Fokom et al. (2012), observaram que a conversão de ecossistema natural em área agrícola reduziu a abundância de esporos de FMAs. Picone (2000) relata que baixa abundância de esporos de FMAs no solo pode também estar associada a perturbações ocorridas no ambiente. Em contrapartida, Caproni (2001) discute que ambientes mais estáveis, cujos horizontes superficiais são mais protegidos contra grandes perturbações, espécies de FMAs conseguem sobreviver com baixa esporulação, o que explica a baixa esporulação observada na FSEA, em ambas as estações.

No que se refere à sazonalidade, o número de esporos na média foi significativamente diferente entre o verão (878 esporos por 50 cm³ de solo) e o inverno (471 esporos por 50 cm³ de solo). No entanto, somente as áreas de AgAn e de pastagem apresentaram maior esporulação na estação chuvosa em relação à seca, tendo em vista que as demais não apresentaram diferenças significativas entre as estações (Tabela 4).

Comprimento de micélio extrarradicular total

O comprimento de micélio extrarradicular total (CMET) de FMAs no solo foi maior nas áreas florestais e agrícolas quando comparadas a área de pasto, no verão, à exceção da FSEI que foi estatisticamente igual (Tabela 5). No inverno, os valores máximos de CMET foram encontrados nas áreas FSEA e AgAn. Em ambas as estações não houve diferença entre as áreas FSEA e AgAn, por outro lado, no inverno, tanto a área FSEM quanto a área FSEI apresentaram valores significativamente inferiores às áreas agrícolas (AgAn e AgP) (Tabela 5). Maior CMET na área de AgAn pode estar relacionado ao fato que a mandioca, por apresentar raízes grossas e com pouquíssimos pêlos radiculares, é altamente dependente da associação micorrízica para o seu desenvolvimento e nutrição fosfatada e nitrogenada (BALOTA et al., 1997). Este padrão pode ter contribuído para um maior desenvolvimento de micélio extrarradicular dos FMAs, os quais funcionam como extensões do sistema radicular, aumentando, assim, a área de exploração das raízes nos solos (MACHINESKI et al., 2011).

Verificou-se correlação negativa entre CMET e a produção de esporos de FMAs ($r = -0,89$, $P = 0,02$; $r = -0,97$, $P = 0,0005$), no verão e no inverno, respectivamente. Em contrapartida, não houve correlação entre CMET e as frações da

TABELA 4: Número de esporos de FMAs em 50 cm³ de solo em áreas de agricultura anual (AgAn) e perene (AgP), pastagem e floresta secundária em três estádios sucessionais (floresta secundária estágio avançado – FSEA; floresta secundária estágio médio – FSEM; floresta secundária estágio inicial – FSEI), em duas estações (verão e inverno).

TABLE 4: Number of AMF spores in 50 cm³ of soil in annual (AgAn) and perennial (AgP) agricultural areas, pasture and secondary forest in three successional stages (secondary forest early stage – FSEA; secondary forest medium stage - FSEM; advanced stage secondary forest – FSEI), in two seasons (summer and winter).

Cobertura vegetal	Abundância de esporos	
	Verão/2009	Inverno/2010
FSEA	500 cA	252 bcA
FSEM	984 bA	732 Aa
FSEI	963 bA	697 abA
Pasto	1635 aA	607 abcB
AgP	847 bcA	405 abcB
AgAn	336 dA	136 cA

Em que: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste t de Bonferroni a 5%.

TABELA 5: Comprimento de micélio extrarradicular (CMET) de FMAs por grama de solo em áreas de agricultura anual (AgAn) e perene (AgP), pastagem e floresta secundária em três estádios sucessionais (floresta secundária estágio avançado – FSEA; floresta secundária estágio médio – FSEM; floresta secundária estágio inicial – FSEI), em duas estações (verão e inverno).

TABLE 5: Length of mycelium outside the root (CMET) AMF per gram of soil in annual (AgAn) and perennial (AgP) crops areas, pasture and secondary forest in three successional stages (secondary forest early stage – FSEA; secondary forest medium stage - FSEM; advanced stage secondary forest – FSEI), in two seasons (summer and winter).

Cobertura vegetal	CMET (m g ⁻¹)	
	Verão	Inverno
FSEA	1,56 aB	2,72 aA
FSEM	1,42 aA	0,81 cB
FSEI	1,25 abA	0,95 cA
Pasto	0,67 bB	1,19 bcA
AgP	1,79 aA	1,58 bA
AgAn	1,62 aB	2,80 aA

Em que: Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem pelo teste t de Bonferroni a 5%.

glomalina (PSRG-T e PSRG-FE). A ausência de correlações entre as frações de glomalina e CMET, de acordo com Purin, Klauber e Sturmer (2006), pode ser explicada pela diferença entre os tempos de residência destes componentes no solo, tendo em vista que, para a glomalina, este tempo é estimado em anos, enquanto para o CMET em semanas (FRIESE; ALLEN, 1991; RILLIG et al., 2001).

Observou-se efeito da sazonalidade na maioria das áreas, sendo que na FSEA, pasto e AgAn maior comprimento de hifas foi observado no inverno, enquanto, na FSEM o verão proporcionou maior CMET (Tabela 5). Melloni et al. (2011) discutem que no verão, devido ao aumento da mineralização de matéria orgânica e disponibilização de nutrientes às plantas e microrganismos, ocorre um melhor desenvolvimento das raízes. Tal condição pode inibir as colonizações intra e extrarradiculares, impactando de forma negativa às estruturas fúngicas como o micélio extrarradicular. Além disso, a utilização das hifas fúngicas como fonte de carbono e energia por outros organismos do solo, também beneficiado pelas melhores condições de solo no verão, pode reduzir o comprimento de micélio do inverno para o verão.

Proteína do solo relacionada à glomalina

As médias da proteína do solo relacionada à glomalina - facilmente extraível (PSRG-FE) no solo, observadas no verão, variaram de 1,16 mg

g⁻¹ solo em área de AgAn a 3,49 mg g⁻¹ em área de FSEM. No inverno, a variação foi de 0,79 a 1,79 mg g⁻¹ solo nas áreas de AgAn e pasto, respectivamente (Tabela 6).

No verão, a floresta secundária em estágio médio apresentou cerca de 80% mais PSRG-FE do que a FSEI. Em relação aos sistemas agrícolas, as diferenças percentuais foram maiores, uma vez que as áreas de FSEA e FSEM apresentaram 128% e 201% mais PSRG-FE do que a área de AgAn e, 85% e 144% mais PSRG-FE do que a área AgP, respectivamente (Tabela 6). A área de pastagem, por outro lado, apresentou concentração desta fração semelhante estatisticamente aos sistemas florestais (Tabela 6). No inverno, a área FSEA apresentou o mesmo padrão do verão, semelhante à área de pasto na qual quantificaram-se as maiores concentrações de PSRG-FE em relação às áreas agrícolas (AgAn e AgP), sendo os aumentos de 125% e 100%, respectivamente. A área FSEM, em contrapartida, não apresentou diferença significativa em relação aos sistemas agrícolas e a área FSEI (Tabela 6). Este padrão pode estar relacionado à atividade microbiana mais equilibrada entre estes sistemas, nesta época, o que pode ter contribuído para taxas de decomposição das hifas e consequente deposição de PSRG-FE semelhantes entre estes sistemas. Para Lutgen et al. (2003), a decomposição das hifas é um aspecto importante a ser considerado para contribuição do aumento de PSRG-FE.

As concentrações de proteína do solo

TABELA 6: Proteína do solo relacionada à glomalina total (PSRG-T) e facilmente extraível (PSRG-FE) no solo de áreas de agricultura, pastagem e floresta secundária em três estádios sucessionais (floresta secundária estágio avançado – FSEA; floresta secundária estágio médio – FSEM; floresta secundária estágio inicial – FSEI), em duas estações.

TABLE 6: Glomalin-related soil protein - total (PSRG-T) and easily extractable (PSRG-FE) in the soil of the areas of annual (AgAn) and perennial (AgP) crops, pasture and secondary forest in three successional stages (secondary forest early stage – FSEA; secondary forest medium stage - FSEM; advanced stage secondary forest – FSEI), in two seasons.

Cobertura vegetal	PSRG-T		PSRG-FE	
	Verão/2009	Inverno/2010	Verão/2009	Inverno/2010
	mg g ⁻¹ solo			
FSEA	3,60 bcdA	3,29 bcA	2,65 abA	1,78 aB
FSEM	5,39 aA	4,50 bA	3,49 aA	1,50 abB
FSEI	4,11 abcA	3,38 bcA	1,94 bcdA	0,99 abB
Pasto	4,66 abB	6,35 aA	2,56 abcA	1,79 aB
AGP	2,40 dA	2,50 cA	1,43 cdA	0,89 bA
AGAN	2,72 cdA	3,03 bcA	1,16 dA	0,79 bA

Em que: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste t de Bonferroni a 5%.

relacionada à glomalina - total (PSRG-T) no solo, no verão, variaram de 2,40 mg g⁻¹ em área de AgP a 5,39 mg g⁻¹ em área de FSEM. No inverno, a variação foi de 2,50 mg g⁻¹ em área de AgP a 6,35 mg g⁻¹ na área de pasto. A atividade agrícola promoveu reduções nas concentrações de PSRG-T em relação à área FSEM, tanto no verão quanto no inverno. As reduções promovidas pela AgAn foram da ordem de 55% e 33% (verão e inverno, respectivamente) enquanto pela AgP foi de 45% no inverno (Tabela 6). O decréscimo na concentração de glomalina quando da passagem de floresta natural para agricultura já foi observado em trabalhos como os de Curaqueo et al. (2011) e Spohn e Giani (2010).

Em relação à variação sazonal, não houve diferença significativa nas concentrações de PSRG-T, na maioria dos sistemas de uso das terras, entre o verão e o inverno (Tabela 6). Avaliando as concentrações de PSRG-T nas áreas de floresta, capoeira e pastagem, no estado do Acre, Zatorre (2009) também não observaram diferenças entre as épocas seca e chuvosa. Em contrapartida, a PSRG-FE foi significativamente menor no inverno nos sistemas florestais e no pasto (Tabela 5). Segundo Lutgen et al. (2003), a PSRG-FE é considerada a fração de glomalina localizada em sítios do solo que são mais susceptíveis à produção e decomposição recentes e, portanto, que exibem maiores variações de caráter microambiental (PURIN, 2005).

Observou-se relação linear positiva entre o carbono orgânico total do solo (dados não mostrados)

e as frações PSRG-T ($r = 0,83$; $P = 0,002$) e PSRG-FE ($r = 0,77$; $P = 0,04$), tal como Dai et al. (2013), Liang (2010) e Rillig et al. (2003). Este fato pode indicar que as micorrizas arbusculares, ao longo do tempo, contribuem para o acúmulo de C no solo (WUEST et al., 2005).

CONCLUSÕES

Um total de 27 morfotipos de esporos de fungos micorrízicos arbusculares foram recuperados, e a espécie *Glomus macrocarpum* foi identificada em todas as áreas (floresta secundária estágio avançado, floresta secundária estágio médio, floresta secundária estágio inicial, pastagem e de agricultura) em estudo.

A atividade agrícola modificou a composição das espécies de fungos micorrízicos arbusculares em relação aos sistemas florestais.

A abundância de esporos de fungos micorrízicos arbusculares foi influenciada pelo tipo de cobertura vegetal, em que a área de agricultura anual promoveu uma baixa esporulação em ambas as estações quando comparada às demais áreas.

O plantio de mandioca (agricultura anual) não alterou o comprimento de micélio extrarradicular quando comparado à floresta secundária em estágio avançado.

A quantidade de glomalina facilmente extraível presente no solo foi reduzida quando da passagem de floresta secundária em estágio médio

para agricultura.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo ao primeiro autor. A FAPERJ e ao curso de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo pela concessão de recursos para o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGELINI, G. A. R. et al. Colonização micorrízica, densidade de esporos e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em solo de Cerrado sob plantio direto e convencional. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, p. 115-130, 2012.
- ALLEN, E. B. et al. Patterns and regulation of mycorrhizal plant and fungal diversity. **Plant and Soil**, The Hague, v. 170, p. 47-62, 1995.
- BALOTA, E. L. et al. Inoculação de bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos arbusculares na cultura da mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, p. 627-639, 1997.
- BENEDETTI, T. et al. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares na cultura do milho após uso de espécies de plantas de cobertura de solo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 4, n. 1, p. 44-51, 2005.
- BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A. de; 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, 2006. p. 53-88.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, may. 1976.
- CAMPOS, H. **Estatística experimental não-paramétrica**. Piracicaba: ESALQ, 1979. 343 p.
- CAPRONI, A. L. et al. Fungos micorrízicos arbusculares em estéril revegetado com *Acacia mangium*, após mineração de bauxita. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, p. 373-381, 2005.
- Ocorrência de Fungos Micorrízicos Arbusculares em resíduo da mineração de bauxita revegetado com espécies arbóreas, **Acta botânica brasiliensis**, Feira de Santana, v. 21, p. 99-106, 2007.
- CAPRONI, A. L. **Fungos micorrízicos arbusculares em áreas reflorestadas remanescentes da mineração de bauxita em Porto Trombetas/PA**. 186 f. 2001. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2001.
- CURAQUEO, G. et al. Effects of different tillage system on arbuscular mycorrhizal fungal propagules and physical properties in a Mediterranean agroecosystem in central Chile. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 113, p. 11-18, 2011.
- DAI, et al. Arbuscular mycorrhizal fungal diversity, external mycelium length, and glomalin-related soil protein content in response to long-term fertilizer management **Journal of Soils and Sediments**, v. 13, p. 1-11, 2013.
- FARIA, C. **Desmatamento da Mata Atlântica**. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/geografia/desmatamento-da-mata-atlantica/>> Acesso em: 6 fev. 2012.
- FERREIRA, D. A.; CARNEIRO, M. A. C.; SAGGIN JUNIOR, O. J. Fungos micorrízicos arbusculares em um latossolo vermelho sob manejos e usos no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 51-61, 2012.
- FERREIRA, D. F. **Sistema de análises de variância para dados balanceados**. Lavras: UFLA, 2000. (SISVAR 4. 1. – pacote computacional).
- FOCCHI, S. S. et al. Fungos micorrízicos arbusculares em cultivos de citros sob manejo convencional e orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 5, p. 469-476, 2004.
- FOKOM et al. Glomalin related soil protein, carbon, nitrogen and soil aggregate stability as affected by land use variation in the humid Forest zone of south Cameroon. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 120, p. 69-75, 2012.
- FRIESE, C. F.; ALLEN, M. F. The spread of VA mycorrhizal fungal hyphae in the soil: Inoculum types and external hyphal architecture. **Mycologia**, v. 83, p. 409-418, 1991.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (Brasil). **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica**: período 1995-2000. São Paulo: [s. n.], 2002. 47 p.
- GERDERMANN, J. N.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, Cambridge, v. 46, n. 2, p. 235-244, 1963.
- HENTZ et al. Fungos micorrízicos arbusculares e ectomicorrízicos em áreas de eucalipto e de campo nativo em solo arenoso. **Ciência Florestal**, Santa

Maria, v. 16, n. 3, p. 293-301, 2006.

INVAM. **International Culture Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi**. 2001. Disponível em: <<http://www.invam.caf.wvu.edu/mycinfo/methods/cultures/monosp.htm>>. Acesso em: 12 ago. 2010.

JANSA, J. et al. Diversity and structure of AMF communities as affected by tillage in a temperate soil. **Mycorrhiza**, Berlin, v. 12, p. 225-234, 2002.

LEE, J.; EOM, A. Effect of Organic Farming on Spore Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Glomalin in Soil. **Mycobiology**, Korea, v. 37, n. 4, p. 272-276, 2009.

LIANG, W. J. Effect of tillage systems on glomalin-related soil protein in a Aquatic Brown Soil. **Research Journal of Biotechnology**, United States, v. 5, n. 3, p. 10-13, 2010.

LOSS, A. et al. Atributos químicos do solo e ocorrência de fungos micorrízicos sob áreas de pastagem e sistema agroflorestal, Brasil. **Acta Agronômica**, Palmira, v. 58, n. 2, p. 91-95, 2009.

LUTGEN, E. R. et al. Seasonality of arbuscular mycorrhizal hyphae and glomalin in a western Montana grassland. **Plant and Soil**, The Hague, v. 257, p. 71-83, 2003.

MACHINESKI, et al. Resposta da mamoneira a fungos micorrízicos arbusculares e a níveis de fósforo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, p. 1855-1862, 2011.

MELLONI, R. Fungos micorrízicos arbusculares em solos da reserva biológica municipal Serra dos Toledos, Itajubá/MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 799-809, out./dez., 2011.

Quantificação de micélio extrarradicular de fungos micorrízicos arbusculares em plantas cítricas. 1996. 83 f. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

MENEZES, C. E. G. **Integridade de paisagem, manejo e atributos do solo no médio Vale do Paraíba do Sul Pinheiral-RJ**. 2008. 160 f. Tese (Doutorado em Agronomia-Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

MIRANDA, E. M. et al. Comunidades de fungos micorrízicos arbusculares associados ao amendoim forrageiro em pastagens consorciadas no Estado do Acre, Brasil. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 40, n. 1, p. 13-22, 2010.

NEWMAN, E. I. A method for estimating the total length of root in a sample. **Journal of Applied Ecology**, v. 3, p. 139-145, 1966.

NÓBREGA, J. C. A, et al. Fosfato e micorriza na estabilidade de agregados em amostras de latossolos cultivados e não-cultivados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1425-1435, nov. 2001.

PATREZE, C. M; TSAI, S. M. **Diversidade de fungos micorrízicos e da microbiota do solo: Importância na agricultura**. 2009. Disponível em: <http://www.cnpma.embrapa.br/eventos/2008/seminario/biodiversidade/Fungos_Micorrizicos_Camila_txt.pdf>. Acesso em: 15 maio 2009.

PENG, S.; GUO, T.; LIU, G. The effects of arbuscular mycorrhizal hyphal networks on soil aggregations of purple soil in southwest China. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 57, p. 411-417, 2013.

PICONE, C. Diversity and abundance of arbuscularmycorrhizal fungus spores in tropical forest and pasture. **Biotropica**, Washington, v. 32, p. 734-750, 2000.

PURIN, S. **Fungos micorrízicos arbusculares: atividade, diversidade e aspectos funcionais em sistemas de produção de maçã**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Santa Catarina, 2005.

PURIN, S.; KLAUBERG, O.; STURMER, S. L. Mycorrhizae activity and diversity in conventional and organic apple orchards from Brazil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 38, p. 1831-1839, 2006.

RILLIG, M. C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 84, p. 355-363, 2004.

Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to land-use change. **Plant and Soil**, The Hague, v. 253, p. 293-299, 2003.

Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. **Plant and Soil**, The Hague, v. 23, p. 167-177, 2001.

ROLF J. F. **NTSYS-pc: numerical taxonomy and multivariate analysis system**. Version 1.7 Exeter Software, Setauket, NY: [s. n.], 1992.

SANDERS, I. R.; FITTER, A. H. The ecology and functioning of vesicular arbuscular mycorrhizas in coexisting grassland species: seasonal patterns of mycorrhizal occurrence and morphology. **New Phytologist**, United Kingdom, v. 120, p. 517-524, 1992.

SCHENCK, N. C.; PEREZ, Y. **A manual for identification of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi**. 2. ed. Gainesville: University

- of Florida, 1988. 241 p.
- SIEVERDING, E. **Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems**. Eschborn: ZTZ, 1991. 371 p.
- SILVA, C. F. et al. Fungos Micorrízicos Arbusculares em áreas no entorno do Parque Estadual da Serra do Mar Em Ubatuba (SP). **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 19, p. 1-10, 2006.
- SILVA, L. X. et al. Fungos micorrízicos arbusculares em áreas de plantio de leucena e sábia no estado de Pernambuco. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, p. 427-435, 2007.
- SILVA, R. F. et al. Comunidade de fungos micorrízicos arbusculares em solo cultivado com eucalipto, pinus e campo nativo em solo arenoso, São Francisco de Assis, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 3, p. 353-361, jul./set. 2008.
- SILVEIRA, A. P. D. Ecologia de fungos micorrízicos arbusculares. In: MELO, I. S.; AZEVEDO, J. L. **Ecologia Microbiana**. Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, 1998. p. 61-86.
- SNEDECOR, G. W.; COCHRAN, G. W. **Statistical Methods**. 8. ed. Iowa: State University Press, 1989. 491 p.
- SOUZA, E. D. et al. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 1135-1139, 2005.
- WILSON, G. W. T. et al. Soil aggregation and carbon sequestration are tightly correlated with the abundance of arbuscular mycorrhizal fungi: results from long-term field experiments. **Ecology Letters**, California, v. 12, p. 452-461, 2009.
- WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, The Hague, v. 198, p. 97-107, 1998.
- WRIGHT, S. F. et al. Glomalin in aggregate size classes from three different farming systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, p. 546-549, 2007.
- Timecourse study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. **Plant and Soil**, The Hague, v. 181, p. 193-203, 1996.
- WU, F. et al. Effects of longterm fertilization on AM fungal community structure and Glomalin-related soil protein in the Loess Plateau of China. **Plant and Soil**, The Hague, v. 342, p. 233-247, 2011.
- WUEST, S. et al. Organic matter addition, N, and residue burning effects on infiltration biological and physical properties of na intensively tilled silt-loam soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 84, p. 154-167, 2005.
- ZATORRE, N. P. **Influência da mudança no uso do solo em ecossistemas na Amazônia sul ocidental**. 2009. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.