



**DIVERSIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM ÁREA
DE MATA ATLÂNTICA SOB DIFERENTES USOS DO SOLO**

CAMILLA MACIEL RABELO PEREIRA

**RECIFE
FEVEREIRO/2013**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE MICOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA DE FUNGOS**

**DIVERSIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM ÁREA
DE MATA ATLÂNTICA SOB DIFERENTES USOS DO SOLO**

ALUNA: Camilla Maciel Rabelo
Pereira

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia de Fungos do Departamento de Micologia do Centro de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Biologia de Fungos.

Área de Concentração: Ecologia e Taxonomia de Fungos

Orientador: Leonor Costa Maia

Co-orientador: Bruno Tomio Goto

RECIFE

FEVEREIRO/2013

Catálogo na Fonte:
Bibliotecário Bruno Márcio Gouveia, CRB-4/1788

P436d Pereira, Camilla Maciel Rabelo

Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em área de Mata Atlântica sob diferentes usos do solo / Camilla Maciel Rabelo Pereira. – Recife: O Autor, 2013.

83. f. : il., fig., tab.

Orientadora: Leonor Costa Maia

Coorientador: Bruno Tomio Goto

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Ciências Biológicas. Pós-graduação em Biologia de Fungos, 2013.

Inclui bibliografia e apêndices

1. Fungos 2. Mata Atlântica 3. Solo – Uso I. Maia, Leonor Costa (orientador) II. Goto, Bruno Tomio (coorientadora) III. Título.

579.5

CDD (22.ed.)

UFPE/CCB-2013-195

**DIVERSIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM ÁREA
DE MATA ATLÂNTICA COM DIFERENTES USOS DO SOLO**

CAMILLA MACIEL RABELO PEREIRA

Data da defesa: 28/02/2013

COMISSÃO EXAMINADORA

MEMBROS TITULARES

Dr^a. Leonor Costa Maia – (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Dr^a. Marcela Claudia Pagano –
Universidade Federal de Minas Gerais

Dr^a. Renata Gomes de Souza –
Universidade Federal de Pernambuco

Que ninguém se engane; só se consegue a simplicidade através de muito trabalho.

(Clarice Lispector)

Agradecimentos

A Deus, por me iluminar nesse caminho.

Aos meus pais, Márcio e Cássia, eternos torcedores por minhas realizações, pelo amor incondicional, apoio constante e paciência por tantas ausências.

À Sadi Seabra, pelo companheirismo, compreensão, preocupações, incentivo às minhas realizações e pelos momentos felizes.

A toda minha família pelo apoio, carinho e compreensão.

À Professora Leonor Maia, pela orientação desde a iniciação científica, e me permitiu os primeiros passos na vida acadêmica.

Ao professor Bruno Goto, pelo co-orientação, amizade e pelo acolhimento na Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Aos professores Fritz Oehl e Gladstone Silva pela amizade e ensinamentos.

Aos colegas Inácio Pascoal, Ângelo Souto e Araeska Carena pela valiosa ajuda na realização das coletas.

A Danielle Karla pelo companheirismo, amizade, apoio constante na realização do trabalho e sugestões sempre pertinentes.

Às minhas amigas Natália Souza, Débora Santos e Ingrid Lino pelos abraços sinceros, pelos sábios conselhos e pela amizade verdadeira demonstrada em vários momentos desta caminhada.

Aos companheiros da turma de mestrado (PPG-BF - UFPE) Cyndy, Mayara, Jadson, Edvaneide, Vera, Juliana, Iolanda, Vitor Xavier, Vitor Coimbra, Jacielene, Gleyce, Alice, Patrícia, Lídia, Nestor, com os quais compartilhei momentos importantes e felizes.

Aos companheiros do Laboratório de Micorrizas (UFPE), Natália, Débora, Araeska, Anuska, Luana, Catarina, Ingrid, Heloísa, Larissa, Daniele Magna, Daniele Tenório, Indra, Vilma, Neto, Frederico, Moacir, Renata, Joana, Mayra, Roberta, Isabela, Bruno, Adelmo, Lyssandra, Rejane e Aninha.

Ao IPA, por permitir acesso as áreas de estudo e apoio durante a realização das coletas.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

A todos que de alguma forma contribuíram para a finalização da mais essa etapa, muito obrigada.

RESUMO GERAL

Apresentando alta diversidade biológica e elevado grau de endemismo, a Mata Atlântica está entre os domínios mais ameaçados da Terra, devido às pressões antrópicas, causadas principalmente pelo desmatamento e conversão das áreas em plantios. Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), que formam associação simbiótica com a maioria das plantas vasculares, estão amplamente distribuídos nos ambientes terrestres e apresentam grande importância ecológica, constituindo um grupo de organismos chave para a manutenção dos ecossistemas, sendo utilizados como indicadores da qualidade biológica do solo. Para testar a hipótese de que a conversão de áreas nativas de Mata Atlântica em áreas cultivadas compromete a diversidade e a representatividade das espécies de FMA foram investigadas seis áreas, em Goiana – PE: fragmento de Mata Atlântica, plantios de sapoti, de seringueira, de mogno e de eucalipto e rotação de cultura com mandioca. Amostras compostas (5 sub-amostras) da rizosfera foram coletadas durante o período chuvoso (junho/2011) e seco (março/2012). Foram avaliados: a comunidade de FMA, a produção de proteínas do solo relacionadas à Bradford (PSRB), o número de glomerosporos e de propágulos infectivos (NMP) de FMA, o carbono orgânico (C) e o nitrogênio (N) do solo. Registraram-se 50 espécies de FMA, pertencentes a 15 gêneros; *Acaulospora* e *Glomus* predominaram, com 52% do total de espécies. O índice de diversidade de Shannon-Wiener foi mais elevado no ambiente com maior estresse (devido à rotação de culturas), indicando que a simbiose micorrízica pode constituir uma estratégia de fungos e plantas para superar estresses bióticos e abióticos no solo. As áreas com plantio de arbóreas apresentaram em geral maiores teores de PSRB, glomerosporos e propágulos infectivos, quando comparadas à área e com rotação de cultura com mandioca. Houve correlação positiva entre as PSRB e o C do solo, indicando que a glomalina além de contribuir diretamente para a composição da matéria orgânica participa do processo de regulação desse componente do solo. A análise multivariada NMS (*non-metric multidimensional scaling*) indicou que a composição da comunidade e a atividade dos FMA foram significativamente afetadas pelos diferentes usos do solo, mais do que pelas características físico-químicas do solo. Além dos tipos de uso do solo, foi verificada a influência do período estacional na atividade dos FMA, com maiores valores no período chuvoso. Confirmou-se que os índices de diversidade, equitabilidade e riqueza tendem a diminuir nas comunidades estabelecidas na rizosfera de plantas em ambiente clímax, como o de Mata Atlântica e que áreas com cultivos perenes e pouco aradas em geral favorecem a produção de PSRB, as quais permanecem no solo por longos períodos.

Palavras-chave: Glomeromycota, Índices ecológicos, Espécie indicadora, Glomalina, Práticas agrícolas.

ABSTRACT

The Atlantic Forest is one of the most threatened domain due to human pressures, caused mainly by deforestation and conversion of areas into plantations. These areas present high biodiversity and high degree of endemism. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), which form symbiotic association with most vascular plants, are widely distributed in terrestrial environments and have great ecological importance, constituting a group of key organisms to the maintenance of ecosystems, and have been used as indicators of soil biological quality. To test the hypothesis that the conversion of native Atlantic Forest in cultivated areas compromises the diversity and representativeness of AMF species six areas in the Goiana municipality, Pernambuco State, were investigated: a fragment of Atlantic Forest, plantations of sapodilla, rubber, mahogany, eucalyptus and crop rotation with cassava. Composite samples (five sub-samples) were collected from the rhizosphere during the wet (June/2011) and dry season (March/2012). The community of AMF, the production of Bradford-reactive soil protein (BRSP), the number of glomerospores and infective propagules (MPN) of FMA, organic carbon (C) and nitrogen (N) soil were evaluated. Fifty AMF species, belonging to 15 genera, were registered; *Acaulospora* and *Glomus* predominated, representing 52% of the total species. The Shannon diversity index was higher in the environment under greater stress (crop rotation), indicating that mycorrhizal symbiosis could be a strategy of fungi and plants to overcome biotic and abiotic stresses in the soil. The areas cultivated with trees species generally had higher levels of BRSP, glomerospores and MPN, compared to the area under crop rotation with cassava. There was a positive correlation between BRSP and soil C, indicating that the glomalin contribute directly to the composition of organic matter and participates in the regulation process of this soil component. The NMS multivariate analysis (non-metric multidimensional scaling) indicated that community composition and activity of AMF was significantly affected by different land uses, rather than by physical and chemical characteristics of the soil. In addition to the types of land use, it was observed influence of the seasonal period in the activity of AMF, with higher values in the wet season. It was confirmed that the diversity, evenness and richness tend to decrease in communities established in the rhizosphere of plants in a climax environment, such as Atlantic Forest. It was also observed that areas with perennial crops and slightly plowed usually favor the production of BRSP, which stay in the soil for long periods.

Keywords: Glomeromycota, ecological indices, indicator species, glomalin, agricultural practices.

Lista de figuras

Pág.

Figura 1. Imagem ilustrativa que representa a Mata Atlântica no Brasil nos anos 1500 e 2007. Fonte: SOS Mata Atlântica.....	16
--	----

Capítulo 1

Figura 1. Número de glomerosporos (barras) e riqueza de espécies (linha) de FMA em áreas de Mata Atlântica (MA) e plantios de sapoti (PSA), seringueira (PSE), mogno (PMO), eucalipto (PEU) e rotação de cultura com mandioca (RMA), na Estação Experimental de Itapirema – IPA, Goiana, Pernambuco.....	37
Figura 2. Curva de acumulação de espécies (Sobs) e estimativa de riqueza pelo índice Jackknife primeira ordem (Jackknife 1), nas áreas Mata Atlântica (A) e plantios de sapoti (B), seringueira (C), mogno (D), eucalipto (E) e rotação de cultura com mandioca (F).....	46
Figura 3. Análise de escalonamento multidimensional com base na comunidade de fungos micorrízicos arbusculares correlacionado com atributos químicos e físicos do solo em áreas de Mata Atlântica (MA) e plantios de sapoti (PSA), seringueira (PSE), mogno (PMO), eucalipto (PEU) e rotação de cultura com mandioca (RMA), na Estação Experimental de Itapirema – IPA, Goiana, Pernambuco.....	48

Capítulo 2

Figura 1. Estação Experimental de Itapirema do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA. Fonte: Google Earth.....	53
Figura 2. Índices pluviométricos (mm) mensais dos anos de 2011 e 2012 registrados em Goiana-PE. Fonte: AGRITEMPO.....	54
Figura 3. Tipo de formação dos glomerosporos (sensu lato) presentes em áreas de Mata Atlântica (MA) e plantios de sapoti (PSA), seringueira (PSE), mogno (PMO), eucalipto (PEU) e rotação de cultura com mandioca (RMA), na Estação Experimental de Itapirema – IPA, Goiana, Pernambuco.	60
Figura 4. Análise de escalonamento multidimensional com base nos teores de PSRB-FE, PSRB, C, N e umidade do solo e densidade de glomerosporos correlacionados com atributos químicos e físicos do solo em áreas de Mata Atlântica (MA) e plantios de sapoti (PSA), seringueira (PSE), mogno (PMO), eucalipto (PEU) e rotação de cultura com mandioca (RMA) nos períodos chuvoso e seco, na Estação Experimental de Itapirema – IPA, Goiana, Pernambuco.	63

Apêndices

Figura 1. Imagens das áreas de coleta: (A) Mata Nativa, (B) plantio de sapoti, (C) plantio de seringueira, (D) plantio de mogno, (E) plantio de eucalipto, (F) rotação de culturas, com plantio de mandioca.	78
Figura 2. Fotomicrografias de esporos de FMA; a. <i>Acaulopora foveata</i> , b. Reação da parede interna de <i>A. foveata</i> em reagente de Melzer, c. Detalhe da ornamentação na superfície da parede externa de <i>A. foveata</i> , d. Detalhe da ornamentação de <i>A. foveata</i> , e. <i>Acaulospora scrobiculata</i> , f. <i>A. scrobiculata</i> , g. Detalhe da ornamentação da parede do esporo de <i>Acaulospora scrobiculata</i> , h. <i>A. scrobiculata</i> , i. <i>Acaulospora</i> sp.1, j. <i>Acaulospora</i> sp.1, l. Detalhe da ornamentação de <i>Acaulospora</i> sp.1, m. <i>Acaulospora</i> sp.1.	81
Figura 3. Fotomicrografias de esporos de FMA; a. <i>Acaulopora</i> sp.2, b. <i>Acaulopora</i> sp.2, c. Detalhe da ornamentação de <i>Acaulopora</i> sp.2, d. <i>Acaulopora</i> sp.2, e. <i>Ambispora appendicula</i> , f. Detalhe da cicatriz de <i>A. appendicula</i> , g. Detalhe da ornamentação da parede interna de <i>A. appendicula</i> , h. <i>A. appendicula</i> com o pedicelo, i. Detalhe de placa germinativa de <i>Fuscutata aurea</i> , j. <i>Fuscutata aurea</i> , l. <i>Gisgaspora</i> sp.1, m. Detalhe da parede de <i>Gisgaspora</i> sp.1.	82
Figura 4. Fotomicrografias de esporos de FMA; a. Esporos de <i>Glomus</i> sp.2, b. <i>Glomus</i> sp.2, c. <i>Glomus</i> sp.2, d. <i>Glomus</i> sp.2, e. <i>Glomus taiwanense</i> . g. <i>Glomus taiwanense</i> , h. <i>Glomus taiwanense</i>	83

Lista de tabelas

Pág.

Capítulo 1

Tabela 1. Caracterização das áreas de coleta.....	33
Tabela 2. Caracterização físico-química do solo em áreas de Mata Atlântica (MA) e plantios de sapoti (PSA), seringueira (PSE), mogno (PMO), eucalipto (PEU) e rotação de cultura com mandioca (RMA), na Estação Experimental de Itapirema – IPA, Goiana, Pernambuco.....	34
Tabela 3. Densidade relativa e frequência de FMA durante as estações seca e chuvosa, nas áreas de Mata Atlântica e plantios de sapoti, seringueira, mogno, eucalipto e rotação de cultura com mandioca, na Estação Experimental de Itapirema – IPA, Goiana, Pernambuco.....	38
Tabela 4. Frequência de ocorrência das espécies de FMA em áreas de Mata Atlântica (MA) e plantios de sapoti (PSA), seringueira (PSE), mogno (PMO), eucalipto (PEU) e rotação de cultura com mandioca (RMA), na Estação Experimental de Itapirema – IPA, Goiana, Pernambuco.....	41
Tabela 5. Número de glomerosporos (em 50g de solo), índices de diversidade, equitabilidade e dominância de comunidades de FMA em áreas de Mata Atlântica (MA) e plantios de sapoti (PSA), seringueira (PSE), mogno (PMO), eucalipto (PEU) e rotação de cultura com mandioca (RMA), na Estação Experimental de Itapirema – IPA, Goiana, Pernambuco.....	46
Tabela 6. Coeficiente de correlação das variáveis analisadas (matriz secundária) com os eixos 1 e 2 da ordenação do NMS.....	49

Capítulo 2

Tabela 1. Caracterização química do solo em áreas de Mata Atlântica (MA) e plantios de sapoti (PSA), seringueira (PSE), mogno (PMO), eucalipto (PEU) e rotação de cultura com mandioca (RMA), na Estação Experimental de Itapirema – IPA, Goiana, Pernambuco.....	57
Tabela 2. Número de glomerosporos e número mais provável de propágulos infectivos (NMP) de FMA em áreas de Mata Atlântica (MA) e plantios de sapoti (PSA), seringueira (PSE), mogno (PMO), eucalipto (PEU) e rotação de cultura com mandioca (RMA), na Estação Experimental de Itapirema – IPA, Goiana, Pernambuco.....	58
Tabela 3. Proteínas do solo relacionadas à glomalina facilmente extraível (PSRB-FE) e total	

(PSRB), carbono orgânico (CO), nitrogênio (N) e umidade do solo (UMI) em áreas sob diferentes usos do solo, nos períodos chuvoso (PC) e seco (PS).....	61
Tabela 4. Coeficientes de correlação simples de Pearson (r) entre as variáveis estudadas ($p<0,05$).	62
Tabela 5. Coeficiente de correlação das variáveis analisadas (matriz secundária) com os eixos 1 e 2 da ordenação do NMS.	64

Apêndices

Tabela 1. Caracterização química do solo em áreas de Mata Atlântica (MA) e plantios de sapoti (PSA), seringueira (PSE), mogno (PMO), eucalipto (PEU) e rotação de cultura com mandioca (RMA), na Estação Experimental de Itapirema – IPA, Goiana, Pernambuco.	79
Tabela 2. Caracterização física do solo em áreas de Mata Atlântica (MA) e plantios de sapoti (PSA), seringueira (PSE), mogno (PMO), eucalipto (PEU) e rotação de cultura com mandioca (RMA), na Estação Experimental de Itapirema – IPA, Goiana, Pernambuco.	80

SUMÁRIO

	Pág.
1. INTRODUÇÃO	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1. Mata Atlântica.....	15
2.2. Micorrizas	17
2.3. Usos do solo	20
2.4. Diversidade de FMA	23
2.4.1. Diversidade de FMA em Mata Atlântica (áreas naturais e cultivadas)	25
2.5. Fatores que influenciam a diversidade de FMA	26
3. DIVERSIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM ÁREAS DE MATA ATLÂNTICA SOB DIFERENTES USOS DO SOLO.....	30
Resumo	30
Introdução	31
Material e Métodos	32
Resultados	36
Discussão	44
Conclusões	49
4. ATIVIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM ÁREAS DE MATA ATLÂNTICA SOB DIFERENTES USOS DO SOLO.....	50
Resumo	50
Introdução	51
Material e Métodos	52
Resultados e Discussão	57
Conclusões	64
5. CONSIDERAÇÕES GERAIS	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
APÊNDICE	78

1. INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica caracteriza-se por alta diversidade biológica e elevado grau de endemismo. No Brasil, estende-se do Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul, apresentando diferentes formas de relevo, paisagens e características climáticas (Pinto e Brito, 2005). A Mata Atlântica brasileira é considerada um dos três domínios mais ameaçados da Terra, restando, hoje, cerca de 7% da cobertura vegetal original, com distribuição fragmentada nas regiões costeiras (Lagos e Muller, 2007). Um dos processos que levou à massiva destruição da floresta, em particular no nordeste do Brasil, foi o cultivo de extensas áreas e o intenso processo de urbanização, resultando em pequenos fragmentos de mata muito espaçados entre si (Reis *et al.*, 1999; Tabarelli *et al.*, 2005; Mesquita *et al.*, 2006).

Embora uma quantidade considerável de informações sobre a diversidade vegetal e animal na Mata Atlântica esteja disponível, o mesmo não se aplica em relação aos micro-organismos dos solos, e aos papéis funcionais que desempenham nesse ambiente. Dentre os organismos presentes no solo, os fungos micorrízicos arbusculares (FMA, Glomeromycota) formam simbiose mutualística com a maioria dos vegetais. Nessa relação, a planta fornece ao fungo energia para crescimento e manutenção via produtos fotossintéticos, enquanto o fungo provê água e nutrientes para a planta, principalmente fósforo (Parniske, 2008).

Diferentes usos do solo como a prática agrícola podem alterar a estrutura da comunidade micorrízica do solo, afetando suas funções e, conseqüentemente, a sustentabilidade dos ecossistemas (Oehl *et al.*, 2004; Cordeiro *et al.*, 2005). Essas práticas comprometem a viabilidade dos remanescentes de Mata Atlântica e a diversidade dos FMA.

Em virtude do importante papel que desempenham na manutenção dos ecossistemas terrestres pela simbiose e devido à importância ecológica e agrícola, os estudos taxonômicos sobre os FMA têm se intensificado (Caruso *et al.*, 2012; van der Heijden *et al.*, 1996; Oehl *et al.*, 2011). Nesse contexto, o estudo da diversidade morfológica e funcional dos FMA em áreas de Mata Atlântica pode contribuir para ampliação do conhecimento sobre a distribuição desses fungos, além de fornecer informações úteis sobre o papel desempenhado na dinâmica edáfica.

Avaliar o impacto de mudanças na utilização do solo sobre a atividade e a comunidade de FMA é importante para o seu manejo, e para o entendimento dos efeitos causados por essa ação antrópica no ambiente, visando gerar subsídios para criação de estratégias de recuperação e/ou conservação da biodiversidade. Considerando que os FMA constituem um grupo funcional chave nos ecossistemas terrestres (Caruso *et al.*, 2012; van der Heijden *et al.*, 1996), mais estudos são necessários para avaliá-los qualitativamente e conhecer o efeito das práticas de conversão de áreas naturais em cultivadas sobre esses micro-organismos.

Para testar a hipótese de que a conversão de áreas nativas de Mata Atlântica em áreas cultivadas afeta a diversidade e a representatividade das espécies de FMA, o objetivo geral deste estudo foi determinar a diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em área de Mata Atlântica com diferentes sistemas de usos do solo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Mata Atlântica

A Mata Atlântica tem alta diversidade biológica e elevado grau de endemismo (Pinto e Brito, 2005); cerca de 95% encontram-se distribuídas ao longo do território brasileiro e o restante na Argentina e no Paraguai. Caracteriza-se por uma série de ecossistemas quase contínuos ao longo da costa, correspondendo a 1.363.000 Km², ou cerca de 15 % do território nacional, ocorrendo desde o Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul e apresentando diferentes formas de relevo, paisagens e características climáticas (Pinto e Brito, 2005; Lagos e Muller, 2007; Stehmann *et al.*, 2009).

A Mata Atlântica possui vários ecossistemas associados, entre os quais: Floresta Ombrófila Densa (Floresta Tropical Pluvial), Mista (Mata de Araucárias) e Aberta, Floresta Estacional Decidual (Floresta Tropical Caducifólia) e Semidecidual (Floresta Tropical Subcaducifólia), Mangues, Restingas, Campos de Altitude, Brejos Interioranos, Encraves Florestais do Nordeste, Ilhas costeiras e oceânicas (CONAMA, 2004). Em toda a floresta destacam-se dois tipos principais de vegetação, a Floresta Atlântica Semidecídua e a Floresta Costeira. Todos os tipos florestais recebem influência de massas de ar provenientes do Oceano Atlântico (Morellato e Haddad, 2000; Moura, 2006), possuindo elevadas temperaturas (média de 25°C) e precipitação pluviométrica bem distribuída durante todo o ano (IBGE, 1992).

A Mata Atlântica é um dos 25 *hotspots* (áreas prioritárias para conservação) mundiais de biodiversidade (Myers *et al.*, 2000), e contém maior diversidade de espécies que a maioria das formações florestais amazônicas (Morellato e Haddad, 2000). Mesmo com extensas áreas ainda pouco conhecidas do ponto de vista biológico, acredita-se que a região abrigue de 1 a 8% da diversidade mundial (Lagos e Muller, 2007).

Esse é o segundo domínio mais ameaçado da Terra, perdendo apenas para as quase extintas florestas da ilha de Madagascar, na costa africana (Campanili e Prochnow, 2006). Hoje restam menos de 100.000 km² (cerca de 7%) dos remanescentes da cobertura vegetal original (Lagos e Muller, 2007) (Figura 1). Em algumas áreas de endemismo, tudo o que restou foram arquipélagos de pequenos fragmentos muito espaçados entre si (Tabarelli *et al.*, 2005). O estado de Pernambuco apresentava um percentual de 34% do seu território

ocupado por Mata Atlântica; contudo, atualmente restam menos de 5% da floresta original (Lima, 1998; Galindo-Leal e Câmara, 2003).



Figura 1. Imagem ilustrativa que representa a Mata Atlântica no Brasil nos anos 1500 e 2007. Fonte: SOS Mata Atlântica.

A massiva destruição da Floresta Atlântica tem razões e consequências bastante conhecidas. Iniciada em 1500, com a colonização europeia no Brasil, continuou durante mais de cinco séculos de ocupação desordenada, por três ciclos econômicos exploratórios (pau-brasil, cana-de-açúcar e café), uso da terra para fins comerciais (pastos, produção agrícola, expansão agropecuária), ampliação do parque industrial, e pelo intenso processo de urbanização (Reis *et al.*, 1999; Mesquita *et al.*, 2006). Com a perda da cobertura vegetal, as áreas desmatadas ficam susceptíveis à degradação dos solos, redução da disponibilidade de recursos hídricos e mudanças microclimáticas.

Atualmente, grande parte da população brasileira, cerca de 100 milhões de pessoas, vive em mais de 3000 cidades construídas em áreas desmatadas da Floresta Atlântica (Morellato e Haddad, 2000). A qualidade de vida destes quase 70 % da população brasileira depende da preservação dos remanescentes, os quais mantêm as fontes e nascentes, regulando o fluxo dos mananciais que abastecem as cidades, ajudando a regular

o clima, a temperatura, a umidade, as chuvas e assegurando a fertilidade do solo (Campanili e Prochnow, 2006). A proteção desses recursos hídricos, do solo, do relevo e da qualidade ambiental e paisagística da Floresta Atlântica é indispensável também para a pesquisa e o ensino, o lazer e a educação ambiental (Lima, 1998).

A preservação da Mata Atlântica é extremamente necessária, e depende de ações e esforços integrados e coletivos, exigindo a mobilização geral da sociedade na defesa desse importante patrimônio natural (Galindo-Leal e Câmara, 2003). Quanto mais informações a respeito da biodiversidade da Floresta Atlântica e sobre as ameaças que ela vem enfrentando forem disponibilizadas, melhor conduzidos poderão ser os programas de conservação.

2.2. Micorrizas

Micorriza é a denominação para diferentes tipos de associação entre fungos do solo e raízes de plantas (Smith e Read, 2008). Descrita há cerca de um século pelo pesquisador Albert Frank, a associação é simbiótica, pois os organismos co-existem em um mesmo ambiente físico, raiz e solo, e mutualística, porque, em geral, ambos se beneficiam da associação (Parniske, 2008).

Atualmente são reconhecidos sete tipos de micorriza (arbuscular, arbutóide, ecto, ectendo, ericóide, monotropóide e orquidóide), alguns muito específicos, encontrados em apenas algumas famílias de plantas terrestres (Berbara *et al.*, 2006). A micorriza arbuscular, formada por fungos micorrízicos arbusculares (FMA), é a mais ancestral, com surgimento estimado em cerca de 500 milhões de anos (Redecker *et al.*, 2000), e apresenta maior ocorrência entre as plantas tropicais e de interesse agrícola, sendo a mais comum nos ecossistemas terrestres (Goi e Souza, 2006).

Os FMA são biotróficos obrigatórios, ou seja, só completam o ciclo de vida quando associados a plantas compatíveis, o que só é esperado em simbioses altamente evoluídas (Schußler *et al.*, 2001). Possuem ciclo reprodutivo assexual, e sua estrutura de reprodução, o glomerosporo (Goto e Maia, 2006) que varia de 22 a 1.050 μm em diâmetro, sendo caracterizado pela parede em geral espessa, com várias camadas. Esses esporos são considerados os maiores do Reino Fungi. Os FMA podem se propagar também por meio de hifas infectivas e raízes colonizadas.

Inicialmente, a taxonomia dos FMA era baseada nas características morfológicas e anatômicas dos fungos, como a organização das paredes dos esporos, a cor, o tamanho, a ornamentação, a presença de estruturas especializadas de germinação, as células esporogênicas e as hifas de sustentação (Schenck e Perez, 1990). A primeira classificação taxonômica congregando as espécies de FMA foi proposta em 1974, por Gerdemann e Trappe, que as incluíram na família Endogonaceae (Endogonales, Zygomycetes). Quase duas décadas depois, em 1990, Morton e Benny propuseram a ordem Glomales para esses fungos que formam estruturas arbusculares características dentro das raízes (Koide e Mosse, 2004). Schußler *et al.* (2001) classificaram os FMA em um filo à parte, Glomeromycota, que, atualmente, com base em características morfológicas, ultra-estruturais, ontogenéticas e moleculares, está dividido em três classes (Archaeosporomycetes, Glomeromycetes, e Paraglomeromycetes), cinco ordens (Archaeosporales, Diversisporales, Gigasporales, Glomerales e Paraglomerales), 15 famílias (Acaulosporaceae, Ambisporaceae, Archaeosporaceae, Dentiscutataceae, Diversisporaceae, Entrophosporaceae, Geosiphonaceae, Gigasporaceae, Glomeraceae, Intraornatosporaceae, Pacisporaceae, Paraglomeraceae, Racocetraceae, Sacculosporaceae e Scutellosporaceae), 31 gêneros e 250 espécies (Oehl *et al.*, 2011; Goto *et al.*, 2012). Apesar dos avanços na identificação das espécies de FMA, autores como Bever *et al.* (2001) afirmam que a grande maioria das espécies de FMA ainda permanece desconhecida para a ciência.

Os FMA constituem um grupo heterogêneo de táxons, associados às raízes de mais de 90% das espécies de plantas, o que os caracteriza como cosmopolitas (Bonfante e Genre, 2010). Por não haver especificidade, normalmente uma espécie fúngica pode colonizar as raízes de várias plantas hospedeiras ao mesmo tempo, entre Angiospermas, Gimnospermas e Pteridófitas (Siqueira *et al.*, 2002). Os FMA são caracterizados pela formação de três estruturas típicas: arbúsculos, hifas e vesículas. Os arbúsculos são estruturas intracelulares ramificadas, constituindo o principal sítio de troca de nutrientes entre o fungo e a planta; as vesículas são estruturas globosas, formadas dentro da raiz, e aparentemente têm a função de reserva e armazenamento (Smith e Read, 2008); as hifas, que podem ser internas e externas às raízes, são responsáveis pela absorção e transporte dos nutrientes. Outras estruturas, denominadas células auxiliares, e cuja função ainda não está devidamente esclarecida, são formadas no exterior das raízes por espécies da ordem Gigasporales.

Quanto ao benefício nutricional da simbiose, as hifas dos FMA podem fornecer um incremento na absorção de até 80% de fósforo, 60% de cobre, 25% de nitrogênio, 25% de zinco e 10% de potássio para a planta hospedeira (Marschner e Dell, 1994). Com isso, as plantas micorrizadas apresentam maiores taxa fotossintética, atividade enzimática e produção de substâncias reguladoras de crescimento (Colozzi Filho e Nogueira, 2007).

As alterações metabólicas conferidas às plantas, permitem que se tornem mais resistentes a estresses de origens biótica e abiótica, como estresse hídrico (Cavalcante *et al.*, 2001), salino (Yano-Melo *et al.*, 2003) e presença de metais pesados no solo (Hildebrandt *et al.*, 2007). Atuam também na proteção contra patógenos (Moreira e Siqueira, 2006) e, principalmente, na absorção de nutrientes minerais pouco móveis no solo, como P, Cu e Zn (Smith e Read, 2008).

Os efeitos da micorrização são atribuídos principalmente à longa área de alcance do micélio extra-radicular produzido pelos fungos. O micélio externo pode se conectar a raízes de diferentes espécies vegetais, estabelecendo múltiplas ligações que resultam na aquisição de nutrientes pelas plantas, o que reflete sobre a ciclagem de nutrientes e até sobre as propriedades físicas do solo (Bethlenfalvay, 1992).

Além disso, os FMA são um importante componente do ciclo do C no solo, exercendo influência direta sobre a produção primária agrícola, devido ao impacto na absorção de água e nutrientes pelas plantas, na estabilidade de agregados, e por sua grande biomassa (Zhu e Miller, 2003). Micorrizas arbusculares são importantes na avaliação da qualidade do solo, pelos efeitos sobre a fisiologia da planta hospedeira, interações ecológicas, e contribuição na estruturação do solo, por meio da produção de glomalina (Rillig, 2004). A glomalina é uma glicoproteína pouco solúvel que está presente na parede celular de hifas e esporos de FMA, possuindo propriedades cimentante e imunorreativa (Wright e Upadhyaya, 1998).

A principal função da glomalina é proteger e garantir o funcionamento da simbiose, pois aderida às hifas, previne sua dessecação (Lovelock *et al.*, 2004; Wright, 2005). No estágio da senescência, a glomalina é incorporada no solo, onde representa de 3-5% do C e N totais do solo (Rillig *et al.*, 2001). Foi estimado que para a completa mineralização dessa glicoproteína em florestas tropicais é necessário um período de 6 a 42 anos de permanência no solo (Rillig *et al.*, 2001). A decomposição da glomalina pode variar de acordo com as condições ambientais, tais como a disponibilidade de nutrientes no solo, que pode

influenciar na atividade microbiana, e o conteúdo de argila, que pode proporcionar proteção física (Treseder e Turner, 2007).

De acordo com Rillig (2004), existem duas denominações para a glomalina, que variam conforme os processos de extração e quantificação: PSRG (proteínas do solo relacionadas à glomalina - '*glomalin related soil-protein*') quanto quantificada por ELISA, e PSRB (proteínas do solo relacionadas com Bradford - '*Bradford related soil protein*') quando quantificado pelo método de Bradford, tendo ambas porções facilmente extraível.

Os FMA são importantes componentes do C orgânico do solo, atuando diretamente na fixação de C através da glomalina. O C orgânico do solo é um elemento de extrema importância nos ecossistemas terrestres, pois regula o fluxo de C entre a biosfera e a atmosfera (Zhu e Miller, 2003). Nesse sentido, ao estocar uma considerável quantidade de C na sua estrutura, a glomalina é considerada um fator de contribuição para o sequestro de C no solo, uma vez que é relativamente estável no ambiente (Cornis, 2002). A quantidade exata do sequestro de C parece depender de práticas de manejo do solo, fatores edáficos, clima e da quantidade de espécies de plantas (Zhu e Miller, 2003). De acordo com Lal (2003), a análise da glomalina em solos utilizados para agricultura e silvicultura constitui uma opção para mensurar a mudança climática global, pois grande parte dos trabalhos demonstra que a quantidade dessa glicoproteína é sensível às práticas de manejo do solo (Silva *et al.*, 2010).

Correlação positiva entre os teores de glomalina e o C orgânico do solo em resposta a mudanças no tipo de uso do solo sugere que essa glicoproteína pode ser utilizada como indicador de recuperação de ecossistemas (Rillig *et al.*, 2003). Bedini *et al.* (2007) compararam diferentes plantios em campos da Itália e sugeriram que a glomalina representa um parâmetro bioquímico útil para avaliação da fertilidade do solo.

2.3. Usos do solo

Desde o surgimento da agricultura, há quase 10.000 anos, a maior fonte de alimento dos seres humanos está baseada nos sistemas de cultivo. Atualmente, cerca de 12% da superfície terrestre (ou seja, 18 milhões de Km², aproximadamente o tamanho da América do Sul) está sob alguma forma de plantio. Grande parte da superfície terrestre é inadequada para o cultivo, devido a condições climáticas, características de solo ou topografia adversas. Como forma de superar essas limitações, muitos produtores utilizam de forma

inadequada os recursos finitos existentes no ambiente, visando ganhos econômicos em curto prazo, o que acarreta alto custo de degradação ambiental (Ramankutty *et al.*, 2002).

A maior parte das plantações está baseada em monocultura, prática intensificada nos últimos anos, e que geralmente exige a mecanização do solo, uso de espécies melhoradas, e insumos externos em larga escala. Tal prática tem promovido o uso cada vez mais intenso do solo, gerando perda de qualidade e, por conseguinte, redução das propriedades físicas, químicas e biológicas (Gliessman, 2005).

O solo é um recurso natural, esgotável e dinâmico, constituindo um habitat complexo e de natureza heterogênea, sendo vital para o funcionamento dos ecossistemas terrestres (Moreira e Siqueira, 2006). Além dos componentes químicos e físicos, apresenta um componente biológico que consiste principalmente de micro-organismos que desempenham diversas funções essenciais para o funcionamento do solo, como a decomposição da matéria orgânica e a liberação de nutrientes em formas disponíveis às plantas (Araújo, 2008). Dentre esses micro-organismos, destacam-se os que apresentam associações simbióticas com raízes de plantas e assim atuam no controle biológico contra patógenos, influenciam a solubilização de minerais, favorecendo a absorção de nutrientes e contribuem para estruturação e agregação do solo, podendo contribuir para a sustentabilidade dos agrossistemas (Bonfante e Genre, 2010).

A interferência do homem no campo altera os fatores químicos, físicos e biológicos do solo, o que evidentemente influencia a ocorrência dos FMA e a sobrevivência de seus propágulos infectivos (Carrenho *et al.*, 2008). Dentre as ações antrópicas destacam-se: remoção da vegetação silvestre, mecanização agrícola, aplicações de agroquímicos, irrigação, introdução de espécies vegetais exóticas e cultivo de extensas áreas agrícolas, o que leva à degradação do solo. Os prejuízos podem ser muitos e incluem: a influência negativa no ciclo energético e biogeoquímico dos ecossistemas, a alteração na agregação do solo e no crescimento das plantas, que acarretam consequências no desenvolvimento do sistema radicular, na retenção de umidade, na resistência à erosão e na atividade microbiana (Alvarenga *et al.*, 1999).

Vista de uma forma mais ampla, a mudança do uso do solo, ou da cobertura, apresenta consequências de proporção mundial, impactando a diversidade biológica, a degradação do solo, e a capacidade dos sistemas biológicos para apoiar as necessidades humanas (Lambin *et al.*, 2003). Na busca por alternativas mais limpas, duradouras e que

causem menor impacto à natureza, foram propostos cultivos mais sustentáveis, como as culturas orgânicas e a adubação verde (Cardoso e Kuyper, 2006).

Nesse contexto, é importante compreender as consequências da mudança do uso de cobertura vegetal e suas implicações nos ecossistemas, para se utilizar o solo de forma sustentável, com base em agricultura independente dos recursos não renováveis, assegurando uma forma saudável de produção de alimentos e recursos para a população.

Os FMA são importantes componentes da comunidade de fungos do solo, representando cerca de 30% da biomassa microbiana (Olsson *et al.*, 1999). Práticas de cultivo, como aração, adubação química e aplicação de pesticidas afetam a ocorrência de FMA, com consequentes efeitos sobre a atividade biológica do solo. A prática agrícola e o manejo do solo podem alterar a população e diversidade dos FMA, selecionando espécies e modificando a composição de sua população nativa (Trufem e Bononi, 1985). Portanto, uma forma de verificar a qualidade do solo é a avaliação da comunidade de FMA (Bedini *et al.*, 2007).

Estudando áreas de Cerrado naturais e convertidas em uso agrícola, como plantio de eucalipto, cultura anual e pastos, Alvarenga *et al.* (1999) verificaram que a remoção da vegetação devido ao uso e/ou manejo inadequados provoca a redução da qualidade do solo. Em trabalho também realizado em áreas de Cerrado *strictu sensu* e sob diferentes sistemas de manejo, como gramíneas, plantio direto e convencional, Cordeiro *et al.* (2005) mostraram que essa interferência no solo promove aumento no número de esporos de FMA, indicando que o estabelecimento da simbiose micorrízica é uma estratégia das plantas para superar estresses bióticos e abióticos que ocorrem no solo. O preparo convencional do solo rompe a rede de hifas, reduzindo o potencial de inóculo de FMA e expondo os propágulos, como hifas, esporos e raízes colonizadas, a altas temperaturas, excesso de oxigênio (oxidação) e a predadores, tornando-os inviáveis (Kabir *et al.* 1997).

Na região semiárida no Nordeste do Brasil, Lima *et al.* (2007) observaram que o aumento da degradação ambiental, representado pelas categorias de uso do solo (Caatinga nativa, plantios e pastagem) não afetou o número de esporos viáveis de FMA. Adicionalmente, Stürmer e Siqueira (2011) verificaram que a mudança de floresta primária para os demais ambientes sob fortes influências antropogênicas (floresta secundária, sistema agroflorestal, cultivo e pasto), em diferentes áreas no oeste da Amazônia brasileira pode influenciar a frequência e a abundância de algumas espécies de FMA, mas não afeta a estrutura da comunidade e a riqueza de espécies, sugerindo que os diferentes usos do solo

não causam perda da diversidade de espécies de FMA. Entretanto, em ecossistema tropical seco, no México, Gavito *et al.* (2008) encontraram evidências de que a conversão de floresta primária em floresta secundária e pasto reduzem a diversidade de FMA. No Chile, Curaqueo *et al.* (2011) verificaram maiores valores de glomalina e propágulos infectivos de FMA em sistemas não perturbados, quando comparados a sistemas cultivados, em ambiente temperado.

Comparando campos agrícolas implantados há mais de 20 anos na Europa Central, com os métodos convencional e orgânico, Oehl *et al.* (2004) verificaram que algumas espécies de FMA de ecossistemas naturais são mantidas quando as áreas são convertidas para agricultura orgânica e extintas quando o método aplicado é o convencional, indicando que esse último causa grande perda da função do ecossistema. Os mesmos autores também observaram em áreas próximas às mencionadas (Oehl *et al.*, 2010), que apesar da intensidade do uso e do tipo de solo influenciarem a comunidade de FMA, algumas espécies fúngicas não foram afetadas, sugerindo que os FMA podem servir como indicadores da qualidade biológica do solo.

No continente africano, mais especificamente no Quênia, Jefwa *et al.* (2012) observaram que solos de florestas primárias quando comparados a cultivados com milho, horticultura, pousio e floresta secundária, a abundância de FMA diminuía, mas o mesmo não ocorria com a riqueza e a diversidade. De acordo com os autores, apesar da diversidade ser mantida com as práticas de cultivo, a redução do número de glomerosporos indica uma provável perda de espécies com o tempo.

2.4. Diversidade de FMA

A simbiose micorrízica arbuscular é frequentemente utilizada como modelo representativo de sistema ecológico da biota do solo e das comunidades em geral, visto que essa associação tem demonstrado afetar os sistemas ecológicos em múltiplas escalas (Caruso *et al.*, 2012). Desse modo, os FMA estão envolvidos diretamente com a estabilidade dos ecossistemas, com a diversidade desses fungos contribuindo para a manutenção da diversidade de plantas e afetando a composição, a variabilidade e a produtividade dos hospedeiros (Berbara *et al.*, 2006).

O conceito de diversidade envolve basicamente dois parâmetros: a riqueza, que se refere ao número total de espécies numa área definida, e a abundância, relacionadas ao número de indivíduos de cada espécie (Odum, 1986). A mensuração da diversidade é importante por diversas razões, tais como, ser útil na comparação de padrões das espécies em diferentes locais e, sobretudo por sua utilidade na biologia da conservação e avaliação ambiental de áreas prioritárias para conservação (Barros, 2007).

Como ferramenta de investigação são utilizados os índices ecológicos, modelos matemáticos criados na tentativa de inferir sobre a dinâmica e/ou comportamento de dada população de organismos inserida em diferentes ecossistemas.

Dentre os índices mais utilizados nos estudo dos FMA estão: (a) índice de diversidade de Shannon, que é sensível a espécies raras e assume que todas as espécies da amostra foram coletadas aleatoriamente (maior índice significa maior diversidade), com valores usualmente entre 1,5 e 3,5 e raramente maiores que 4,5 (Margalef, 1972 apud Mueller et al. 2004); (b) índice de diversidade de Margalef, que consiste na combinação do número de espécies registradas somado ao número total de indivíduos de todas as espécies; (c) o índice de Simpson, que mensura a dominância e assume valores entre 0 e 1; (d) o índice de Pielou, que mede a equitabilidade das espécies, ou seja, o quanto os indivíduos estão distribuídos igualmente na comunidade e também apresenta valores entre 0 e 1. Existem ainda os estimadores de riqueza, entre os quais: Jackknife (1 e 2), Chao (1 e 2) e Bootstrap, que permitem predizer o número total de espécies numa determinada comunidade a partir dos dados amostrais (Barros, 2007).

A abordagem ecológica dos FMA é importante para levantamentos mais completos em relação à diversidade deste grupo, tendo em vista que essas informações podem ser utilizadas na seleção de isolados para aplicação agrícola e ambiental (Siqueira *et al.*, 2002).

O conhecimento sobre a ecologia populacional de cada espécie ainda é limitado, além de restringir-se apenas à mensuração da composição da comunidade de fungos. Ao mesmo tempo, o uso de índices de diversidade de FMA apresenta restrições, devido à biologia reprodutiva desse grupo de fungos. Como citado, os FMA necessitam de um hospedeiro para completar seu ciclo de vida; além disso, a taxonomia do grupo está baseada primordialmente nos glomerosporos, estrutura que nem sempre está viável e passível de identificação em nível de espécie (Bever *et al.*, 2001). Comunidades de FMA têm sido analisadas, basicamente, por três métodos: extração direta de esporos e cultura-armadilha, a partir de amostras de solo, ambos seguidos da identificação morfológica de

glomerosporos e estruturas associadas, e os métodos moleculares, baseados na extração, amplificação e caracterização de ácidos nucleicos (de Souza *et al.*, 2008). No entanto, devido às dificuldades de ordem prática e econômica nos países em desenvolvimento para aplicação de métodos moleculares, ainda prevalecem as identificações por análise morfológica.

2.4.1. Diversidade de FMA em Mata Atlântica (áreas naturais e cultivadas)

O conhecimento da diversidade de FMA em áreas de Mata Atlântica em diferentes estados de conservação e usos do solo é relevante como parâmetro biológico para a avaliação de distúrbios ambientais. Das 250 espécies de FMA descritas ao redor do mundo, 119 já foram referidas para o Brasil, o que representa mais da metade de toda diversidade conhecida mundialmente (Oehl *et al.*, 2012); dessas, 78 foram registradas em áreas de Mata Atlântica (Zangaro e Moreira, 2010).

No entanto, ainda são escassos os trabalhos relacionados a esse tema, principalmente os que investigam o impacto da conversão da vegetação natural. Estudos em áreas de Mata Atlântica em sucessão demonstram que os estádios iniciais possuem, em geral, menor diversidade de FMA que as florestas maduras (Aidar *et al.*, 2004; Stürmer *et al.*, 2006). Isso indica que, mesmo havendo uma reposição vegetal, a diversidade de FMA é perdida.

Áreas naturais desse bioma têm grande potencial de diversidade, com a descrição de novas espécies, como *Orbispora pernambucana*, *Racocetra tropicana*, *Fuscutata heterogama*, *Dentiscutata colliculosa*, *Intraornatospora intraornata*, *Paradentiscutata maritima* e *Paradentiscutata bahiana* (Silva *et al.*, 2008; Goto *et al.*, 2011; Oehl *et al.*, 2008; Goto *et al.*, 2010; 2012). Além dessas espécies, trabalhos realizados nesse bioma indicam que algumas como *Acaulospora delicata*, *A. foveata*, *A. longula*, *A. mellea*, *A. morrowiae*, *A. tuberculata*, *Glomus claroideum*, *G. etunicatum*, *G. glomerulatum*, *G. heterosporum*, *G. versiforme* e *Scutellospora erythropha*, aparecem em maior abundância e frequência, e *Glomus macrocarpum* domina na maioria dos levantamentos (Aidar *et al.*, 2004; Trufem e Malatinsky, 1995; Gomes e Trufem, 1998; Carrenho *et al.*, 2001; Stürmer *et al.*, 2006).

Estudos demonstram que a inoculação de mudas com FMA indígenas da Mata Atlântica aumenta a sobrevivência dessas espécies vegetais nativas (Pasqualini *et al.*, 2007;

Zangaro *et al.*, 2012) quando incorporadas as áreas em recuperação, indicando que os FMA também podem ser utilizados para auxiliar a reabilitação de áreas ameaçadas (Silva *et al.*, 2012).

Os FMA formam associações com a maioria das culturas economicamente importantes, como milho, trigo, soja, feijão, café, além da maioria das frutíferas (Miranda *et al.*, 2008). Em agrossistemas brasileiros foram listadas 79 espécies de FMA (Carrenho *et al.*, 2010). Os FMA são essenciais também para a agricultura, por oferecerem às mudas transplantadas melhor capacidade de adaptação (Colozzi Filho e Nogueira, 2007). Esses micro-organismos têm papel vital na sustentabilidade agrícola em regiões tropicais, possuindo um grande potencial biotecnológico, com impacto na estrutura de comunidades vegetais e no dreno de C atmosférico (Berbara *et al.*, 2006).

O emprego dos FMA como estratégia de agricultura mais sustentável visa garantir maior produção das culturas, com a redução do uso de insumos agrícolas industrializados que representam riscos para o ambiente, saúde do consumidor, além de encarecer o produto final (Siqueira, 1996). Nesse sentido, a associação micorrízica arbuscular exerce impacto tanto em nível agrícola, aumentando a produção, quanto em nível ambiental, propiciando a melhoria e manutenção da qualidade dos ecossistemas (Maia *et al.*, 2005).

2.5. Fatores que influenciam a diversidade de FMA

Os FMA são cosmopolitas, com ocorrência registrada em praticamente todos os ecossistemas terrestres, desde regiões árticas, passando por temperadas até tropicais, inclusive em áreas com condições extremas (Gardes e Dahlberg, 1996; Picone, 2000; Stutz *et al.*, 2000; Ferrol *et al.*, 2004; Öpik *et al.*, 2008). A ocorrência e a diversidade dos FMA são influenciadas por diversos fatores, de natureza biótica e abiótica, que interferem na germinação e sobrevivência dos propágulos infectivos (Carrenho *et al.*, 2010). A estrutura das comunidades de FMA pode ser afetada por fatores físicos, químicos e biológicos, entre os quais: composição vegetal, temperatura, umidade e pH do solo, disponibilidade de nutrientes e estresse antropogênico, incluindo compactação do solo, presença de metais pesados e pesticidas (Entry *et al.*, 2012).

Temperatura e umidade também são fatores limitantes para o desenvolvimento das espécies de FMA, pois interferem diretamente em seu comportamento fisiológico. Cada

espécie de FMA possui uma temperatura ótima de germinação, que pode variar de 18-25°C. Em geral, a umidade é próxima à capacidade de campo (Siqueira *et al.*, 1985). Fora desses limites, apenas as espécies mais resistentes passam a colonizar os ambientes. Há também restrição ao estabelecimento de espécies mais sensíveis de FMA em ambientes com compactação ou erosão do solo, visto que a camada superficial do solo é um dos principais habitats desses fungos (Brundrett *et al.*, 1996).

O pH do solo pode afetar a diversidade micorrízica de forma direta, atingindo os fungos, ou de forma indireta, comprometendo a disponibilidade de nutrientes para o fungo ou para a planta. A germinação dos glomerosporos, por exemplo, está altamente relacionada ao pH do solo e, aparentemente, espécies de *Acaulospora*, *Gigaspora* e *Scutellospora* “*lato sensu*” são favorecidas em ambientes com pH de 4 a 6, enquanto espécies de *Glomus* “*lato sensu*” são favorecidas na faixa de 6 a 8 (Zhu *et al.*, 2007). O comportamento dos FMA na presença de metais pesados ou pesticidas no solo é semelhante ao do pH, uma vez que cada espécie apresenta uma faixa de tolerância aos diferentes tipos de substâncias presentes no solo. Todavia, estudos comprovam que isolados provenientes de ambientes contaminados são mais resistentes quando expostos ao mesmo tipo de situação (Tullio *et al.*, 2003; Malcová *et al.*, 2003).

Os FMA também são afetados pelo excesso ou escassez de nutrientes presentes no solo, principalmente o fósforo. Em geral, alta concentração de P disponível no solo restringe a colonização micorrízica, com queda na contribuição do fungo para absorção desse nutriente (Diniz, 2006) e consequente redução da densidade de FMA. Isso ocorre porque quando as plantas estão supridas de P, torna-se desnecessário desperdiçar energia investindo na associação. A alta oferta de N no solo também pode alterar a estrutura das comunidades micorrízicas, induzindo à predominância de espécies com esporos de pequenas dimensões, como os de *Glomus* ‘*lato sensu*’ (Berbara *et al.*, 2006).

Estudando áreas naturais de campos rupestres, no Brasil, de Carvalho *et al.* (2012) verificaram que a variável que está mais relacionada com a estrutura das comunidades de FMA é a textura do solo (teores de areia, silte e argila), em comparação com os atributos químicos do solo. No entanto, as propriedades físicas do solo podem ser alteradas devido ao manejo agrícola, que também pode modificar a dinâmica das espécies de FMA.

O tipo de cultivo também pode influenciar a diversidade de FMA. Práticas como cultivo mínimo, uso reduzido de agroquímicos e cultivo com leguminosas favorecem a diversidade de FMA; por outro lado, monocultivos prolongados ou culturas com espécies

não micotróficas (Amaranthaceae, Caryophyllaceae, Chenopodiaceae, Cyperaceae e Juncaceae) podem reduzir a densidade de propágulos infectivos de FMA no solo, bem como a diversidade (Siqueira *et al.*, 2002). De acordo com Abbott e Robson (1994) e Bever *et al.*, (1996), a cultura utilizada é o fator de maior influência na ocorrência e abundância relativa dos FMA nos solos agrícolas. Enquanto a monocultura contínua pode decrescer a população de FMA e mudar a composição de espécies da comunidade (Douds e Millner, 1999), a rotação de cultura é determinante para assegurar a abundância micorrízica (Abbott e Robson, 1994).

Portanto, distúrbios causados ao ambiente podem alterar a diversidade de FMA, selecionando os indivíduos com maior grau de adaptabilidade, e eliminando os menos capazes (Muleta *et al.*, 2008). Tais espécies, intituladas generalistas, ocorrem em praticamente todos os ambientes, e são consideradas mais agressivas e menos susceptíveis a mudanças (Oehl *et al.*, 2003). No entanto, embora sejam dominantes, essas espécies podem não ser as mais eficientes no aumento da absorção de P e da produtividade das culturas (Carrenho *et al.*, 2008).

A comunidade de FMA regula e é regulada pela comunidade vegetal, sendo a diversidade de ambas positivamente correlacionadas (van der Heijden *et al.*, 1996; 1998). Como resultado, a associação influencia a estrutura da paisagem, a produtividade primária e a diversidade vegetal, sendo o inverso também verdadeiro, com a planta influenciando a riqueza e a abundância de FMA. Essa relação ecológica deve-se à idade ancestral e ao longo período de co-evolução da simbiose micorrízica (Berbara *et al.*, 2006).

Diversos experimentos demonstram que as espécies de FMA diferem na capacidade de promover ou não o crescimento de determinada espécie vegetal (Silva *et al.*, 2008). O nível de benefício da associação micorrízica depende da combinação de espécies de FMA presentes no solo, dos genótipos dos simbiontes envolvidos e das combinações edafoclimáticas (Lovelock *et al.*, 2003). Ainda que seja evidente a importância ecológica desse grupo de micro-organismos, a compreensão do papel de cada espécie no ambiente ainda é relativamente limitada (Bever *et al.*, 2001).

Nesse contexto, entende-se a necessidade de ampliação do conhecimento sobre a dinâmica e ecologia dos FMA e dos atributos do solo que interferem na ocorrência e distribuição desses fungos. Com isso, seria possível a utilização mais inteligente do potencial da associação micorrízica, incrementando o desenvolvimento das plantas a partir

da seleção de isolados eficientes para aplicação em processos biotecnológicos de interesse agrícola e ambiental.

3. DIVERSIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM ÁREAS DE MATA ATLÂNTICA COM DIFERENTES USOS DO SOLO¹

Resumo

Diferentes usos da terra, como as práticas agrícolas, comprometem a viabilidade de remanescentes de Mata Atlântica e podem alterar a estrutura da comunidade biológica do solo. Dentre os micro-organismos do solo, destacam-se os que participam de associações simbióticas com raízes de plantas, como os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), que atuam na absorção de nutrientes, no controle biológico, contribuem para estruturação e agregação do solo e para a sustentabilidade dos ecossistemas terrestres. Para testar a hipótese de que a conversão de áreas nativas de Mata Atlântica em áreas cultivadas compromete a diversidade e a representatividade das espécies de FMA, o objetivo desse estudo foi determinar a diversidade de FMA em seis áreas: plantios de sapoti, seringueira, mogno, eucalipto e rotação de cultura, atualmente com mandioca, e área com vegetação nativa (Mata Atlântica), em Goiana-PE. Coletaram-se 96 amostras de solo rizosférico nas estações chuvosa (junho/2011) e seca (março/2012). Glomerosporos foram extraídos do solo, contabilizados e usados para identificação das espécies de FMA. Registraram-se 50 espécies, pertencentes a 15 gêneros; *Acaulospora* e *Glomus* predominaram, perfazendo 52% do total de espécies. O baixo valor encontrado na análise multivariada NMS (*non-metric multidimensional scaling*) (33,2%) indica que a composição da comunidade de FMA foi significativamente afetada pelos diferentes usos do solo, mais do que pelas características físico-químicas do solo. Os índices de diversidade, equitabilidade e riqueza foram mais elevados no ambiente com maior estresse (cultivos sucessivos), indicando que a simbiose micorrízica pode constituir uma estratégia de fungos e plantas para superar estresses bióticos e abióticos que ocorrem no solo. Confirma-se que os índices de diversidade, equitabilidade e riqueza tendem a ser menores nas comunidades estabelecidas nas rizosferas de plantas em ambiente clímax, como o de Mata Atlântica, do que nos dos cultivos.

Palavras-chave: Glomeromycota, Índices ecológicos, Espécie Indicadora, Práticas agrícolas.

¹ Artigo submetido para publicação como Pereira, C.M.R., Silva, D.K.A., Bezerra, A.C.F., Goto, B.T., Maia, L.C. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em áreas de mata atlântica com diferentes usos do solo na *Applied Soil Ecology*.

1. Introdução

A Mata Atlântica é um dos 25 *hotspots* mundiais de biodiversidade (Myers *et al.*, 2000), e contém maior diversidade de espécies que a maioria das formações florestais amazônicas (Morellato e Haddad, 2000). No Brasil, estende-se do Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul, apresentando diferentes formas de relevo, paisagens e características climáticas (Pinto e Brito, 2005). É considerada um dos dois biomas mais ameaçados da Terra, restando, hoje, cerca de 7% da cobertura vegetal original, com distribuição fragmentada nas regiões costeiras (Lagos e Muller, 2007). Um dos processos que levou à massiva destruição da floresta, em particular no nordeste do Brasil, foi o cultivo de extensas áreas e o intenso processo de urbanização, resultando em pequenos fragmentos de mata muito espaçados entre si (Reis *et al.*, 1999; Tabarelli *et al.*, 2005; Mesquita *et al.*, 2006).

Embora uma quantidade considerável de informações sobre a diversidade vegetal e animal esteja disponível, o mesmo não se aplica em relação aos micro-organismos presentes em solos de Mata Atlântica, e aos papéis funcionais que desempenham nesse bioma. Dentre esses organismos, os fungos micorrízicos arbusculares (FMA, Glomeromycota) formam simbiose mutualística com a maioria dos vegetais (Bonfante e Genre, 2010). Nessa relação, a planta fornece ao fungo energia para crescimento e manutenção via produtos fotossintéticos, enquanto o fungo provê água e nutrientes para a planta, principalmente fósforo (Smith e Read, 2008).

A conversão da vegetação natural em campos agrícolas desencadeia sérios danos aos solos, como a influência negativa no ciclo energético e biogeoquímico e a alteração na agregação das partículas, além de os tornarem expostos à radiação, erosão e lixiviação (Alvarenga *et al.*, 1999). Vista de uma forma mais ampla, a mudança da cobertura vegetal, apresenta consequências de proporção mundial, que referem-se aos impactos sobre a diversidade biológica, a degradação do solo, e a capacidade dos sistemas biológicos para apoiar as necessidades humanas (Lambin *et al.*, 2003).

Diferentes usos do solo como a prática agrícola podem alterar a estrutura da comunidade micorrízica do solo, afetando suas funções e, conseqüentemente, a sustentabilidade dos ecossistemas e por isso podem ser utilizados como indicadores da qualidade biológica do solo (Oehl *et al.*, 2004; Cordeiro *et al.*, 2005; Oehl *et al.*, 2010).

Devido à reconhecida importância ecológica e agrícola dos FMA, os estudos taxonômicos sobre o grupo têm se intensificado (Caruso *et al.*, 2012; van der Heijden *et*

al., 1996; Oehl *et al.*, 2011). Nesse contexto, o estudo da diversidade morfológica e funcional dos FMA em áreas de Mata Atlântica pode contribuir para ampliação do conhecimento sobre a distribuição desses fungos, além de fornecer informações úteis sobre o papel que desempenham na dinâmica edáfica.

Avaliar o impacto de mudanças na utilização do solo sobre a comunidade de FMA é importante para o seu manejo e para o entendimento dos efeitos causados por essa ação antrópica no ambiente, visando gerar subsídios para criação de estratégias de recuperação e/ou conservação da biodiversidade. Considerando que os FMA constituem um grupo funcional chave nos ecossistemas terrestres, mais estudos são necessários para avaliar qualitativamente a sua atuação no ambiente e conhecer o efeito das práticas de conversão de áreas naturais em cultivadas.

Nesse estudo foi determinada a diversidade de FMA em área de Mata Atlântica sob diferentes sistemas de usos do solo, testando as seguintes hipóteses: as práticas agrícolas afetam negativamente esses micro-organismos e os diferentes sistemas de uso do solo comprometem a diversidade e a representatividade das espécies de FMA na área estudada.

2. Material e métodos

2.1. Áreas de estudo

O estudo foi conduzido na Estação Experimental de Itapirema, Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, localizado no município de Goiana, Pernambuco, Brasil (07°38'20''S, 034°57'10''W, 13 m de altitude). O clima da região é do tipo Ams' (classificação de Köppen) - tropical chuvoso de monção com verão seco, com temperatura e precipitação média anual de 24 °C e 2000 mm, respectivamente. O solo da área é do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo. Seis áreas (Tabela 1) com diferentes coberturas vegetais foram selecionadas: plantios de sapoti (PSA), seringueira (PSE), mogno (PMO) e eucalipto (PEU), rotação de culturas com mandioca (RMA) e anteriormente com cana-de-açúcar e dendê, e área de referência, um fragmento de Mata Atlântica (MA).

2.2. Amostragem

Amostras de solo rizosférico (0-20 cm de profundidade) foram coletadas em junho de 2011 e março de 2012. Em cada uma das seis áreas delimitou-se 1000 m² para coleta de oito amostras (compostas de cinco sub-amostras, colhidas ao redor do hospedeiro vegetal

em pontos equidistantes), que foram acondicionadas em sacos plásticos e transportadas, em temperatura ambiente (30 °C), ao Laboratório de Micorrizas/UFPE (Tabela 1). O solo coletado foi dividido em porções destinadas à caracterização físico-química, montagem de culturas-armadilhas e avaliação da comunidade de FMA. A análise físico-química foi realizada na Estação Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina/Universidade Federal Rural de Pernambuco de acordo com Embrapa (1999), e indicou que os solos possuem baixo nível de fósforo e de matéria orgânica (Tabela 2).

Tabela 1. Caracterização das áreas de coleta

Área	Características	Tempo de estabelecimento	Espécie vegetal	Adubação	Calagem	Intensidade de uso
Mata Atlântica (MA)	Remanescente de Mata Atlântica com cerca de 200 ha. Vegetação do tipo Floresta Ombrófila Densa	Desconhecido	120 espécies arbóreas	não	Não	Baixa
Plantio de Sapoti (PSA)	Área de 2 ha abandonada, com presença de gramíneas	50 anos	<i>Manilkara zapota</i> Forsberg	NPK*	Calcário	Média
Plantio de Seringueira (PSE)	Área de 1 ha antecedida por pastagem	32 anos	<i>Hevea brasiliensis</i> Muell. Arg.,	NPK*	Calcário	Média
Plantio de Mogno (PMO)	Área de 2 ha antecedida por Mata Atlântica	9 anos	<i>Swietenia macrophylla</i> King	NPK*	Calcário	Baixa
Plantio de Eucalipto (PEU)	Área de 2 ha antecedida por Mata Atlântica	8 anos	<i>Eucalyptus</i> spp.	NPK*	Calcário	Baixa
Rotação de cultura com Mandioca (RMA)	Área de 2 ha antecedida por cana de açúcar (<i>Saccharum</i> sp.) e dendê (<i>Elaeis guineenses</i> Jacq)	8 meses	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	NPK*	Calcário	Alta

* N= 90 Kg ha⁻¹ de sulfato de amônio; P = 90 Kg ha⁻¹ de superfosfato simples; K = 60 Kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (Adição no momento do plantio das mudas).

Tabela 2. Caracterização físico-química do solo em áreas de Mata Atlântica (MA) e plantios de sapoti (PSA), seringueira (PSE), mogno (PMO), eucalipto (PEU) e rotação de cultura com mandioca (RMA), na Estação Experimental de Itapirema – IPA, Goiana, Pernambuco.

Atributos químicos do solo	MA	PSA	PSE	PMO	PEU	RMA
pH (H ₂ O)	5,17	5,31	5,56	5,90	6,05	5,71
P (mg/dm ³)	3,30	10,10	21,10	8,50	8,80	13,20
Fe (mg/dm ³)	130,90	113,70	104,60	75,90	132,10	114,40
Cu (mg/dm ³)	0,44	1,25	4,09	0,22	0,03	2,56
Zn (mg/dm ³)	1,71	1,81	2,03	2,14	2,33	2,62
Mn (mg/dm ³)	1,48	4,28	4,45	3,31	6,25	6,93
K (cmolc/dm ³)	0,06	0,11	0,08	0,05	0,05	0,05
Na (cmolc/dm ³)	0,05	0,05	0,03	0,04	0,04	0,03
Al (cmolc/dm ³)	0,20	0,07	0,10	0,30	0,00	0,00
Ca (cmolc/dm ³)	1,00	1,45	1,11	1,49	2,20	2,39
Mg (cmolc/dm ³)	0,30	0,36	0,30	0,31	0,56	0,57
H (cmolc/dm ³)	2,06	2,59	1,85	2,30	2,26	1,39
S.B. (cmolc/dm ³)	1,40	1,97	1,53	1,90	2,86	3,05
CTC (cmolc/dm ³)	3,66	4,59	3,45	4,35	5,12	4,44
V (%)	38,30	42,20	44,20	42,60	55,30	68,70
C (%)	0,90	1,05	0,78	0,93	1,08	0,93

H= Acidez ativa; S.B. = Soma de bases; CTC= Capacidade de troca de cátions; V= Saturação por bases.

2.3. Análises dos glomerosporos

Glomerosporos foram extraídos de 50g de solo de cada amostra pelos métodos de decantação e peneiramento úmido (Gerdemann e Nicolson, 1963), seguidos por centrifugação em água e sacarose (Jenkins, 1964) e quantificados em placa canaletada, com auxílio de estereomicroscópio (40x). Para auxiliar a análise taxonômica, foram montadas culturas armadilhas com o solo coletado em campo, em potes plásticos de 2 L com painço (*Panicum miliaceum* L.), milho (*Zea mays* L.) e girassol (*Helianthus annuus* L.) como hospedeiros. As culturas armadilhas foram mantidas em casa de vegetação durante três ciclos de multiplicação (cada um de quatro meses). Ao final de cada ciclo, alíquotas de 50 g do solo foram coletadas para extração de glomerosporos e identificação. Para o estudo taxonômico, após contagem, os glomerosporos foram montados em lâminas para microscopia com PVLG (álcool-polivinílico e lactoglicerol) e PVLG + reagente de Melzer (1:1, v/v). A identificação das espécies foi realizada com auxílio de bibliografia específica (Schenck e Pérez, 1990), publicações com descrições de novas espécies e consulta ao banco de dados da International Culture Collection of Arbuscular Mycorrhizal Fungi – INVAM (<http://invam.caf.wvu.edu>) e do Department of Plant Pathology,

University of Agriculture in Szczecin, Poland (<http://www.agro.ar.szczecin.pl/~jblaszkowski/>).

2.4. Análises da diversidade de FMA

As comunidades de FMA foram avaliadas em termos quantitativos e qualitativos a partir de dados populacionais (frequência de ocorrência e distribuição) e a estrutura analisada por meio de índices ecológicos (riqueza e diversidade). A frequência de ocorrência (FO) das espécies foi estimada segundo a equação: $F_i = J_i/k$, onde F_i = frequência de ocorrência da espécie i ; J_i = número de amostras nas quais a espécie i ocorreu; e k = número total de amostras de solo. As espécies foram classificadas em: dominantes ($FO > 0,50$), muito comuns (FO entre 0,31 e 0,50), comuns (FO entre 0,10 e 0,30) e raras ($FO < 0,10$) (Zhang *et al.*, 2004). As espécies também foram classificadas como generalistas (presentes nas seis áreas), intermediárias (presentes em duas até cinco áreas) ou exclusivas (presentes em uma área) (Stürmer e Siqueira, 2011). A riqueza de espécies foi avaliada como a relação entre o número de espécies observadas e o tamanho da amostra e o número estimado de espécies foi calculado utilizando-se o índice de Jackknife de primeira ordem (Jackknife1). Para o cálculo da diversidade nas áreas de estudo foi utilizado o índice de Shannon na base logarítmica $H' = -\sum (p_i) \times (\log_2 p_i)$, onde p_i = número de glomerosporos de cada espécie/total de glomerosporos. A equitabilidade das espécies foi calculada empregando-se o índice de Pielou (I) pela fórmula $I = H' / \log S$, onde H' = valor obtido pelo índice de Shannon e S = número total de espécies de FMA presentes na amostra. Também foi calculado o índice de dominância de Simpson (C), de acordo com a fórmula $C = \sum (n_i (n_i - 1) / (N(N - 1)))$ onde n_i = a abundância da espécie i e N = abundância total. A similaridade entre as comunidades de FMA foi avaliada pelo índice de Sørensen, com a fórmula $S = (2c / (a + b)) \times 100$, em que c = número de espécies comuns às duas áreas, a = número de espécies na área 1, b = número de espécies na área 2 (Brower *et al.*, 1990).

2.5. Análises estatísticas

Para avaliação do impacto de mudanças na utilização do solo sobre a comunidade dos FMA, o método de ordenação multivariada NMS (*non-metric multidimensional scaling*) com distância de Sørensen foi empregado para explorar a relação entre as propriedades do solo e a distribuição dos FMA. A análise de espécie indicadora foi randomizada com o teste Monte Carlo para determinar qual espécie de FMA foi sensível

ao uso do solo. O valor de indicação (VI) e a significância (P) são produtos da abundância relativa e da frequência de ocorrência das espécies em cada área (Dufrene e Legendre, 1997). Os valores adotados nesse trabalho para considerar uma espécie indicadora foram $VI > 50$ e $p < 0.001$. As análises de NMS e agrupamento, e os cálculos dos índices ecológicos e das espécies indicadoras foram realizados com auxílio do programa PC-ORD versão 5.0 (McCune e Mefford, 2006) e a curva de acumulação de espécies calculada pelo programa primer 6.0 (Clarke e Gorley, 2006).

3. Resultados

3.1. Composição das comunidades de FMA

Considerando os dois períodos de coleta e as seis áreas estudadas, foram identificados 50 táxons (Tabela 3), pertencentes a quinze gêneros e onze famílias de Glomeromycota (Acaulosporaceae, Archaeosporaceae, Ambisporaceae, Claroideoglomeraceae, Dentiscutataceae, Gigasporaceae, Glomeraceae, Intraornatosporaceae, Pacisporaceae, Racocetraceae, Scutellosporaceae). Trinta e quatro espécies foram registradas no período chuvoso e 40 no seco; a semelhança das comunidades de FMA entre os períodos foi de 67,5%. O maior número de espécies identificadas pertence aos gêneros *Acaulospora* e *Glomus*, com onze e nove espécies, respectivamente, seguido por *Gigaspora* e *Racocetra*, com quatro espécies cada. *Ambispora*, *Cetraspora* e *Fuscutata* foram representadas por duas espécies cada, enquanto *Archaeospora*, *Claroideoglossum*, *Funneliformis*, *Orbispora*, *Pacispora*, *Paradentiscutata*, *Scutellospora* e *Simiglossum* foram representados por apenas uma espécie. A representatividade dos gêneros correspondeu a: 26,2% de *Acaulospora*, 21,4% de *Glomus*, 9,5% de *Gigaspora*, 9,5% de *Racocetra*, 4,8% de *Ambispora*, 4,8% de *Cetraspora*, 4,8% de *Fuscutata* e 2,4% dos demais gêneros.

Do total de táxons, 43 (86%) foram identificados em nível específico e sete (14%) apenas em nível de gênero (Tabela 3), sendo prováveis espécies novas para a ciência, considerando que as características não se assemelharam às de nenhuma outra espécie de FMA descrita até o momento. Quatro espécies (8%), encontradas em todas as áreas, foram classificadas como generalistas: *Acaulospora foveata*, *A. scrobiculata*, *Gigaspora decipiens* e *Glomus macrocarpum*. Vinte e sete espécies foram consideradas intermediárias (54%) e 19 exclusivas (38%). O maior número de espécies exclusivas ocorreu na área de rotação de cultura com mandioca (10 espécies) e de Mata Atlântica (5 espécies) (Tabela 4).

As áreas submetidas a algum tipo de prática agrícola apresentaram maior número de glomerosporos do que a área de referência, com exceção do plantio de eucalipto (Figura 1).

Apenas três espécies tiveram diferenças consistentes quanto à presença nas duas estações (Tabela 3). Esporos de *Acaulospora foveata* e *Ambispora appendicula* foram mais abundantes e frequentes no período chuvoso, enquanto os de *Acaulospora morrowiae* foram muito comuns no período seco. Em relação à frequência de ocorrência, espécies de *Acaulospora*, *Glomus*, *Gigaspora* e/ou *Racocetra* foram dominantes em todas as áreas de cultivo; na área de Mata (MA) não se detectou nenhuma espécie dominante. A maioria das espécies foi encontrada em menos de 30% das amostras, apresentando-se de forma comum ou rara.

Com exceção de *Glomus macrocarpum*, as demais espécies esporocárpicas (*Glomus brohultii*, *G. coremioides*, *G. glomerulatum*, *G. sinuosum*, *G. taiwanense* e *G. sp. 2*) não ocorreram na área com rotação de cultura (Tabela 4). Cinco espécies foram consideradas indicadoras de uma das áreas: *Cetraspora gilmorei* (VI = 50,0) e *Orbispora pernambucana* (VI = 62,5) foram indicadoras da área de Mata Atlântica, *Gigaspora sp.1* (VI = 68,3) e *Racocetra tropicana* (VI = 56,2) da área de rotação de cultura com mandioca, e *Glomus sp. 2* (VI = 75,0) do plantio de mogno (Tabela 4).

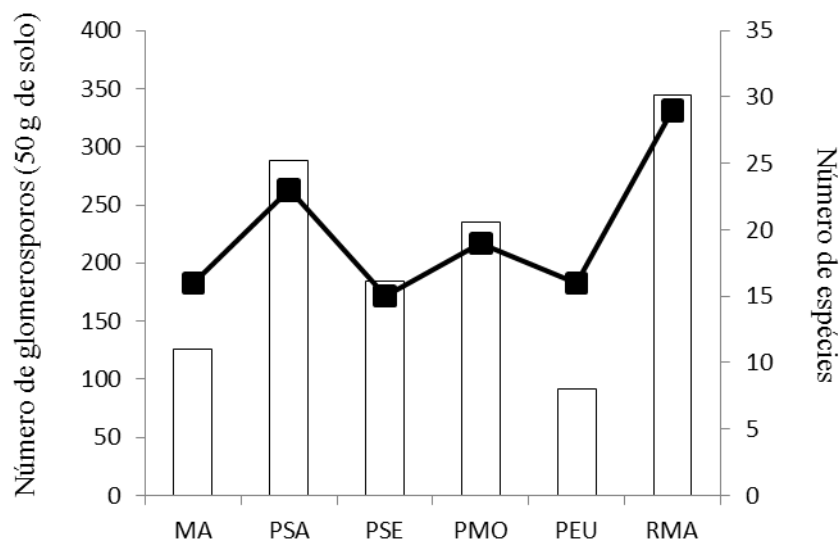


Figura 1. Número de glomerosporos (barras) e riqueza de espécies (linha) de FMA em áreas de Mata Atlântica (MA) e plantios de sapoti (PSA), seringueira (PSE), mogno (PMO), eucalipto (PEU) e rotação de cultura com mandioca (RMA), na Estação Experimental de Itapirema – IPA, Goiana, Pernambuco.

Tabela 3. Densidade relativa e frequência de FMA durante as estações seca e chuvosa, nas áreas de Mata Atlântica e plantios de sapoti, seringueira, mogno, eucalipto e rotação de cultura com mandioca, na Estação Experimental de Itapirema – IPA, Goiana, Pernambuco.

Espécies de FMA	Densidade relativa		Frequência	
	Período	Período	Período	Período
	chuvoso	seco	chuvoso	seco
------(%)-----				
Acaulosporaceae				
<i>Acaulospora elegans</i> Trappe & Gerd.	1,54	0,41	2,22	2,13
<i>A. excavata</i> Ingleby & C. Walker	5,95	3,13	31,11	23,40
<i>A. foveata</i> Trappe & Janos	6,33	0,82	42,22	8,51
<i>A. longula</i> Spain & N.C. Schenck	0,19	-	2,22	-
<i>A. mellea</i> Spain & N.C. Schenck	4,61	14,42	15,56	25,53
<i>A. morrowiae</i> Spain & Schenck	-	6,53	-	21,28
<i>A. scrobiculata</i> Trappe	3,45	5,44	17,78	36,17
<i>A. spinosa</i> Walker & Trappe	0,38	0,27	2,22	2,13
<i>A. tuberculata</i> Janos & Trappe	1,34	-	11,11	-
<i>A. sp.1</i>	2,88	3,40	13,33	14,89
<i>A. sp.2</i>	-	2,18	-	14,89
<i>A. sp. 3</i>	0,58	-	2,22	-
<i>A. sp. 4</i>	-	0,14	-	2,13
Archaeosporaceae				
<i>Archaeospora trappei</i> Ames & Linderman	-	0,14	-	2,13
Ambisporaceae				
<i>Ambispora apendicula</i> Spain, Oehl & Sieverd	10,36	0,14	35,56	2,13
<i>A. gerdermanii</i> (S.L. Rose, B.A. Daniels & Trappe) J.B. Morton & D. Redecker	0,38	-	4,44	-
Entrophosporaceae				
<i>C. etunicatum</i> (W.N. Becker & Gerd.) C. Walker & A. Schüssler	0,19	-	2,22	-
Dentiscutataceae				
<i>Dentiscutata cerradensis</i> Spain & J. Miranda	0,58	0,54	2,22	8,51
<i>Fuscutata aurea</i> Oehl, C.M. Mello & G.A. Silva	4,80	0,95	11,11	2,13
<i>F. heterogama</i> Oehl, F.A. Souza, L.C. Maia & Sieverd.	0,96	0,95	2,22	4,26
Gigasporaceae				
<i>Gigaspora decipiens</i> Hall & Abbott	5,37	1,63	20,00	8,51
<i>G. gigantea</i> Gerd. & Trappe	14,40	2,31	51,11	21,28
<i>G. margarita</i> Becker & Hall	3,65	1,22	20,00	8,51
<i>G. sp.1</i>	-	4,35	-	14,89
Glomeraceae				
<i>Funneliformis mosseae</i> (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & A. Schüssler	0,38	-	4,44	-
<i>Glomus agregatum</i> N.C. Schenck & G.S. Sm.	-	2,45	-	4,26
<i>G. ambisporum</i> G.S. Sm. & N.C. Schenck	0,19	-	2,22	-
<i>G. brohultii</i> Herrera, Sieverding & Ferrer	-	0,54	-	2,13
<i>G. clarum</i> T.H. Nicolson & N.C. Schenck	-	0,14	-	2,13
<i>G. coremioides</i> (Berk. & Broome) D. Redecker & J.B. Morton	2,11	0,41	8,89	6,38
<i>G. glomerulatum</i> Sieverding	0,58	8,51	4,44	8,51
<i>G. macrocarpum</i> Tul. & C. Tul.	-	-	-	-

Continuação da Tabela 3

<i>G. sinuosum</i> (Gerd. & Bakshi) Almeida & Schenck	0,58	0,54	2,22	4,26
<i>G. taiwanense</i> (Wu & Chen) Almeida & Schenck	1,15	2,45	2,22	14,89
<i>G. tortuosum</i> N.C. Schenck & G.S. Sm.	-	0,27	-	2,13
<i>G. trufemii</i> B.T. Goto, G.A. Silva & Oehl	0,38	14,29	2,22	10,64
<i>G. sp.1</i>	-	0,82	-	6,38
<i>G. sp. 2</i>	-	2,18	-	12,77
<i>Simiglomus hoi</i> (S.M. Berch & Trappe) G.A. Silva, Oehl & Sieverd.	-	0,27	-	2,13
Intraornatosporaceae				
<i>Paradentiscutata marítima</i> B.T. Goto, D.K. Silva, Oehl & G.A. Silva	1,54	-	6,67	-
Pacisporaceae				
<i>Pacispora boliviana</i> Sieverd. & Oehl	0,96	0,68	2,22	6,38
Racocetraceae				
<i>Cetraspora gilmorei</i> (Trappe & Gerd.) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.	-	1,22	-	8,51
<i>C. pellucida</i> (T.H. Nicolson & N.C. Schenck) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.	0,19	0,14	2,22	2,13
<i>Racocetra alborosea</i> (Ferrer & R.A. Herrera) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.	-	0,14	-	2,13
<i>R. coralloidea</i> (Trappe, Gerd. & I. Ho) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.	2,50	0,82	6,67	6,38
<i>R. fulgida</i> (Koske & C. Walker) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.	2,11	0,27	8,89	2,13
<i>R. tropicana</i> Oehl, B.T.Goto & G.A.Silva	17,27	13,88	22,22	25,53
<i>R. weresubiae</i> (Koske & C. Walker) Oehl, F.A. Souza & Sieverd	-	0,14	-	2,13
Scutellosporaceae				
<i>Orbispora pernambucana</i> Oehl, D.K. Silva, N. Freitas & L.C. Maia	1,54	8,30	6,67	6,38
<i>Scutellospora aurigloba</i> C. Walker & F.E. Sanders	0,58	-	6,67	-

2.2. Diversidade

A área com rotação de cultura com mandioca (RMA) teve o maior número de espécies identificadas, com 30 táxons (Tabela 3), seguida pelas áreas de plantio de sapoti (24), mogno (19), Mata Atlântica (17), plantio de seringueira (16) e de eucalipto (16) (Figura 1). De acordo com o estimador de riqueza Jackknife de primeira ordem, o número esperado de espécies era de 42 na área com rotação de cultura, 32 no plantio de sapoti, 28 no de mogno, 25 na Mata Atlântica, 21 no plantio de seringueira e 24 no de eucalipto (Figura 2). O esforço amostral deste estudo foi suficiente para recuperar de 70 a 77% das espécies de FMA presentes nas áreas.

O índice de diversidade de Shannon foi maior na área da rotação de cultura ($H' = 2,533$) que nas demais áreas. O índice de Margalef seguiu a mesma tendência de H' , com exceção de área de plantio de seringueira. O índice de dominância de Simpson variou de 0,13 na rotação de cultura a 0,31 na Mata Atlântica. Os valores de equitabilidade foram altos para todas as áreas, variando de 0,66 na Mata Atlântica a 0,86 na área com rotação de cultura (Tabela 5). A ordenação multivariada NMS revelou baixa relação entre as propriedades físico-químicas do solo e a composição da comunidade de FMA, uma vez que a proporção de explicação da variância nos dois eixos foi baixa. Os eixos da ordenação explicaram apenas cerca de 30% da variação dos dados, com o eixo 1 explicando 16,8% da variação correlacionando-se negativamente com Fe, Al e positivamente com Zn, Mn, pH, Ca, Mg, S.B., CTC, V, C, MO, Areia total e silte, enquanto o eixo 2 explicou 16,4% da variação e apresentou correlação negativa com Cu, Mn, P, K e correlação positiva com Ca, Mg e CTC (Tabela 6).

Tabela 4. Frequência de ocorrência das espécies de FMA em áreas de Mata Atlântica (MA) e plantios de sapoti (PSA), seringueira (PSE), mogno (PMO), eucalipto (PEU) e rotação de cultura com mandioca (RMA), na Estação Experimental de Itapirema – IPA, Goiana, Pernambuco.

Espécies de FMA	Frequência de ocorrência						Espécie Indicadora		
	MA	PSA	PSE	PMO	PEU	RMA	Área	Valor de indicação	P
Acaulosporaceae									
<i>Acaulospora elegans</i> Trappe & Gerd.	-	R	-	R	-	-	PMO	9.1	1.0
<i>A. excavata</i> Ingleby & C. Walker	-	R	D	C	R	D	PSE	35.6	0.01
<i>A. foveata</i> Trappe & Janos	R	MC	MC	R	R	MC	PSA	31.2	0.01
<i>A. longula</i> Spain & N.C. Schenck	-	-	-	-	-	R	RMA	12.5	1.0
<i>A. mellea</i> Spain & N.C. Schenck	R	MC	MC	-	R	MC	PSE	28.3	0.1
<i>A. morrowiae</i> Spain & N.C. Schenck	-	C	C	-	C	C	PEU	22.7	0.1
<i>A. scrobiculata</i> Trappe	R	C	MC	MC	C	D	RMA	32.2	0.02
<i>A. spinosa</i> Walker & Trappe	-	R	-	-	-	R	RMA	12.5	1.0
<i>A. tuberculata</i> Janos & Trappe	-	R	R	-	-	C	RMA	21.4	0.14
<i>Acaulospora</i> sp.1	-	C	D	-	-	-	PSA	21.7	0.13
<i>A.</i> sp.2	-	C	C	-	-	R	PSE	21.9	0.12
<i>A.</i> sp.3	-	-	-	-	-	R	RMA	12.5	1.0
<i>A.</i> sp. 4	-	-	-	-	-	R	RMA	12.5	1.0
Archaeosporaceae									
<i>Archaeospora trappei</i> Ames & Linderman	R	-	-	-	-	-	PSA	8.2	1.0
Ambisporaceae									
<i>Ambispora apendicula</i> Spain, Oehl & Sieverd	-	C	C	R	C	MC	RMA	40.9	0.01
<i>A. gerdermanii</i> (S.L. Rose, B.A. Daniels & Trappe) J.B. Morton & D. Redecker	-		R	-	R	-	PEU	12.5	1.0
Entrophosporaceae									
<i>C. etunicatum</i> (W.N. Becker & Gerd.) C. Walker & A. Schüßler	R	-	-	-	-	-	MA	12.5	1.0
Dentiscutataceae									
<i>Dentiscutata cerradensis</i> Spain & J. Miranda	-	-	-	C	R	-	PMO	9.4	1.0
<i>Fuscutata aurea</i> Oehl, C.M. Mello & G.A. Silva	-	C	-	-	-	C	PSA	20.7	0.1

Continuação da Tabela 4

<i>F. heterogama</i> Oehl, F.A. Souza, L.C. Maia & Sieverd.	-	-	-	-	-	C	RMA	23.7	0.07
Gigasporaceae									
<i>Gigaspora decipiens</i> Hall & Abbott	-	R	-	MC	C	C	RMA	33.3	0.04
<i>G. gigantea</i> Gerd. & Trappe	C	D	R	C	D	MC	RMA	38.5	0.01
<i>G. margarita</i> Becker & Hall	-	C	-	MC	-	C	PEU	27.6	0.07
<i>Gigaspora</i> sp.1	-	-	-	-	-	D	RMA	68.3	0.0003
Glomeraceae									
<i>Funneliformis mosseae</i> (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & A. Schüssler	R	-	-	R	-	-	MA	12.5	1.0
<i>Glomus agregatum</i> N.C. Schenck & G.S.Sm.	-	-	C	-	-	-	PSA	36.7	0.01
<i>G. ambisporum</i> G.S.Sm. & N.C. Schenck	-	-	-	-	-	R	RMA	12.5	1.0
<i>G. brohultii</i> Herrera, Sieverding & Ferrer	R	-	-	-	-	-	MA	12.5	1.0
<i>G. clarum</i> T.H. Nicolson & N.C. Schenck	-	R	-	-	-	-			
<i>G. coremioides</i> (Berk. & Broome) D. Redecker & J.B. Morton	MC	-	-	-	C	-	MA	23.1	0.1
<i>G. glomerulatum</i> Sieverding	C	-	C	R		-	PSA	34.4	0.01
<i>G. macrocarpum</i> Tul. & C. Tul.	MC	D	MC	D	D	C			
<i>G. sinuosum</i> (Gerd. & Bakshi) Almeida & Schenck	-	-	-	C	R	-	PMO	21.4	0.1
<i>G. taiwanense</i> (Wu & Chen) Almeida & Schenck	C	C	-	C	-	-	MA	5.0	1.0
<i>G. tortuosum</i> N.C. Schenck & G.S. Sm.	-	-	-	-	-	R	RMA	42.3	0.006
<i>G. trufemii</i> B.T. Goto, G.A. Silva & Oehl	-	C	R	C	R	C	PSE	9.5	1.0
<i>Glomus</i> sp.1	-	R	-	C	-	-	PMO	9.4	1.0
<i>Glomus</i> sp. 2	-	-	-	MC	-	-	PMO	75	0.0001
<i>Simiglomus hoi</i> (S.M. Berch & Trappe) G.A. Silva, Oehl & Sieverd.	-	-	-	-	-	R	RMA	12.5	1.0
Intraornatosporaceae									
<i>Paradentiscutata maritima</i> B.T. Goto, D.K. Silva, Oehl & G.A. Silva	-	-	-	-	-	C	RMA	37.5	0.01
Pacisporaceae									
<i>Pacispora boliviana</i> Sieverd. & Oehl	C	R	-	-	-	R	MA	10.0	0.5

Continuação da Tabela 4

Racocetraceae									
<i>Cetraspora gilmorei</i> (Trappe & Gerd.) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.	C	-	-	-	-	-	MA	50.0	0.001
<i>C. pellucida</i> T.H. Nicolson & N.C. Schenck) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.	-	-	R	-	R	-	RSE	12.5	1.0
<i>Racocetra alborosea</i> (Ferrer & R.A. Herrera) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.	-	R	-	-	-	-			
<i>R. coralloidea</i> (Trappe, Gerd. & I. Ho) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.	-	-	-	C	-	R	PMO	30.5	0.03
<i>R. fulgida</i> (Koske & C. Walker) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.	C	C	-	-	-	R	PSE	10.6	0.6
<i>R. tropicana</i> Oehl, B.T.Goto & G.A.Silva	-	C	-	MC	C	D	RMA	56.2	0.0009
<i>R. weresubiae</i> (Koske & C. Walker) Oehl, F.A. Souza & Sieverd	-	-	-	-	-	R	RMA	12.5	1.0
Scutellosporaceae									
<i>Orbispora pernambucana</i> Oehl, D.K. Silva, N. Freitas & L.C. Maia	MC	-	-	-	-	-	MA	62.5	0.0002
<i>Scutellospora aurigloba</i> C. Walker & F.E. Sanders	C	-	-	-	-	R	MA	16.7	0.4
TOTAL DE ESPÉCIES	17	24	16	19	16	30			

D = dominante, MC = muito comum, C = comum, R = rara, - = ausente.

4. Discussão

O número de espécies de FMA registradas neste estudo (50), incluindo a Mata, foi por vezes superior ao encontrado em outros ecossistemas naturais revertidos em áreas para agricultura. No Brasil, Alvarenga *et al.* (1999) mencionaram 10 espécies em área de Cerrado com pastagem e plantio de café, e Stürmer e Siqueira (2011) identificaram 61 espécies de FMA em plantios na Floresta Amazônica. No México, 39 espécies de FMA foram referidas em florestas tropical seca e temperada (Gavito *et al.*, 2008; Gonzalés-Cortez *et al.*, 2012), enquanto 37 espécies foram citadas em campos de altitude, na Europa central (Oehl *et al.*, 2004) e 12 espécies identificadas em floresta úmida do Quênia (Jefwa *et al.*, 2012), todas essas áreas alteradas por plantio de espécies agrícolas.

O conhecimento da diversidade de FMA em áreas de Mata Atlântica em diferentes estados de conservação e usos do solo mostra-se relevante como importante parâmetro biológico para a avaliação de distúrbios ambientais. Das 250 espécies de FMA descritas (Oehl *et al.*, 2012) no mundo, 119 já foram referidas para o Brasil, o que representa mais da metade de toda diversidade conhecida mundialmente (de Souza *et al.*, 2008); dessas, 78 foram registradas em áreas de Mata Atlântica (Zangaro e Moreira, 2010) e 79 em agrossistemas brasileiros (Carrenho *et al.*, 2010). No entanto, ainda são escassos os trabalhos relacionados a esse tema, principalmente os que investigam o impacto da conversão da vegetação natural em plantios.

De forma geral, espécies dos gêneros *Glomus* e *Acaulospora* são mais comuns tanto em ambientes naturais como manejados (Aidar *et al.*, 2004; Jefwa *et al.*, 2012; Oehl *et al.*, 2003). Isso é decorrente do maior número de espécies descritas para esses gêneros e da disseminação e adaptabilidade dessas espécies (Daniell *et al.*, 2001). Representantes de *Glomus* dominam principalmente em ambientes perturbados porque são melhor adaptadas, considerando que a alta taxa de esporulação permite a colonização primária de plantas desses ambientes, independentemente das condições climáticas (Caproni *et al.*, 2003). As espécies de *Acaulospora* apresentam melhor estabelecimento em solos com faixas de pH ácido (Sieverding, 1991), como o das regiões tropicais. Entretanto, algumas espécies de *Glomus* parecem ser afetadas pelo tipo de uso do solo, como as esporocárpicas (Tchabi *et al.*, 2008), visto que na área com maior intensidade de uso (rotação de cultura), a formação dessas estruturas foi praticamente nula. Tais espécies parecem pouco competitivas por não apresentarem agressividade na colonização de determinadas áreas, em decorrência da dormência prolongada dos esporos (Santos e Carrenho, 2011).

A frequência de ocorrência fornece alguns indícios de quão adaptada uma espécie está às várias condições ambientais e de solo (Stürmer e Siqueira, 2008). *Acaulospora foveata*, *A. scrobiculata* e *Glomus macrocarpum* já foram consideradas generalistas em estudos anteriores realizados em ambiente de Mata Atlântica e seus entornos (Trufem, 1990; 1994; Silva *et al.*, 2006). O predomínio dessas espécies em vários e diferentes ambientes indica alta plasticidade e elevada adaptação aos diferentes impactos de origem biótica ou abiótica (Zangaro e Moreira, 2010).

A presença de diferentes espécies vegetais, recorrentes ciclos de preparo e coleta no sistema com rotação de cultura (RMA) mantêm a área em constante desequilíbrio, induzindo os FMA a produção frequente de propágulos a fim de garantir sua sobrevivência (Carrenho *et al.*, 2010). Abbott e Gazey (1994) sugeriram que a intensidade do uso do solo modifica a composição das espécies de FMA, sendo a diversidade menor no caso de perturbações mínimas (Figura 1). A menor densidade de glomerosporos e riqueza de espécies de FMA na área de Mata (MA) pode ser consequência de sua maior estabilidade, com menor competição dos fungos por nichos, e prevalência de espécies com baixa esporulação e não pioneiras (espécies *k* estrategistas). Maior densidade de glomerosporos e riqueza de espécies igual ou superior nas demais áreas indica que a monocultura prolongada seleciona fungos de rápido crescimento e esporulação, com alta capacidade de adaptação (espécies *r* estrategistas), ocorrendo seleção para sobrevivência e não para eficiência no hospedeiro (Moreira e Siqueira, 2006). Ao mesmo tempo, o solo de Mata Atlântica possui caracteristicamente baixa fertilidade natural (Siqueira e Saggin-Junior, 2001), o que provoca elevada dependência de inúmeras espécies vegetais à associação micorrízica, como já demonstrado, por exemplo, em mandioca, mesmo com constantes adições de insumos químicos.

No presente trabalho, as curvas de acumulação de espécies não atingiram o ponto de estabilização (*plateau*), indicando que o esforço amostral não foi satisfatório para recuperar todas as espécies de FMA presentes nas áreas. Entretanto, o esforço amostral foi suficiente para acessar entre 70-77% das espécies estimadas para as áreas pelo índice de Jackknife 1. Em áreas naturais e manejadas da região amazônica, essas curvas também foram empregadas, e na maioria das áreas não se atingiu o *plateau* (Stürmer e Siqueira, 2010). Sabe-se que a riqueza total dos FMA por vezes é subestimada, pois muitas espécies podem estar presentes apenas na forma vegetativa, e as espécies são prioritariamente identificadas a partir dos glomerosporos (Bartz *et al.*, 2008). Considerando isso, sugerimos que novas coletas devem ser realizadas, bem como a utilização de culturas armadilha por

um período mais prolongado, possibilitando assim, a germinação de espécies não encontradas nas amostras de campo.

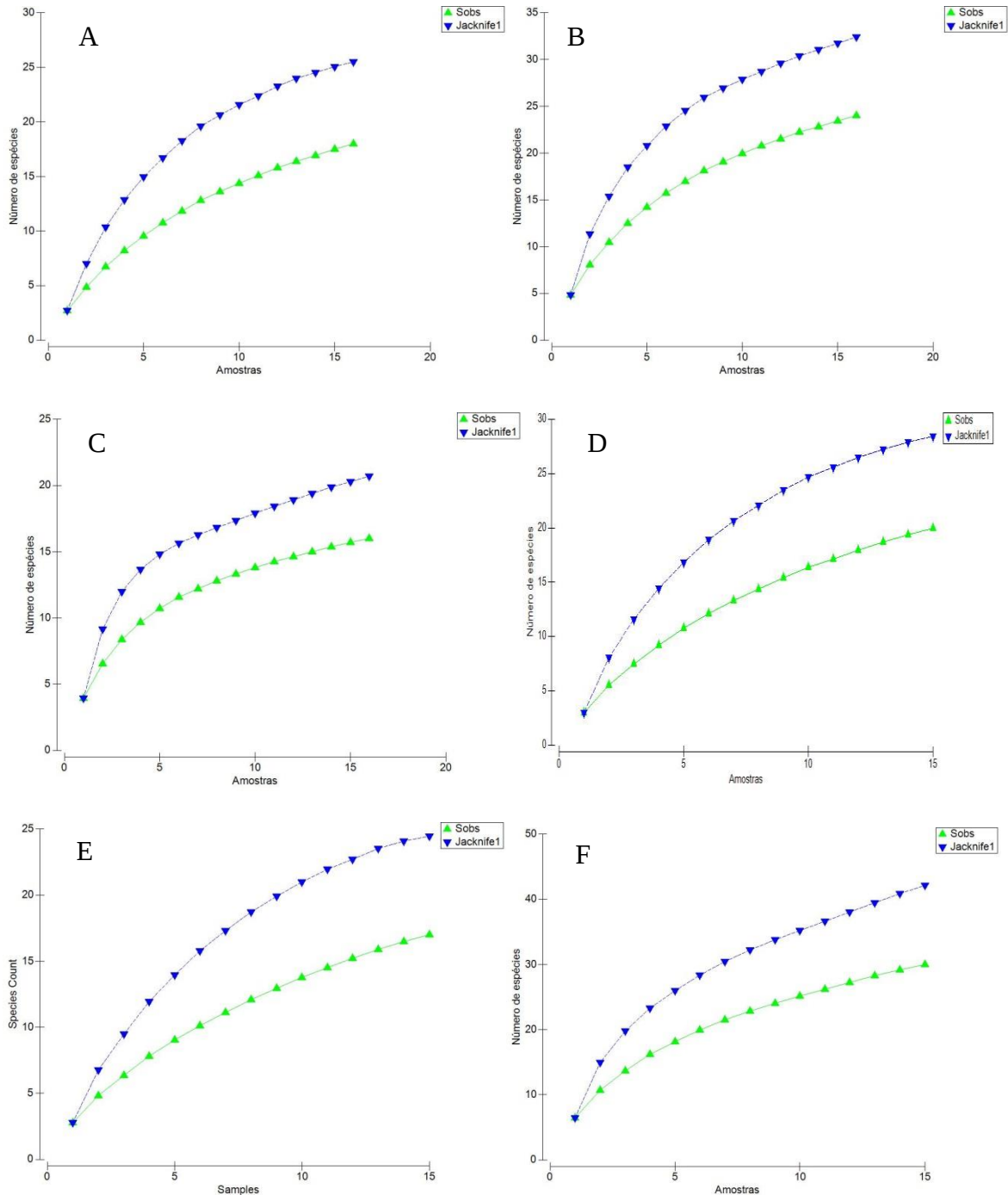


Figura 2. Curva de acumulação de espécies (Sobs) e estimativa de riqueza pelo índice Jackknife primeira ordem (Jackknife 1), nas áreas Mata Atlântica (A) e plantios de sapoti (B), seringueira (C), mogno (D), eucalipto (E) e rotação de cultura com mandioca (F).

No presente trabalho, independentemente das características físico-químicas do solo, a diversidade de espécies foi maior nas áreas cultivadas, sobretudo na área com

rotação de cultura, ou seja, com uso mais intenso do solo. A rotação de cultura é uma prática agrícola que envolve um pequeno período de solo sem cobertura, alta rotatividade de espécies vegetais e adição de fertilizantes com maior frequência, e esses fatores podem ter potencialmente contribuído para o aumento da diversidade de FMA (Hijri *et al.*, 2006).

O cálculo do índice de diversidade leva em consideração dois atributos importantes da comunidade: as espécies raras e a abundância relativa (Melo, 2008). O índice de Shannon, aqui utilizado, é um dos mais empregados nos estudos de comunidades de FMA (Jefwa *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2012; Stürmer *et al.*, 2012), pois atribui um peso maior às espécies raras, sendo considerado ideal para se estudar os efeitos das perturbações sofridas pelos ambientes, pois essas são as primeiras a sentirem os impactos (Caproni, 2003).

A substituição da Mata por cultivos agrícolas elevou a diversidade de FMA, como demonstrado também por Stürmer e Siqueira (2010), na região amazônica. Entretanto, apesar da área de Mata ter apresentado menor diversidade de FMA que as cultivadas, nela se registrou elevado número de espécies exclusivas (*Archaeospora trappei*, *Claroideoglomus etunicatum*, *Glomus brohultii*, *Cetraspora gilmorei* e *Orbispora pernambucana*) e duas espécies indicadoras (*C. gilmorei* e *O. pernambucana*), das cinco encontradas para todas as áreas. Portanto, essas evidências suportam a importância da conservação de áreas naturais, principalmente das ameaçadas de extinção, como a Mata Atlântica, para manter espécies encontradas apenas nesses ambientes.

Tabela 5. Índices de diversidade (Margalef e Shannon), equitabilidade (Pielou) e dominância (Simpson) de comunidades de FMA em áreas de Mata Atlântica (MA) e plantios de sapoti (PSA), seringueira (PSE), mogno (PMO), eucalipto (PEU) e rotação de cultura com mandioca (RMA), na Estação Experimental de Itapirema – IPA, Goiana, Pernambuco.

Áreas	MA	PSA	PSE	PMO	PEU	RMA
Índice Margalef (d)	3,102	3,885	2,685	3,297	3,317	4,794
Índice Shannon (H')	1,832	2,357	2,349	2,462	2,181	2,533
Equitabilidade de Pielou (J')	0,6606	0,7518	0,8673	0,8362	0,7866	0,7524
Dominância de Simpson (λ)	0,3185	0,1606	0,1244	0,1302	0,1614	0,134

A baixa relação entre as propriedades físico-químicas do solo e a composição da comunidade de FMA revelada pela análise multivariada também foi observada em outras áreas de florestas subtropicais e temperadas convertidas em áreas cultivadas (Alguacil *et al.*, 2008; González-Cortés *et al.*, 2012). A área transformada em campo agrícola com maior intensidade de uso alterou a comunidade de FMA, em relação à área de Mata (MA).

Ao considerar todas as áreas de estudo, a de Mata Atlântica compartilhou apenas 40% das espécies de FMA com as demais.

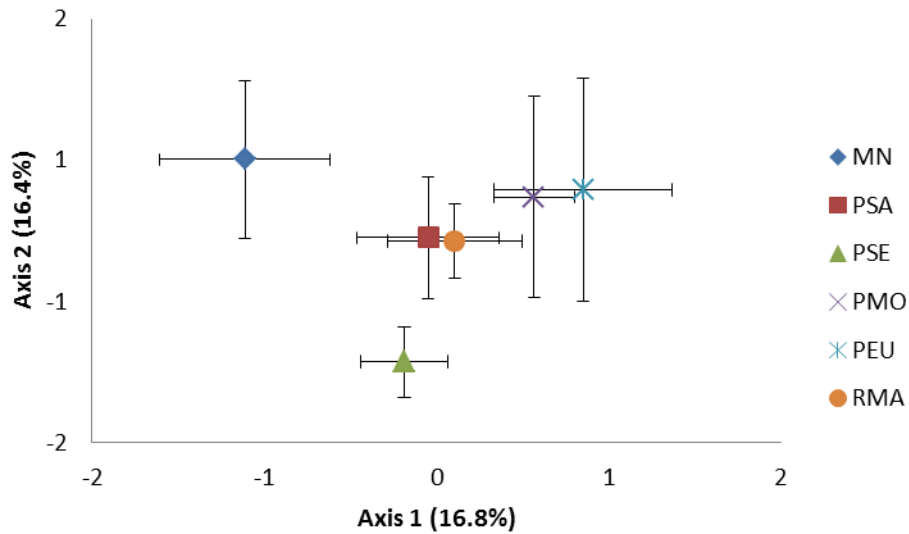


Figura 3. Análise de escalonamento multidimensional com base na comunidade de fungos micorrízicos arbusculares correlacionado com atributos químicos e físicos do solo em áreas de Mata Atlântica (MA) e plantios de sapoti (PSA), seringueira (PSE), mogno (PMO), eucalipto (PEU) e rotação de cultura com mandioca (RMA), na Estação Experimental de Itapirema – IPA, Goiana, Pernambuco.

Os resultados da ordenação multivariada NMS estão de acordo com aqueles obtidos a partir dos cálculos de similaridade (dados não mostrados), e sugerem que o uso do solo é mais importante do que as propriedades químico-físicas do solo na composição das comunidades de FMA. No entanto, foi possível verificar correlações significativas entre algumas variáveis do solo analisadas e os eixos da ordenação. Os teores de Fe e Al observados na área de Mata Atlântica, pode ter contribuído para a separação da área no eixo 1, enquanto as áreas cultivadas apresentaram aumento do pH e nos teores de Mn, Ca, Mg, areia, silte e MO, possivelmente devido aos tratos culturais a que foram submetidas e a adubação aplicada. Em relação ao eixo 2 da ordenação, os teores de Cu, Mn, P e K contribuíram para diferenciar as áreas cultivadas com maiores teores desses elementos (áreas PMO e PEU), enquanto CTC, Ca e Mg separaram o plantio de seringueira das demais áreas no eixo 2.

Tabela 6. Coeficiente de correlação das variáveis analisadas (matriz secundária) com os eixos 1 e 2 da ordenação do NMS.

Variáveis ^a	Coeficientes de correlação	
	NMS - Eixo 1	NMS - Eixo 2
Fe	-0,340**	0,022ns
Cu	0,012ns	-0,406**
Zn	0,399**	-0,006ns
Mn	0,440***	-0,243*
P	0,155ns	-0,556***
pH	0,699***	-0,004ns
K	0,133ns	-0,465***
Na	-0,150ns	-0,006ns
Al	-0,707***	0,051ns
Ca	0,679***	0,266*
Mg	0,500***	0,266*
H	-0,068ns	0,152ns
S.B.	0,686***	0,232ns
CTC	0,533***	0,303*
V	0,655***	0,083ns
C	0,271*	0,200ns
M.O.	0,271*	0,200ns
Areia total	0,283*	-0,079ns
Silte	0,416**	-0,041ns
Argila	-0,235ns	0,133ns

ns: Não significativa a 5% de probabilidade; * Significativa a 5% de probabilidade; ** Significativa a 1% de probabilidade; *** Significativa a 0,1% de probabilidade.

5. Conclusão

A comunidade de FMA nas áreas estudadas é mais influenciada pelo uso do solo do que pelas propriedades físico-químicas do solo. Confirma-se que os índices de diversidade, equitabilidade e riqueza tendem a ser menores nas comunidades estabelecidas nas rizosferas de plantas em ambiente clímax que em ambientes agrícolas. A conversão de área de Mata para plantio acarreta mudanças na composição de espécies de FMA, sem que isso represente, necessariamente, diminuição na riqueza específica e reforça a necessidade de conservação de áreas consideradas *Hotspots* de biodiversidade, como a Mata Atlântica.

4. ATIVIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM ÁREAS DE MATA ATLÂNTICA COM DIFERENTES USOS DO SOLO²

Resumo

O uso da terra influencia a microbiota edáfica, incluindo os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), simbioses que desempenham importante função na qualidade e manutenção da estrutura do solo. Para testar a hipótese de que diferentes sistemas de uso afetam geralmente diminuindo a atividade de FMA foi avaliada a produção de glomalina, o número de glomerosporos e de propágulos infectivos (NMP) de FMA, carbono orgânico e o nitrogênio do solo em área de Mata Atlântica, submetida a diferentes práticas agrícolas. Coletaram-se 96 amostras compostas (5 sub-amostras) no período chuvoso (junho de 2011) e seco (março de 2012) em fragmento de Mata (área de referência) e plantios de sapoti (*Manilkara achras* Forsberg), seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.), mogno (*Swietenia macrophylla* King), eucalipto (*Eucalyptus* spp.) e rotação de cultura com mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). As áreas com plantio de arbóreas apresentaram, em geral, maiores teores de proteína do solo relacionadas a Bradford, mais glomerosporos e propágulos infectivos de FMA que as áreas de Mata Atlântica e com cultivo de mandioca. Todavia, não foi observada correlação entre esses parâmetros. Correlação positiva ocorreu entre as frações de PSRB e o C do solo, indicando que a glomalina além de contribuir diretamente para a composição da matéria orgânica, é capaz de regulá-la. A análise multivariada NMS revelou que as porções facilmente extraível e total de PSRB sofreram variação temporal, com menor teor no período seco. A atividade dos FMA, maior no período chuvoso como refletido pelo número de propágulos infectivos de FMA e teores de PSRB, sugere que a atuação micorrízica é favorecida pela umidade do solo. A glomalina se mostrou um importante componente do C orgânico dos solos (natural e com cultivo) estudados. Áreas com cultivos perenes e pouco aradas em geral favorecem a atividade dos FMA, incluindo o acúmulo de glomalina, demonstrando que esses fungos podem ser persistentes no ambiente, não sendo negativamente afetados pelo cultivo, quando se compara à atividade em área preservada.

Palavras-chave: agricultura, FMA, glomalina, Glomeromycota.

² A ser submetido para publicação como Pereira, C.R.M., Silva, D.K.A., Santos, D.P., Nobre, C.P., Goto, B.T., Maia, L.C. Atividade de fungos micorrízicos arbusculares em áreas de mata atlântica sob diferentes usos do solo na *Acta Botanica Brasilica*.

Introdução

Desde o surgimento da agricultura, há quase 10.000 anos, a maior fonte de alimento dos seres humanos está baseada nos sistemas de cultivo. Atualmente, cerca de 12 % da superfície terrestre está sob alguma forma de plantio (Ramankutty *et al.*, 2002); entretanto, grande parte é inadequada para o cultivo, devido às condições climáticas, características de solo ou topografia adversas. Como forma de superar essas limitações, muitos produtores utilizam de forma inadequada os recursos finitos existentes no meio ambiente, visando ganhos econômicos em curto prazo, o que acarreta alto custo de degradação ambiental. A Mata Atlântica, bioma reconhecido como de alta diversidade biológica e alto grau de endemismo (Pinto e Brito, 2005), está entre os mais ameaçados. Nesse caso, a elevada fragmentação da floresta, em particular no Nordeste do Brasil, é devida ao cultivo de extensas áreas destinadas à produção agrícola (Reis *et al.*, 1999; Tabarelli *et al.*, 2005). Como resultado dessa exploração, restam menos de 100.000 km² (cerca de 7%) da cobertura vegetal original (Lagos e Muller, 2007).

As práticas agrícolas podem alterar a estrutura do solo e exercer efeitos negativos sobre microrganismos benéficos, comprometendo a sustentabilidade dos ecossistemas. Entre os microrganismos benéficos do solo encontram-se os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), grupo heterogêneo de táxons que vive em associação com mais de 90% das espécies de plantas (Bonfante e Genre, 2010). Os FMA são considerados importantes parâmetros na avaliação da qualidade do solo, pelos efeitos sobre a fisiologia da planta hospedeira, interações ecológicas, e contribuição na estruturação do solo, por meio da produção de glomalina (Rillig, 2004). Essa glicoproteína pouco solúvel está presente na parede celular de esporos e hifas de FMA, e possui propriedades cimentante e imunorreativa (Wright e Upadhyaya, 1998). A glomalina tem como principal função proteger e garantir o funcionamento da simbiose, pois aderida às hifas, previne a sua dessecação (Lovelock *et al.*, 2004; Wright, 2005). No estágio da senescência do fungo a glomalina é depositada no solo, sendo responsável por 3 a 5 % do carbono e nitrogênio totais do solo.

Ao estocar uma considerável quantidade de carbono na sua estrutura e como importante componente do C orgânico do solo a glomalina é considerada um fator de contribuição para o sequestro de carbono, uma vez que é relativamente estável no ambiente (Cornis, 2002). Estima-se que o período de permanência dessa glicoproteína no solo seja de 6 a 42 anos (Rillig *et al.*, 2001) e sua decomposição varia de acordo com as condições ambientais, tais como a disponibilidade de nutrientes no solo, que influencia a atividade

microbiana e o conteúdo de argila, proporcionando proteção física (Treseder e Turner, 2007). De acordo com Rillig (2004), existem duas denominações para a glomalina, que variam conforme os processos de extração e quantificação: PSRG (*'glomalin related soil-protein'* - proteínas do solo relacionadas à glomalina) quando quantificada por ELISA, e PSRB (*'Bradford related soil protein'* - proteínas do solo relacionadas a Bradford) quando quantificada pelo método de Bradford, tendo ambas porções facilmente extraíveis.

A estimativa da produção de glomalina no solo é dificultada pelo fato de não haver técnica específica para extração exclusiva dessa glicoproteína, mas os dados da análise, mesmo incluindo outras proteínas do solo, auxiliam os estudos da atividade de FMA. A correlação positiva entre os teores de glomalina e de C orgânico do solo em resposta a mudanças no tipo de uso do solo sugerem que essa glicoproteína pode ser utilizada como indicador de recuperação de ecossistemas (Rillig *et al.*, 2003).

Além da avaliação da glomalina e proteínas relacionadas, as estimativas da produção de glomerosporos e de propágulos infectivos são utilizadas para determinação da atividade de FMA no solo. Para testar a hipótese de que a conversão de área de Mata em cultivos influencia de forma diferenciada a atividade dos simbiontes micorrízicos arbusculares, foi investigada a atividade de FMA em áreas de Mata Atlântica com diferentes usos do solo, tomando como parâmetros a produção de glomalina, de glomerosporos e de propágulos infectivos.

Material e métodos

Área de estudos

O estudo foi realizado na Estação Experimental de Itapirema, do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, no município de Goiana, Pernambuco, Brasil (07°38'20''S, 34°57'10''W). O clima da região é do tipo Ams' (classificação de Köppen) - tropical chuvoso de monção com verão seco, temperatura e precipitação médias anuais de 24°C e 2000 mm, respectivamente, e solo do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo. A vegetação original é Mata Atlântica que vem sendo explorada durante décadas para produção de alguns tipos de alimentos (frutas e tubérculos), madeira e culturas, situação comum na região.

Nesse mosaico de vegetação, os seguintes ambientes foram selecionados: (MA) remanescente de Mata Atlântica – ecossistema em estágio avançado de sucessão que corresponde a um fragmento preservado, utilizado como referencial; (PSA) plantio de

sapoti (*Manilkara achras* Forsberg) com 50 anos; (PSE) plantio de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.,) com 32 anos; (PMO) plantio de mogno (*Swietenia macrophylla* King) com 9 anos; (PEU) plantio de eucalipto (*Eucalyptus* sp.) com 8 anos; (RMA) rotação de culturas com mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e antes plantada com cana de açúcar (*Saccharum* sp.) e dendê (*Elaeis guineenses* Jacq). Todas as áreas, com exceção da controle (MA) receberam adubação com NPK (90 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio; 90 kg ha⁻¹ de superfosfato simples; 60 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio) e correção de pH apenas na época de plantio. O remanescente de Mata Atlântica possui cerca de 200 ha e vegetação do tipo Floresta Ombrófila Densa, enquanto que os demais sistemas de uso do solo variam de 1 a 2 ha (Figura 1).

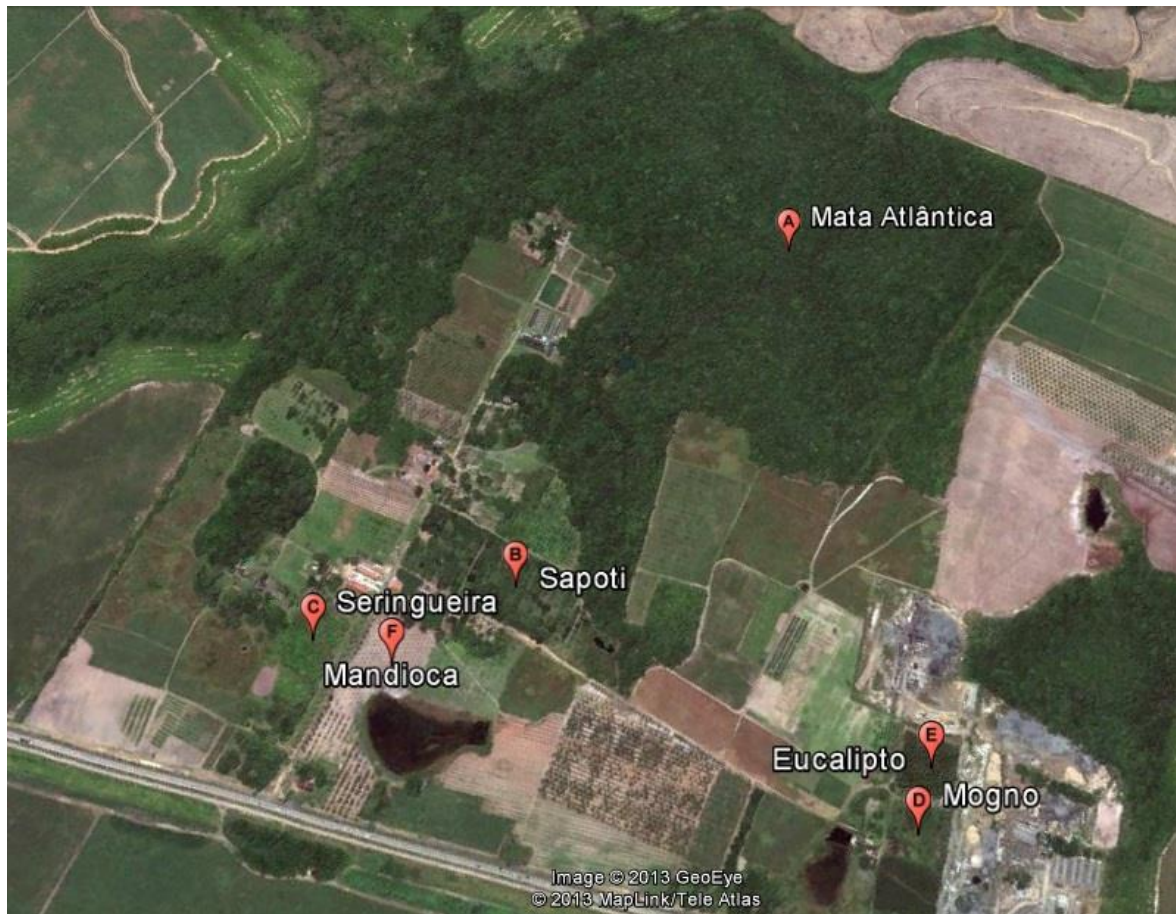


Figura 1. Estação Experimental de Itapirema do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA. Fonte: Google Earth.

Amostragem

Duas coletas de solo rizosférico (0-20 cm profundidade) foram realizadas, uma no meio do período chuvoso (junho de 2011) e outra no final do período seco (março de 2012). Em cada uma das seis áreas coletaram-se em cada ocasião, 8 amostras compostas (5

subamostras), perfazendo 48 amostras por coleta. As precipitações pluviométricas nos meses da coleta foram 288,8 mm em junho e de 72,4 mm em março (Figura 2). As amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos, e conduzidas ao laboratório; uma porção foi destinada à caracterização física e química do solo e o restante utilizado para as demais análises.

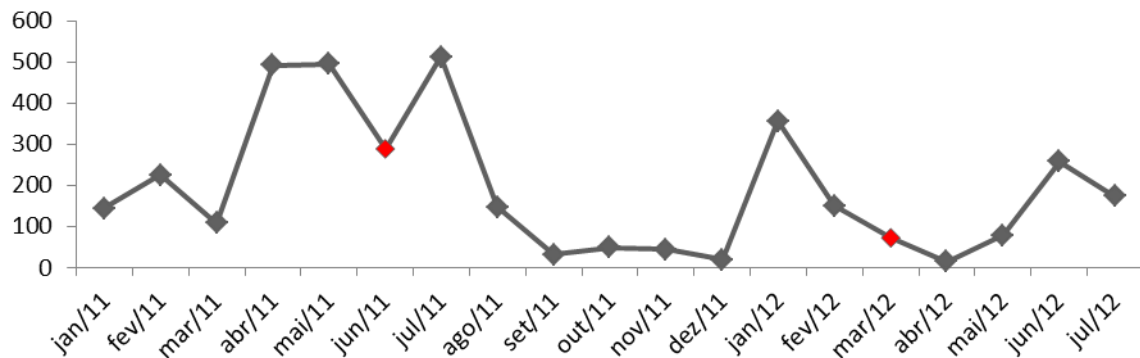


Figura 2. Índices pluviométricos (mm) mensais dos anos de 2011 e 2012 registrados em Goiana-PE. Fonte: AGRITEMPO.

Parâmetros avaliados

Proteínas do solo relacionadas a Bradford (PSRB)

A quantificação das proteínas do solo relacionadas a Bradford facilmente extraível (PSRB-FE) e total (PSRB) foi realizada segundo o método de Wright e Upadhyaya (1998). Para a quantificação da PSRB-FE foram utilizadas 0,25 g das amostras de solo. A extração foi feita com 2 mL de citrato de sódio (20 mM; pH 7,0) em autoclave durante 30 min a 121 °C. A PSRB foi extraída com citrato de sódio (50 mM; pH 8,0) ao longo de 3 ciclos de 1 hora em autoclave a 121 °C. Posteriormente, as amostras foram centrifugadas a 10.000 giros/min durante 5 min. As frações da FE-PSRB e PSRB foram quantificadas pelo método de Bradford (1976) em espectrofotômetro (595nm) tendo como curva-padrão soro albumina bovina (BSA). Os dados foram expressos em mg de glomalina g de solo⁻¹.

Propriedades químicas e físicas do solo

O teor de matéria orgânica do solo foi determinado através do C orgânico, (Cantarella *et al.*, 2001) e consiste na oxidação a CO₂ por íons de dicromato em meio fortemente ácido. Amostras de 0,5 g do solo foram incubadas com 10 mL de solução de dicromato de potássio e 20 mL de ácido sulfúrico concentrado. Após agitação manual por 1 min, houve pausa de 30 minutos para resfriamento. Foram adicionados 200 mL de água

destilada para filtração, e depois adicionados 10 mL de ácido fosfórico. A quantificação do carbono foi realizada pela titulação com sulfato ferroso amoniacal (0,167 mol L⁻¹) usando difenilamina 1% como indicador.

O teor de N nas amostras foi determinado pela metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995). Pesaram-se 0,5 g de solo moído e passado em peneira com malha de 50 em tubos de digestão, adicionaram-se 0,2 g da mistura catalítica, 1 mL de peróxido de hidrogênio concentrado (H₂O₂) e 2 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado. Os tubos foram levados ao bloco digestor até alcançar 375°C. O teor de N foi determinado por destilação de Kjeldahl utilizando hidróxido de sódio (NaOH) 10M.

A determinação do pH do solo foi feita com a mistura do solo com água destilada, (1:2,5 v/v), e a leitura em potenciômetro (Debosz *et al.*, 1999). A umidade do solo foi determinada gravimetricamente após secagem de 2 g de solo em estufa (105° C/24 h) (Embrapa, 1999).

As demais análises químico-físicas do solo foram realizadas na Estação Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina da Universidade Federal Rural de Pernambuco (Tabela 1), seguindo-se a metodologia da EMBRAPA (1999).

Determinação do Número mais provável (NMP) de propágulos infectivos de FMA

O número mais provável de propágulos infectivos de FMA foi estimado por bioensaio segundo o método de Feldmann e Idzack (1994). Para cada área foram preparadas quatro amostras compostas, uma íntegra não diluída e as demais diluídas nas proporções de 1:10, 1:100 e 1:1000 em areia lavada e esterilizada, com cinco repetições para cada nível de diluição. Esses substratos receberam sementes de milho desinfestadas e após 30 dias de cultivo as raízes foram colhidas, lavadas, diafanizadas com hidróxido de potássio 10% e coradas com azul de Trypan (Phillips e Hayman, 1970) e avaliadas com relação à presença de colonização. O número de propágulos foi estimado de acordo com a tabela de Cochran (1950).

Densidade de Glomerosporos

Glomerosporos foram extraídos de 50g de solo de cada amostra de solo pelos métodos de decantação e peneiramento úmido (Gerdemann e Nicolson, 1963), seguido por centrifugação em água e sacarose (Jenkins, 1964). Após a extração, os glomerosporos foram quantificados em placa canaletada, com auxílio de estereomicroscópio (40x).

Análise de dados

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Os valores de número de glomerosporos foram previamente transformados em $\log(x+1)$, seguindo o pressuposto de normalidade e homogeneidade de variância. A correlação simples de Pearson (r) foi utilizada para estimar a concordância entre os diferentes parâmetros.

Para avaliação do impacto de mudanças na utilização do solo e variações temporais sobre a abundância dos FMA e teor de glomalina, o método de ordenação multivariada NMS (*non-metric multidimensional scaling*) com distância de Sørensen foi empregado para explorar a relação dessas variáveis com as propriedades do solo. Os dados da ordenação final foram rotacionados juntamente com o *jointplot* (vetores da matriz secundária) e os escores utilizados para construção de gráfico. Após esse procedimento foi calculada a correlação com a matriz secundária para observar a correlação entre os atributos avaliados e as propriedades físicas e químicas do solo com os eixos da ordenação. A significância das correlações foi verificada em consulta à página do VassarStats (©Richard Lowry, 2001-2013, <http://vassarstats.net/rsig.html>). A análise de PERMANOVA foi realizada para verificar a diferença entre as áreas (comparação duas a duas).

Para as análises estatísticas univariadas foi utilizado o programa Statistica (Statsoft Inc., Tulsa, OK, USA, 1997) e para a multivariada o programa PC-ORD V4 (MjM Software, Gleneden Beach, OR, USA, 2006).

Tabela 1. Caracterização química do solo em áreas de Mata Atlântica (MA) e plantios de sapoti (PSA), seringueira (PSE), mogno (PMO), eucalipto (PEU) e rotação de cultura com mandioca (RMA), na Estação Experimental de Itapirema – IPA, Goiana, Pernambuco.

Atributos químicos do solo	MA	PSA	PSE	PMO	PEU	RMA
pH (H ₂ O)	5,17	5,31	5,56	5,90	6,05	5,71
P (mg/dm ³)	3,30	10,10	21,10	8,50	8,80	13,20
Fe (mg/dm ³)	130,90	113,70	104,60	75,90	132,10	114,40
Cu (mg/dm ³)	0,44	1,25	4,09	0,22	0,03	2,56
Zn (mg/dm ³)	1,71	1,81	2,03	2,14	2,33	2,62
Mn (mg/dm ³)	1,48	4,28	4,45	3,31	6,25	6,93
K (cmol _c /dm ³)	0,06	0,11	0,08	0,05	0,05	0,05
Na (cmol _c /dm ³)	0,05	0,05	0,03	0,04	0,04	0,03
Al (cmol _c /dm ³)	0,20	0,07	0,10	0,30	0,00	0,00
Ca (cmol _c /dm ³)	1,00	1,45	1,11	1,49	2,20	2,39
Mg (cmol _c /dm ³)	0,30	0,36	0,30	0,31	0,56	0,57
H (cmol _c /dm ³)	2,06	2,59	1,85	2,30	2,26	1,39
S.B. (cmol _c /dm ³)	1,40	1,97	1,53	1,90	2,86	3,05
CTC (cmol _c /dm ³)	3,66	4,59	3,45	4,35	5,12	4,44
V (%)	38,30	42,20	44,20	42,60	55,30	68,70
C (%)	0,90	1,05	0,78	0,93	1,08	0,93
Areia total	89,72	89,56	89,63	87,55	88,62	89,45
Silte	1,84	2,61	2,94	4,01	4,42	1,66
Argila	8,60	8,02	7,42	8,44	6,96	8,89

H= Acidez ativa; S.B. = Soma de bases; CTC= Capacidade de troca de cátions; V= Saturação por bases.

Resultados e discussão

A densidade de glomerosporos variou de 31 a 189 em 50 g de solo, e foi afetada pelo uso do solo (Tabela 2). Em geral, foi superior nas áreas com plantio de arbóreas ($p > 0,05$), com exceção da área com plantio de eucalipto, no período chuvoso, diferindo nas demais áreas (Tabela 2). A baixa densidade de FMA na área de eucalipto pode ser atribuída à idade avançada das plantas, pois a predominância da associação micorriza arbuscular ocorre geralmente nas fases iniciais de crescimento do eucalipto, sendo gradualmente substituída por associações ectomicorrízicas (Santos et al., 2001). A diferença na densidade de glomerosporos na área de Mata Atlântica usada como referência pode ser consequência da maior estabilidade do ecossistema, com horizontes superficiais mais protegidos contra perturbações bruscas, dando garantia de sobrevivência às espécies com baixa esporulação (Silva et al., 2006).

Tabela 2. Número de glomerosporos e número mais provável de propágulos infectivos (NMP) de FMA em áreas de Mata Atlântica (MA) e plantios de sapoti (PSA), seringueira (PSE), mogno (PMO), eucalipto (PEU) e rotação de cultura com mandioca (RMA), na Estação Experimental de Itapirema – IPA, Goiana, Pernambuco.

Áreas	Densidade de glomerosporos (50g solo ⁻¹)		NMP (propágulos cm ⁻³)	
	Período chuvoso	Período seco	Período chuvoso	Período seco
MA	68,25 bA	108,00 abA	13,0	7,8
PSA	188,80 aA	102,40 abA	7,8	4,5
PSE	165,90 aA	84,30 abcA	170,0	79,0
PMO	125,90 abA	151,60 aA	27,0	11,0
PEU	31,00 cB	64,10 bcA	13,0	7,8
RMA	79,40 bA	50,30 cA	79,0	11,0

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha (áreas) e maiúscula (períodos) na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Com exceção da área plantada com eucalipto, não houve diferença estatística na produção de glomerosporos entre as estações chuvosa e seca, que nas demais áreas (Tabela 2). Considerando que o estudo cobriu apenas um ano de observações não foi possível definir um padrão temporal em relação à esporulação de FMA. Os esporos podem permanecer no solo por longos períodos de tempo (Santos *et al.*, 2008), e diferentes espécies de FMA podem apresentar padrões diversos de esporulação.

O número mais provável de propágulos infectivos de FMA, nos períodos chuvoso e seco foi maior na área de plantio de seringueira (170 e 79 propágulos cm³ respectivamente) que as demais áreas (Tabela 2). O potencial de inóculo de um solo pode estar relacionado a fragmentos de raízes micorrizadas, micélio fúngico e número de glomerosporos presentes no ambiente, embora nem sempre exista uma correlação, entre o NMP e a densidade de glomerosporos. Apesar da quantidade de esporos no solo não refletir o valor real de sua infectividade, pode ser utilizado como indicador do nível populacional dos FMA (Souza *et al.*, 2003).

Em todas as áreas, o NMP de propágulos infectivos de FMA foi maior na estação chuvosa que na seca (Tabela 2). Vários trabalhos tem relatado que o número de propágulos infectivos foi maior na estação chuvosa, sugerindo que a atividade micorrízica é favorecida com a umidade (Picone, 2000; Lakshmi *et al.* 2012). As mudanças temporais no potencial infectivo de FMA são decorrentes da esporulação, e dos demais propágulos produzidos por esses fungos, como hifas e raízes colonizadas (Koske *et al.*, 2008). Danos naturais ou antrópicos no solo e/ou na vegetação afetam os propágulos micorrízicos, influenciando a capacidade infectiva dos FMA (Brundrett, 1991).

As frações de PSRB variaram em função do uso do solo (Tabela 3). De modo geral, as áreas com plantio de arbóreas, exceto de seringueira, apresentaram os maiores teores, contrastando com os baixos teores da área cultivada com mandioca, que tem o solo constantemente revolvido. As maiores quantidades de glomalina em áreas pouco manejadas podem ser consequência do papel ativo de FMA na produção e acúmulo dessa glicoproteína (Curaqueo *et al.*, 2011). Para o plantio agrícola anual, é necessário o revolvimento do solo, o que pode afetar a produção da proteína, pela fragmentação do micélio extra-radicular (Berbara *et al.*, 2006). As áreas com plantio de sapoti e com rotação de cultura apresentaram resultados similares à área controle nas análises de PSRB-FE e PSRB. Embora o revolvimento do solo possa afetar negativamente a produção de glomalina, a quantidade depositada é gradualmente recuperada na medida em que o solo é deixado em repouso por vários anos, como é o caso da área cultivada com sapoti (Fokom *et al.*, 2012).

Não houve correlação entre as frações de PSRB e a densidade de glomerosporos (Tabela 4). A produção de glomalina nem sempre está correlacionada com a abundância total de FMA no solo, e sim com as espécies presentes, pois os táxons variam quanto à quantidade de glomalina produzida. As espécies com desenvolvimento glomoide (*sensu lato*) tendem a investir menos na produção de hifas extra-radiculares e mais em hifas intra-radulares, e parecem destinar menos recursos para produção de glomalina, ao contrário das espécies de desenvolvimento acaulosporoide e gigasporoide (Treseder e Turner 2007). A área de plantio de seringueira apresentou os menores teores de PSRB, o que parece estar relacionado ao modo de desenvolvimento dos glomerosporos, principalmente acaulosporoide (Figura 3).

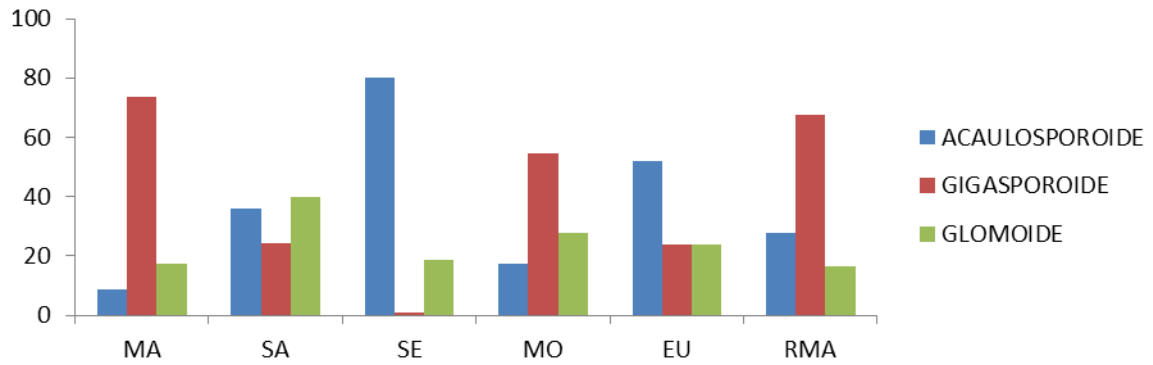


Figura 3. Tipo de formação dos glomerosporos (sensu lato) presentes em áreas de Mata Atlântica (MA) e plantios de sapoti (PSA), seringueira (PSE), mogno (PMO), eucalipto (PEU) e rotação de cultura com mandioca (RMA), na Estação Experimental de Itapirema – IPA, Goiana, Pernambuco.

Os vários regimes de uso do solo podem, por vezes, aumentar as concentrações de glomalina no solo, por meio de perturbação física ou mudanças na dinâmica vegetal (Treseder e Turner, 2007). Os valores de PSRB permaneceram relativamente constantes nas áreas submetidas a diversos usos do solo, com pouco efeito negativo observado sobre a distribuição e estabilidade desses compostos, uma vez que as quantidades nas áreas de cultivo não diferiram do encontrado na área de referência, fato também observado por Franzluebbbers *et al.* (2000).

Tabela 3. Proteínas do solo relacionadas à glomalina facilmente extraível (PSRB-FE) e total (PSRB), carbono orgânico (CO), nitrogênio (N) e umidade do solo (UMI) em áreas com diferentes usos do solo, nos períodos chuvoso (PC) e seco (PS).

Plantios	PSRB-FE		PSRB		CO		UMI		N	
	----- mg solo ⁻¹ -----				----- g kg ⁻¹ -----		----- % -----			
	PC	PS	PC	PS	PC	PS	PC	PS	PC	PS
MA ⁽¹⁾	0,73 bcA	0,47 bB	1,23 bA	0,74 bcB	6,88 abA	7,31 aA	11,50 cA	4,20 bB	0,22 bcB	0,57 aA
PSA ⁽²⁾	0,71 bcA	0,76 aA	1,29 bA	1,29 aA	8,38 aA	7,90 aA	14,56 bA	5,15 abB	0,40 abB	0,62 aA
PSE ⁽³⁾	0,60 cA	0,19 cB	0,99 bA	0,38 cB	7,64 aA	6,97 aA	18,67 aA	6,55 aB	0,22 bcA	0,27 bA
PMO ⁽⁴⁾	0,93 aA	0,70 abB	1,89 aA	1,34 aB	7,87 aA	7,76 aA	13,25 bcA	6,50 aB	0,15 cB	0,47 abA
PEU ⁽⁵⁾	0,85 abA	0,81 aA	1,85 aA	1,54 aB	7,82 aA	7,49 aA	12,31 bcA	5,20 abB	0,47 aA	0,27 bA
RMA ⁽⁶⁾	0,62 cA	0,50 bA	1,24 bA	0,89 bA	5,44 bA	6,84 aA	13,06 bcA	6,00 abB	0,15 cB	0,57 aA

(1) Fragmento de Mata Atlântica usado como referência; (2) Plantio de sapoti; (3) Plantio de seringueira; (4) Plantio de mogno; (5) Plantio de eucalipto; (6) Rotação de cultura com mandioca.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha (áreas) e maiúscula (períodos) na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os teores de matéria orgânica e de carbono orgânico do solo não diferiram entre os períodos estudados (Tabela 3), ocorrendo apenas uma tendência na redução desses teores na estação seca. No período chuvoso a área sob rotação de cultura com mandioca (cultivo anual), apresentou menor teor de MO que a dos plantios de sapoti, mogno e eucalipto, não diferindo apenas da área controle (Tabela 3). A abertura de áreas com vegetação nativa para o intenso uso agrícola promove alterações nos atributos do solo e, principalmente, nas quantidades de MO do solo (Benites, 2010). As demais áreas estudadas possuem relativa estabilidade, visto que são culturas perenes, e com isso sofrem menor perturbação. Fokom *et al.* (2012) também observaram que a redução de práticas agrícolas minimiza a perturbação do solo, aumentando com isso o teor de matéria orgânica.

Os teores de N foram superiores na época seca exceto na área de plantio de eucalipto. Os baixos valores de N na estação chuvosa podem estar relacionados com a lixiviação e a imobilização pelos micro-organismos do solo (Souza e Fernandes, 2006).

Correlação positiva de $\approx 30\%$ foi registrada entre a PSRB e o carbono orgânico do solo (Tabela 4). Resultados similares foram relatados em trabalhos desenvolvidos em áreas naturais e manejadas (Franzluebbbers *et al.*, 2000; Rillig *et al.*, 2003; Fokon *et al.*, 2012). Essa observação corrobora as afirmações de que os FMA regulam o C pela produção da glomalina em uma concentração relativamente elevada no solo (Treseder e Turner, 2007).

Tabela 4. Coeficientes de correlação simples de Pearson (r) entre as variáveis estudadas ($p < 0,05$).

	C	UMID	PSRB-FE	PSRB	DG	N
C	1	0,083326	0,189936	0,265984	0,033945	-0,04031
UMID	-	1	0,179345	0,192799	0,169	-0,33056
PSRB-FE	-	-	1	0,819307	-0,04605	-0,02049
PSRB	-	-	-	1	-0,06735	-0,09972
DG	-	-	-	-	1	-0,17049
N	-	-	-	-	-	1

C=Carbono Orgânico; UMID=Umidade do solo; Proteínas do solo relacionadas à Bradford - facilmente extraível (PSRB-FE) e total (PSRB); DG=Densidade de glomerosporos; N=Nitrogênio.

A ordenação multivariada NMS revelou alta correlação entre as propriedades físico-químicas do solo e os teores de C, N, PSRB, PSRB-FE, umidade do solo e densidade de glomerosporos, considerando que a soma de explicação dos eixos de variância foi de quase 80% (Figura 2).

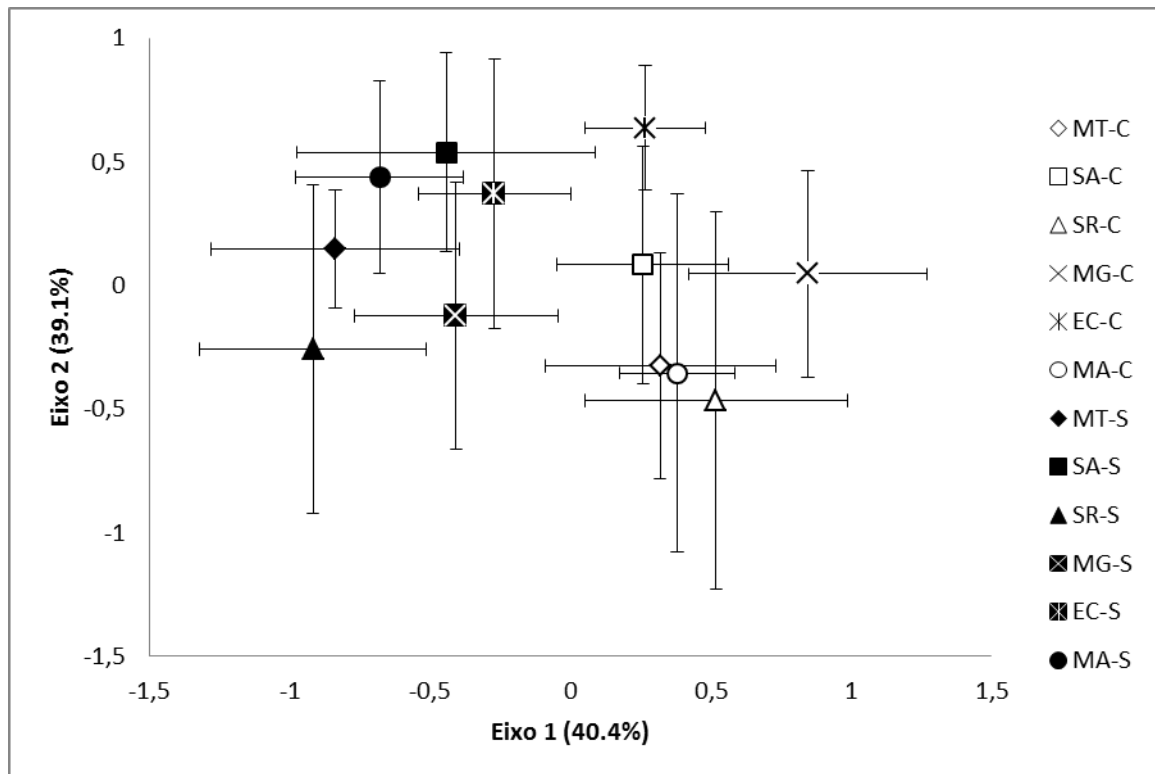


Figura 2. Análise de escalonamento multidimensional com base nos teores de PSRB-FE, PSRB, C, N e umidade do solo e densidade de glomerosporos correlacionados com atributos químicos e físicos do solo em áreas de Mata Atlântica (MA) e plantios de sapoti (PSA), seringueira (PSE), mogno (PMO), eucalipto (PEU) e rotação de cultura com mandioca (RMA) nos períodos chuvoso e seco, na Estação Experimental de Itapirema – IPA, Goiana, Pernambuco.

O eixo 1 da ordenação NMS explicou 40,4% da variação dos dados e correlacionou-se negativamente com Fe, Cu e pH, e positivamente com Mg, H, S.B., CTC, C e areia total. O eixo 2 explicou 39,1% da variação dos dados e apresentou correlação negativa com Cu, K e areia total e correlação positiva com Fe, pH, Ca, Mg, S.B., CTC, V e C (Tabela 5). Correlações similares foram observadas por Lovelock *et al.* (2004), em solos da Costa Rica, onde os teores de glomalina correlacionaram-se negativamente com o pH do solo e positivamente com o carbono orgânico do solo, o cálcio e o ferro. De acordo com os autores, o maior acúmulo de PSRB em solos menos férteis pode estar relacionado à menor taxa de decomposição nesses ambientes.

As quantidades de PSRB sofreram variação temporal, sendo em geral menores no período seco (Figura 2). Embora a glomalina tenha um tempo de decomposição lenta (6-42 anos) no solo, Lutgen *et al.*, (2003) detectaram uma pequena porção mais lábil, que pode conferir às áreas pequenas flutuações nos teores de glomalina entre os períodos.

Tabela 5. Coeficiente de correlação das variáveis analisadas (matriz secundária) com os eixos 1 e 2 da ordenação do NMS.

Variáveis ^a	Coeficientes de correlação	
	NMS - Eixo 1	NMS - Eixo 2
Fe	-0,003**	0,014*
Cu	-0,002**	-0,031*
pH	-0,001**	0,005*
K	0,488ns	<-0,0001***
Ca	0,070ns	0,0001***
Mg	0,020*	0,009**
H	0,0007***	0,500ns
S.B.	0,042*	0,0003***
CTC	<0,0001***	0,0003***
V	-0,202ns	0,003**
C	0,044*	0,002**
Areia total	<0,0001***	-0,037*
Silte	-0,476ns	0,140ns
Argila	-0,176ns	0,205ns

ns: Não significativa a 5% de probabilidade; * Significativa a 5% de probabilidade; ** Significativa a 1% de probabilidade; *** Significativa a 0,1% de probabilidade.

Conclusões

A atividade dos FMA, maior no período chuvoso como refletido pelo número de propágulos infectivos de FMA e teores de PSRB, sugere que a atuação micorrízica é favorecida pela umidade do solo. A glomalina se mostrou um importante componente do C orgânico dos solos (natural e com cultivo) estudados. Áreas com cultivos perenes e pouco revolvidas em geral favorecem a atividade dos FMA, incluindo o acúmulo de glomalina, demonstrando que esses fungos podem ser persistentes, não sendo negativamente afetados pelo cultivo, quando se compara à atividade em área preservada.

6. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os diferentes usos do solo, as características físico-químicas do solo e o período estacional influenciam a ocorrência, a diversidade e a atividade dos FMA nas áreas estudadas. Devido a essas influências algumas espécies de FMA mostraram-se mais adaptadas a determinados ambientes, sendo muitas vezes capazes de indicar os ecossistemas estudados, a exemplo de *Orbispora pernambucana* e *Cetraspora gilmorei* indicadoras de áreas de Mata Atlântica.

As práticas agrícolas estão promovendo a seleção de espécies de FMA, podendo gerar a perda de espécies e a entrada de outras, em áreas consideradas *Hotspots* de biodiversidade, como a Mata Atlântica. Confirma-se que os índices de diversidade, equitabilidade e riqueza tendem a diminuir nas comunidades estabelecidas nas rizosferas de plantas em ambiente clímax, como o de Mata.

Além dos tipos de uso do solo foi constatada influência do período estacional na atividade dos FMA, com maiores valores no período chuvoso. O estudo demonstra ainda que a glomalina é um importante componente do C orgânico dos solos estudados, que a sua produção não está sendo negativamente afetada pelos diferentes usos do solo e que áreas com cultivos perenes e pouco revolvidas, em geral, favorecem a produção da glicoproteína pelos FMA.

Para melhor entendimento dos efeitos da fragmentação da Mata Atlântica sobre a ocorrência e atividade dos FMA são necessários estudos mais prolongados, levando em consideração maior número de coletas e a avaliação de outros atributos, além dos abordados, como análises moleculares. Este estudo foi pioneiro e apresenta resultados relevantes sobre a comunidade e a atividade de FMA em fragmento de Mata Atlântica submetido a diferentes sistemas agrícolas, representando um passo inicial para o entendimento dos fatores que influenciam a ocorrência de determinadas espécies de FMA. Além disso, possibilitou a detecção de alguns táxons que permanecem no ambiente mesmo quando este é submetido a diferentes usos do solo; tais espécies caracterizam-se pelo potencial de utilização em programas de revegetação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbott, L.K., Gazey, C. 1994. An ecological view of the formation of VA mycorrhizas. *Plant and Soil* 159: 69-78.
- Abbott, L.K., Robson, A.D. 1994. The impact of agricultural practices on mycorrhizal fungi. In: Pankhurst, C.E., Doube, B.M., Gupta, V.V.S.R., Grace, P.R. (ed.) *Soil biota: management in sustainable farming systems*. Victoria, Australia: CSIRO.
- Aidar, M.P.M., Carrenho, R., Joly, C.A. 2004. Aspects of arbuscular mycorrhizal fungi in an Atlantic Forest chronosequence in Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), São Paulo. *Biota Neotropica* 4: 1-15.
- Alguacil, M.M., Lumini, E., Roldán, A., Salinas-García, J.R., Bonfante, P., Bianciotto, V. 2008. The impact of tillage practices on arbuscular mycorrhizal fungal diversity in subtropical crops. *Ecological Applications* 18: 527–536.
- Alvarenga, M.I.N., Siqueira, J.O., Davide, A.C. 1999. Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de cerrado com diferentes usos. *Ciência & Agrotecnologia*, 23: 617-625.
- Araújo, A.S.F., Leite, L.F.C., Nunes, L.A.P.L., Carneiro, R.F.V. 2008. *Matéria orgânica e organismos do solo*. Teresina, EDUFPI.
- Barros, R.S.M. 2007. *Medidas de diversidade biológica*. Minas Gerais, PGECOL, Universidade Federal de Juiz de Fora.
- Bartz, M.L.C., Carrenho, R., Gomes-da-Costa, S.M., Colozzi Filho, A., Tormena, C.A. 2008. Comparação entre as técnicas de amostragem direta em campo e cultura-armadilha para mensuração da diversidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares. *Hoehnea*, 35: 159-164.
- Bethlenfalvay, G.J. 1992. Mycorrhizae and crop productivity. In: Bethlenfalvay, G.J., Linderman, R.G. (ed.) *Mycorrhizae in Sustainable Agriculture*, Madison: American Society of Agronomy, pp.1-25.
- Bedini, S., Avio, L., Argese, E., Giovannetti, M. 2007. Effects of long-term land use on arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin-related soil protein. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 120: 463–466.
- Benites, V.M., Moutta, R.O., Coutinho, H.L.C., Balieiro, F.C. 2010. Análise discriminante de solos sob diferentes usos em área de mata atlântica a partir de atributos da matéria orgânica. *Revista Árvore* 34: 685-690.
- Berbara, R.L.L., De Souza, F.A., Fonseca, H.M.A.C. 2006. Fungos Micorrízicos Arbusculares: Muito além da nutrição. In: Fernandes, M.S. (ed.) *Nutrição Mineral de Plantas*, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Brasil, pp. 53-88.

- Bever, J.D., Morton, J.B., Antonovics, J., Schultz, P.A. 1996. Host-dependent sporulation and species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a mown grassland. *Journal of Ecology* 84: 71–82.
- Bever, D.J., Pegg, A., Schultz, A.P., Joseph, B.M. 2001. Arbuscular Mycorrhizal Fungi: More Diverse than Meets the Eye, and the Ecological Tale of Why. *Bioscience* 51: 923–931.
- Bonfante, P., Genre, A. 2010. Mechanisms underlying beneficial plant–fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. *Nature Communications*, 1: 1-11.
- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72: 248-254.
- Brower, J.E., Zar, J.H., Von Ende, C.N. 1990. *Field and laboratory methods for general ecology*. 3rd edition. Dubuque: W.C. Brown.
- Brundrett, M.C. 1991. Mycorrhizas in natural ecosystems. In: Macfayden, A., Begon, M., Fitter, A.H. (ed.) *Advances in ecological research*, London, UK: Academic Press, 171–313.
- Brundrett, M., Bougher, N., Dell, B., Grove, T., Malajczuk, N. 1996. Working with Mycorrhizas in Forestry and agriculture. *ACIAR Monograph* 3: 141-145.
- Campanili, M., Prochnow, M. 2006. *Mata Atlântica – uma rede pela floresta*. Brasília. RMA.
- Cantarella, H., Quaggio, J.A., Raij, B. Van. 2001. Determinação da matéria orgânica. In: Raij, B. Van, Andrade, J.C., Cantarella, H., Quaggio, J.A. (eds.) *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas, Instituto Agrônômico, pp.173-180.
- Caproni, A.L., Franco, A.A., Berbara, R.L.L., Trufem, S.F.B., Granha, J.R.D.O., Monteiro, A.B. 2003. Ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares em áreas revegetadas após mineração de bauxita em Porto Trombetas, Pará. *Pesquisa Agropecuária Brasileira Brasília* 38: 1409-1418.
- Cardoso, M., Kuyper, T.W. 2006. Mycorrhizas and tropical soil fertility. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 116: 72–84.
- Carrenho, R., Gomes-Da-Costa, S.M., Balota, E.L., Colozzi-Filho, A. 2008. Fungos micorrízicos arbusculares em agroecossistemas brasileiros. In: Siqueira J.O., De Souza, F.A., Cardoso, E.J.B.N., Tsai, S.M. (eds). *Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil*. Editora UFLA, pp. 215-249.
- Carrenho, R., Trufem, S.F.B., Bononi, V.L.R. 2001. Fungos micorrízicos arbusculares em rizosferas de três espécies de fitobiontes instaladas em área de mata ciliar revegetada. *Acta Botanica Brasilica* 15: 115-124.
- Carrenho, R., Costa, S.M.G., Balota, E.L., Colozzi-Filho, A. 2010. Fungos micorrízicos arbusculares em agroecossistemas brasileiros In: Siqueira, J.O., Souza, F.A., Cardoso,

- E.J.B.N., Tsai, S.M., (ed.) *Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil*. Lavras, Editora UFLA, pp. 215-250.
- Carvalho, F., de Souza, F.A., Carrenho, R., Moreira, F.M.S., Jesus, E.C., Fernandes, G.W. 2012. The mosaic of habitats in the high-altitude Brazilian Rupestrian fields is a hotspot for arbuscular mycorrhizal fungi. *Applied Soil Ecology* 52: 9–19.
- Caruso, T., Empel, S.H., Powell, J.R., Barto, E.K., Rillig, M.C. 2012. Compositional divergence and convergence in arbuscular mycorrhizal fungal communities. *Ecology* 93: 1115–1124.
- Cavalcante, U.M.T., Maia, L.C., Nogueira, R.J.M.C., dos Santos, V.F. 2001. Respostas fisiológicas em mudas de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims. f. *Flavicarpa* Deg.) inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e submetidas a estresse hídrico. *Acta botânica brasileira* 15: 379-390.
- Clarke, K.R., Gorley, R.N., 2006. PRIMER v6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth.
- Cochran, W.G. 1950. Estimation of bacterial densities by means of the most probable number. *Biometrics* 6: 105-116.
- Colozzi Filho, A., Nogueira, M.A. 2007. Micorrizas Arbusculares em Plantas Tropicais: Café, Mandioca e Cana-de-açúcar. In: Silveira, A.P.D, Freitas, S.S. (eds.) *Microbiota do Solo e Qualidade Ambiental*. Instituto Agrônomo, Campinas, São Paulo.
- CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). 2004. Brasília.
- Cordeiro, M.A.S., Carneiro, M.A.C., Paulino, H.B., Saggin-Junior, O.J. 2005. Colonização e densidade de esporos de fungos micorrízicos em dois solos do cerrado sob diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 35: 147-153.
- Cornis, D. 2002. Glomalin, hiding place for a third of the world's stored soil carbon. *Agricultural Research* 50: 4-14.
- Curaqueo, G., Barea, J.M., Acevedo, E., Rubio, R., Cornejo, P., Borie, F. 2011. Effects of different tillage system on arbuscular mycorrhizal fungal propagules and physical properties in a Mediterranean agroecosystem in central Chile. *Soil & Tillage Research* 113: 11–18.
- Daniell, T.J., Husband, R., Fitter, A.H., Young, J.P.W. 2001. Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi colonising arable crops. *FEMS Microbiology Ecology* 36: 203-209.
- Debosz, K., Rasmussen, P.H., Pedersen, A. 1999. Temporal variations of microbial biomass and cellulolytic enzyme activity in arable soils: effects of organic matter input. *Applied Soil Ecology* 13: 209-218.
- Diniz, V. M. 2006. Absorção de fósforo e nitrogênio por espécies arbóreas da Caatinga nordestina inoculadas com fungos micorrízicos. Dissertação. Universidade Federal de Campina Grande. Patos, Paraíba.

- Douds, D.D., Miller, P.D. 1999. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 74: 77-93.
- Dufrêne, M., Legendre, P. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67: 345-366.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. 1997. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análises de solos. 2º edição. Rio de Janeiro.
- Entry, J.A., Rygiewicz, P.T., Watrud, L.S., Donnelly, P.K. 2012. Influence of adverse soil conditions on the formation and function of Arbuscular mycorrhizas. *Advances in Environmental Research* 7: 123-138.
- Feldmann, F., Idczak, E. 1994. Inoculum production of vesicular- arbuscular mycorrhizal fungi for use in tropical nurseries. In: Norris, J.R., Read, D.J., Varma, A.K. (eds.). *Techniques for mycorrhizal research*. Academic Press, San Diego, pp. 799- 817.
- Ferrol, N., Calvente, R., Cano, C., Barea, J.M., Azcón-Aguilar, C. 2004. Analysing arbuscular mycorrhizal fungal diversity in shrub-associated resource islands from a desertification-threatened semiarid Mediterranean ecosystem. *Applied Soil Ecology* 25: 123–133.
- Fokom, R., Adamou, S., Teugwa, M.C., Begoude Boyogueno, A.D., Nana, W.L., Ngonkeu, M.E.L., Tchameni, N.S., Nwaga, D., Tsala Ndzomo, G., Amvam Zollo, P.H. 2012. 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 and Tillage Research* 120: 69-75.
- Franzluebbers, A.J., Stuedemann, J.A., Schomberg, H.H., Wilkinson, S.R. 2000. Soil organic C and N pools under long-term pasture management in the Southern Piedmont USA. *Soil Biology & Biochemistry* 32: 469-478.
- Galindo-Leal, C., Câmara, I.G. 2003. Atlantic forest hotspots status: an overview. In: C. Galindo-Leal & I.G. Câmara (eds.). *The Atlantic Forest of South America: biodiversity status, threats, and outlook*. Center for Applied Biodiversity Science e Island Press, Washington, D.C, pp. 3-11.
- Gardes, M., Dahlberg, A. 1996. Mycorrhizal diversity in arctic and alpine tundra: an open question. *New Phytologist* 133: 147-157.
- Gavito, E.M., Pérez-Castillo, D., González-Monterrubio, C.F., Vieyra-Hernández, T., Martínez-Trujillo, M. 2008. High compatibility between arbuscular mycorrhizal fungal communities and seedling s of different land use types in a tropical dry ecosystem. *Mycorrhiza* 19: 47–60.
- Gerdemann, J.W., Nicolson, T.H. 1963. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society* 46: 235-244.
- Gliessman, S.R. 2005. *Agroecologia: Processos ecológicos em agricultura sustentável*. 3º Edição. Porto Alegre: Editora da UFRGS.

- Goi, S.R., de Souza, F.A. 2006. Diversidade de microrganismos do solo. *Floresta e Ambiente* 13: 46-65.
- Gomes, S.P., Trufem, S.F.B. 1998. Fungos micorrízicos arbusculares (Glomales, Zygomycota) na Ilha dos Eucaliptos, Represa do Guarapiranga, São Paulo, SP. *Acta Botânica Brasílica* 12: 393-401.
- González-Cortés, J.C., Vega-Fraga, M., Varela-Fregoso, L., Martínez-Trujillo, M., Carreón-Abud, Y., Gavito, M.E. 2012. Arbuscular mycorrhizal fungal (AMF) communities and land use change: the conversion of temperate forests to avocado plantations and maize fields in central Mexico. *Fungal Ecology* 5: 16-23.
- Goto, B.T., da Silva, G.A., Maia, L.C., Oehl, F. 2010. *Dentiscutata colliculosa*, a new species in the Glomeromycetes from Northeastern Brazil with colliculate spore ornamentation. *Nova Hedwigia* 90: 383-393.
- Goto, B.T., Maia, L.C. 2006. Glomerospores: a new denomination for the spores of Glomeromycota, a group molecular distinct from the Zygomycota. *Mycotaxon* 96: 129-132.
- Goto, B.T., da Silva, G.A., Maia, L.M., de Souza, R.G., Coyne, D., Tchabi, A., Lawouin, L., Hountondji, F., Oehl, F. 2011. *Racocetra tropicana*, a new species in the Glomeromycetes from tropical areas. *Nova Hedwigia* 92: 69–82.
- Goto, B.T., Silva, G.A., Assis, D.M.A., Silva, D.K.A., Souza, R.G., Ferreira, A.C.A., Jobim, K., Mello, C.M.A., Vieira, H.E.E., Maia, L.C., Oehl, F. 2012. Intraornatosporaceae (Gigasporales), a new family with two new genera and two new species. *Mycotaxon* 119: 117-132.
- Hajiboland, R., Aliasgharzadeh, N., Laiegh, S.F., Poschenrieder, C. 2010. Colonization with arbuscular mycorrhizal fungi improves salinity tolerance of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. *Plant and soil* 331: 313-327.
- Hijri, I., Sykorová, Z., Oehl, F., Ineichen, K., Mäder, P., Wiemken, A., Redecker, D. 2006. Communities of arbuscular mycorrhizal fungi in arable soils are not necessarily low in diversity. *Molecular Ecology* 15: 2277–2289.
- Hildebrandta, U., Regvarb, M., Bothec, H. 2007. Arbuscular mycorrhiza and heavy metal tolerance. *Phytochemistry* 68: 139–146.
- IBGE. 1992. Manual técnico da vegetação brasileira. Rio de Janeiro.
- Jefwa, J.M., Okoth, S., Wachira, P., Karanja, N., Kahindi, J., Njuguni, S., Ichami, S., Mung'atu, J., Okoth, P., Huising, J. 2012. Impact of land use types and farming practices on occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) Taita-Taveta district in Kenya. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 157: 32–39.
- Jenkins, W.R. 1964. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter* 48: 692.

- Kabir, Z., O'Halloran, I.P., Fyles, J.W., Hamel, C. 1997. Seasonal changes of arbuscular mycorrhizal fungi as affected by tillage practices and fertilization: Hyphal density and mycorrhizal root colonization. *Plant and Soil* 192: 285–293.
- Koide, R.T., Mosse, B. 2004. A history of research on arbuscular mycorrhizal. *Mycorrhiza* 14: 145–163.
- Koske, R., Gemma, J., Corkidi, L., Sigüenza, C., Rincón, E. 2008. Arbuscular mycorrhizas in coastal dunes. *Coastal Dunes* 171: 173-187.
- Lagos, A.R., Muller, B.L. 2007. *Hot spot* Brasileiro: Mata Atlântica. *Saúde & Ambiente em Revista* 2: 35-45.
- Lal, R. 2003. Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect. *Critical Reviews in Plant Sciences* 22: 151–184.
- Lambin, E.F., Geist H.J., Lepers, E. 2003. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment & Resources* 28: 205-241.
- Lima, M.L.F. 1998. A reserva da Biosfera da Mata Atlântica em Pernambuco: Situação atual, ações e perspectivas. São Paulo, Série estados e regiões da RBMA.
- Lima, R.L.F.A., Salcedo, I.H., Fraga, V.S. 2007. Propágulos de fungos micorrízicos arbusculares em solos deficientes em fósforo sob diferentes usos, da região semi-árida no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 31: 257-268.
- Lovelock, C.E., Andersen, K., Morton, J.B. 2003. Arbuscular mycorrhizal communities in tropical forests are affected by host tree species and environment. *Oecologia* 135: 268-279.
- Lovelock, C.E., Wright, S.F., Clark, D.A., Ruess, R.W. 2004. Soil stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungi across a tropical rain forest landscape. *Journal of Ecology* 92: 278– 287.
- Emily R. Lutgen, E.R., Muir-Clairmont, D., Graham, J., Rillig, M.C. 2003. Seasonality of arbuscular mycorrhizal hyphae and glomalin in a western Montana grassland. *Plant and Soil* 257: 71–83.
- Maia, L.C., Silveira, N.S.S., Cavalcante, U.M.T. 2005. Interação entre fungos micorrízicos arbusculares e patógenos radiculares. In: Michereff, S.J., Andrade, D.E.G.T. & Menezes, M. (eds.) *Ecologia e Manejo de Patógenos Radiculares em Solos Tropicais*. Recife, UFRPE.
- Malcová, R., Gryndler, M. 2003. Amelioration of Pb and Mn toxicity to arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* by maize root exudates. *Plant Biology* 47: 297-299.
- Marschner, H., Dell, B. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil* 159: 89-102.
- McCune, B., Mefford, M. J. 2006. PC-ORD. *Multivariate Analysis of Ecological Data*. Version 5. MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, USA.

- Melo, A.S. 2008. O que ganhamos ‘confundindo’ riqueza de espécies e equabilidade em um índice de diversidade? *Biota Neotropica* 8: 21-27.
- Mesquita, C.A.B., Siqueira, L.P., Guimarães, A.L., Cole, A.S., Leite, A. 2006. O papel do setor florestal na conservação da biodiversidade na Mata Atlântica. In: Bensusan, N., Barros, A.C., Bulhões, B., Arantes (ed.) *A Biodiversidade: é para comer, vestir ou para passar no cabelo? Para mudar o mundo!* Editora Peirópolis, pp. 175-193.
- Moreira, F.M.S., Siqueira, J.O. 2006. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras, Edufla.
- Morellato, L.P.C., Haddad, C.F.B. 2000. Introductions: The Brazilian Atlantic Forest. *Biotropica* 32: 786-792.
- Moura, F.B.P. 2006. A Mata Atlântica em Alagoas. *Conversando sobre ciências em Alagoas*. Maceió, UFAL.
- Muleta, D., Assefa, F., Nemomissa, S., Granhall, U. 2008. Distribution of arbuscular mycorrhizal fungi spores in soil of small holder agroforestry and monocultural coffee systems in southwestern Ethiopia. *Biology Fertility Soils* 44: 653- 659.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B., Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853–858.
- Odum, E.P. 1986. *Ecologia*. Rio de Janeiro, Guanabara.
- Oehl, F., de Souza, F.A., Sieverding, E. 2008. Revision of *Scutellospora* and description of new genera and three new families in the arbuscular mycorrhizal-forming *Glomeromycetes*. *Mycotaxon* 106: 311-360.
- Oehl, F., Laczko, E., Bogenrieder, A., Stahr, K., Bösch, R., van der Heijden, M., Sieverding, E. 2010. Soil type and land use intensity determine the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities. *Soil Biology & Biochemistry* 42: 724-738.
- Oehl, F., Sieverding, E., Ineichen, K., Mäder, P., Boller, T., Wiemken, A. 2003. Impact of Land Use Intensity on the Species Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Agroecosystems of Central Europe. *Applied and Environmental Microbiology* 69: 2816-2824.
- Oehl, F., Sieverding, E., Mäder, P., Dubois, D., Ineichen, K., Boller, T., Wiemken, A. 2004. Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Oecologia* 138: 574 –583.
- Oehl, F., Sieverding, E., Palenzuela, J., Ineichen, K., da Silva, G.A. 2011. Advances in Glomeromycota taxonomy and classification. *IMA Fungus* 2: 191–199.
- Olsson, P.A., Thingstrup, I., Jakobsen, I., Baath, E., 1999. Estimation of the biomass of arbuscular mycorrhizal fungi in a linseed field. *Soil Biology & Biochemistry* 31: 1879–1887.
- Öpik, M., Moora, M., Zobel, M., Saks, Ü., Wheatley, R., Wright, F., Daniell, T. 2008. High diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a boreal herb-rich coniferous forest. *New Phytologist* 179: 867-876.

- Parniske, M. 2008. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nature Reviews Microbiology*, 6: 763-775.
- Pasqualini, D., Uhlmann, A., Stürmer, S.L. 2007. Arbuscular mycorrhizal fungal communities influence growth and phosphorus concentration of woody plants species from the Atlantic rain forest in South Brazil. *Forest Ecology and Management* 245: 148-155.
- Phillips, J.M., Hayman, D.S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society* 55: 158-161.
- Picone, C. 2000. Diversity and Abundance of Arbuscular–Mycorrhizal Fungus Spores in Tropical Forest and Pasture. *Biotropica* 32: 734–750.
- Pinto, L.P., Brito, C.W. 2005. Dinâmica da perda da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira: uma introdução. Belo Horizonte: SOS Mata Atlântica / Conservação Internacional do Brasil.
- Ramankutty, N., Foley, J.A., Norman, J., Mcsweeney, K. 2002. The global distribution of cultivable lands: current patterns and sensitivity to possible climate change. *Global Ecology and Biogeography* 11: 377-392.
- Redecker, D., Kodner, R., Graham, L.E. 2000. Glomalean fungi from the Ordovician. *Science* 289: 1920–1921.
- Reis, V.M., De Paula, M.A., Döbereiner, J. 1999. Ocorrência de micorrizas arbusculares e da bactéria diazotrófica *Acetobacter diazotrophicus* em cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 34: 1933-1941.
- Rillig, M.C. 2004. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Canadian Journal of Soil Science* 28: 355-363.
- Rillig, M.C., Ramsey, P.W., Morris, S., Paul, E.A. 2003. Glomalin, an arbuscular mycorrhizal fungal soil protein, responds to land-use change. *Plant Soil* 253: 293-299.
- Rillig, M.C., Wright, S.F., Nichols, K.A., Schmidt, W.F., Torn, M.S. 2001. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. *Plant and Soil* 233: 167-177.
- Santos, J.G.D., Siqueira, J.O., Moreira, F.M.S. 2008. Eficiência de fungos micorrízicos arbusculares isolados de solos de áreas de mineração de bauxita no crescimento inicial de espécies nativas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32: 141-150.
- Santos, V.L., Muchovej, R.M., Borges, A.C., Neves, J.C., Kasuya, M.C.M. 2001. Vesicular-arbuscular-/ecto-mycorrhiza succession in seedlings of *Eucalyptus* spp. *Brazilian Journal of Microbiology* 32: 81-86.
- Santos, F.E.F., Carrenho, R. 2011. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em remanescente florestal impactado (Parque Cinquentenário - Maringá, Paraná, Brasil). *Acta Botanica Brasilica* 25: 508-516.

- Schenck, N.C., Perez, Y. 1990. Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi. 3rd ed. Synergistic Publications, Gainesville.
- Schubler, A., Schawrzott, D., Walker, C. 2001. A new phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research* 105: 1413-1421.
- Sieverding, E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Eschborn: ZTZ.
- Silva, C.F., Araújo, J.L.S., Silva, E.M.R. 2010. Proteína do solo relacionada à glomalina: uma alternativa para avaliação da qualidade do solo. In: Figueiredo, M.V.B., Burity, H.A., Oliveira, J.P., Santos, C.E.R.S., Stamford, N.P. (eds.) *Biotechnologia aplicada à agricultura*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Recife, PE: Instituto Agrônômico de Pernambuco (IPA).
- Silva, D.K., Freitas, N.O., Maia, L.C., Oehl, F. 2008. *Scutellospora pernambucana*, a new fungal species in the Glomeromycetes with a characteristic germination orb. *Mycotaxon* 106: 361–370.
- Silva, D.K.A., Freitas, N.O., Cuenca, G., Maia, L.C., Oehl, F. 2008. *Scutellospora pernambucana*, a new fungal species in the Glomeromycetes with a diagnostic germination orb. *Mycotaxon* 106: 361–370.
- Silva, C.F., Pereira, M.G., Silva, E.M.R., Correia, M.E.F., Saggin-Júnior, O.J. 2006. Fungos micorrízicos arbusculares em áreas no entorno do Parque Estadual da Serra do Mar e Ubatuba (SP). *Revista Caatinga* 19: 1-10.
- Silva, D.K.A., Pereira, C.M.R., Souza, R.G., da Silva, G.A., Oehl, F., Maia, L.C. 2012. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in restinga and dunes areas in Brazilian Northeast. *Biodiversity and Conservation* 21: 2361-2373.
- Siqueira, J.O. 1996. *Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas*. Lavras, MG: UFLA.
- Siqueira, J.O., Saggin-Júnior, O.J. 2001. Dependency on arbuscular mycorrhizal fungi and responsiveness of some Brazilian native woody species. *Mycorrhiza* 11: 245-255.
- Siqueira, J.O., Franco, A.A. 1988. *Biotechnologia do solo: Fundamentos e perspectivas*. Brasília: MEC/ABEAS; Lavras, ESAL/FAEPE.
- Siqueira, J.O., Lambais, M.R., Stürmer, S.L. 2002. Fungos micorrízicos arbusculares. *Biotechnologia, Ciência & Desenvolvimento* 25: 12-21.
- Siqueira, J.O., Sylvia, D., Gibson, J., Hubbel, D. 1985. Spore, germination, and germ tubes of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. *Canadian Journal of Microbiology* 31: 965-997.
- Smith, S.E., Read, D.J. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*. 3rd edition. Academic Press, London, UK.

- Souza, R.G., Maia, L.C., Sales, M.F., Trufem, S.F. 2003. Diversidade e potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares em área de caatinga, na Região de Xingó, Estado de Alagoas, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 26: 49-60.
- Souza, S.R., Fernandes, M.S. 2006. "Nitrogênio." *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa: SBCS: pp. 215-254.
- Souza F.A., Silva, I.C.L., Berbara, R.L.L. 2008. Fungos Micorrízicos Arbusculares: muito mais Diversos do que se Imaginava. In: Moreira, F.M.S., Siqueira, J.O., Brussaard, L. (eds.) *Biodiversidade do Solo em Ecossistemas Brasileiros*. Lavras, Editora UFLA. pp. 483- 536
- STATSOFT. 1997. Statistica for windows. Tulsa (CD-ROM).
- Stehmann, J.R., Stehmann, J.R., Forzza, R.C., Salino, A., Sobral, M., Costa, D.D., Kamino, L.H.Y. 2009. *Diversidade taxonômica na Floresta Atlântica*. Plantas da Floresta Atlântica. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Stürmer, S.L., Stürmer, R., Pasqualini, R. 2012. Taxonomic diversity and community structure of arbuscular mycorrhizal fungi (Phylum Glomeromycota) in three maritime sand dunes in Santa Catarina state, south Brazil. *Fungal Ecology* (in press): 1-10.
- Stürmer, S.L., Siqueira, J.O. 2011. Species richness and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi across distinct land uses in Western Brazilian Amazon. *Mycorrhiza* 21: 255–267.
- Stürmer, S.L., Siqueira, J.O. 2008. Diversidade de Fungos Micorrízicos Arbusculares em Ecossistemas Brasileiros. In: Moreira, F.M.S., Siqueira, J.O., Brussaard, L. (eds.) *Biodiversidade do Solo em Ecossistemas Brasileiros*. Lavras, MG: Editora UFLA, pp. 537-583.
- Stürmer, S.L., Siqueira, J.O. 2006. Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Brazilian Ecosystems. In: Moreira, F.M.S., Siqueira, J.O., Brussaard, L. (eds). *Soil Biodiversity in Amazonian and Other Brazilian Ecosystems*. Londres, pp. 206-236.
- Stutz, J.C., Copeman, R., Martin, C.A., Morton, J.B. 2000. Patterns of species composition and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in arid regions of southwestern North America and Namibia, Africa. *Canadian Journal of Botany* 78: 237-245.
- Tabarelli, M., Pinto, L.P., Hirota, M.M., Bed, L.C. 2005. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. *Megadiversidade* 1: 132-138.
- Tchabi, A., Coyne, D., Hountondji, F., Lawouin, L., Wiemken, A., Oehl, F. 2008. Arbuscular mycorrhizal fungal communities in sub-Saharan Savannas of Benin, West Africa, as affected by agricultural land use intensity and ecological zone. *Mycorrhiza* 18: 181– 195.
- Tedesco, M.J., Gianello, C., Bissani, C.A., Bohnen, H., Volkweiss, S.J. 1995. *Análises de solo, plantas e outros materiais*. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- Tullio, M., Pierandrei, F., Salerno, A., Rea, E. 2003. Tolerance to cadmium of vesicular arbuscular mycorrhizae spores isolated from cadmium-polluted and unpolluted soil. *Biology and Fertility of Soils* 37: 211-214.
- Treseder, K.K., Turner, K.M. 2007. Glomalin in Ecosystems. *Soil Science Society of America Journal* 71: 1257–1266.
- Trufem, S.F.B., Malatinszky, S.M.M., Otomo, H.S. 1994. Fungos micorrízicos arbusculares em rizosferas de plantas do litoral arenoso do Parque estadual da Ilha do Cardoso, SP, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 8: 219-229.
- Trufem, S.F.B., 1990. Aspectos ecológicos de fungos vesículo-arbusculares na mata tropical úmida da ilha do Cardoso, SP, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 4, 31-45.
- Trufem, S.F.B., Bononi, V.L.R. 1985. Micorrizas vesículo arbusculares de culturas introduzidas em áreas de cerrado. *Rickia* 12: 165-187.
- Trufem, S.F.B., Malatinsky, S.M.M. 1995. Fungos micorrízicos vesículo-arbusculares de Melastomataceae e outras plantas resistentes e sensíveis à poluição na Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba, SP, Brasil. *Hoehnea* 22: 79-91.
- van der Heijden, M.G.A., Boller, T., Wiemken, A., Sanders, I.R. 1998. Different arbuscular mycorrhizal fungal species are potential determinants of plant community structure. *Ecology* 79: 2082–2091.
- van der Heijden, M.G.A., Klironomos, J.N., Ursic, M., Moutoglis, P., Streitwolf, E.R., Boller, T., Wiemken, A., Sanders, I.R. 1996. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* 396: 69–72.
- Wright, S. 2005. Glomalin, a manageable soil glue. Disponível em: <<http://www.ars.usda.gov/sp2UserFiles/Place/12650400/glomalin/brochure.pdf>> Acesso em: 20 abr. 2012.
- Wright, S.F., Upadhyaya, A. 1998. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Soil* 198: 97-107.
- Zangaro, W., Moreira, M., 2010. Micorrizas arbusculares nos biomas Floresta Atlântica e Floresta de Araucária. In: Siqueira, J.O., de Souza, F.A., Cardoso, E.J.B.N., Tsai, S.M. (eds.) *Micorrizas 30 anos de pesquisa no Brasil*. UFLA, Lavras, pp. 279–310.
- Zangaro, W., Ansanelo, A.P., Lescano, L.E.A.M., Alves, R.A., Rondina, A.B.L. Nogueira, M.A. 2012. Infection intensity, spore density and inoculum potential of arbuscular mycorrhizal fungi decrease during secondary succession in tropical Brazilian ecosystems. *Journal of Tropical Ecology* 28: 453–462.
- Zhang, Y., Gui, L.D., Liu, R.J. 2004. Survey of arbuscular mycorrhizal fungi in deforested and natural forest land in the subtropical region of Dujiangyan, southwest China. *Plant Soil* 261: 257-263.

- Zhu, H.H., Yao, Q., Sun, X.T., Hu, Y.L. 2007. Colonization, ALP activity and plant growth promotion of native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi at low pH. *Soil Biology & Biochemistry* 39: 942–950.
- Zhu, Y.G., Miller, R.M. 2003. Carbon cycling by arbuscular mycorrhizal fungi in soil–plant systems. *Trends Plant Science* 8: 407–409.
- Yano-Melo, A.M., Saggin-Júnior, O.J., Maia, L.C. 2003. Tolerance of mycorrhized banana (*Musa* sp. cv. pacovan) plantlets to saline stress. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 95: 343-348.

APENDICES



Figura 1. Imagens das áreas de coleta: (A) Mata Nativa, (B) plantio de sapoti, (C) plantio de seringueira, (D) plantio de mogno, (E) plantio de eucalipto, (F) rotação de culturas, com plantio de mandioca.

Tabela 1. Caracterização química do solo em áreas de Mata Atlântica (MA) e plantios de sapoti (PSA), seringueira (PSE), mogno (PMO), eucalipto (PEU) e rotação de cultura com mandioca (RMA), na Estação Experimental de Itapirema – IPA, Goiana, Pernambuco.

	Fe	Cu	Zn	Mn	P	pH	K	Na	Al	Ca	Mg	H	S.B	CTC	V	C	M.O.	
	mg/dm ³							cmolc / dm ³								%		
-----Período Chuvoso -----																		
MA	112,9	0,58	2,90	1,53	3,75	5,10	0,06	0,05	0,20	1,00	0,30	2,00	1,41	3,61	38,74	0,91	1,57	
PSA	78,0	0,30	2,68	0,90	7,00	4,88	0,05	0,04	0,30	0,83	0,30	2,50	1,21	4,01	29,96	0,83	1,42	
PSE	114,8	3,85	3,10	5,78	26,00	5,38	0,16	0,05	0,08	1,10	0,30	2,48	1,60	4,15	38,87	0,93	1,60	
PMO	105,2	0,12	3,63	9,25	11,50	5,73	0,06	0,04	0	2,48	0,55	2,25	3,12	5,37	57,91	1,12	1,93	
PEU	125,5	0	4,85	7,93	11,25	6,03	0,06	0,04	0	2,63	0,85	1,63	3,57	5,20	68,92	1,00	1,73	
RMA	104,2	0	4,18	2,23	7,75	4,90	0,04	0,03	0,15	1,05	0,30	1,93	1,42	3,49	40,44	0,68	1,18	
-----Período Seco -----																		
MA	148,9	0,30	1,30	1,43	3,00	5,25	0,06	0,04	0,20	1,00	0,30	2,13	1,39	3,72	38,01	0,90	1,55	
PSA	149,4	0,95	4,03	2,78	13,33	5,75	0,06	0,05	0	1,80	0,43	2,70	2,34	5,04	45,54	1,17	2,01	
PSE	94,4	4,33	4,25	6,68	16,25	5,75	0,12	0,04	0	1,18	0,30	1,78	1,64	3,42	47,95	0,87	1,50	
PMO	46,6	0,33	5,60	5,73	5,50	6,08	0,06	0,05	0	2,15	0,33	2,10	2,58	4,68	55,26	1,04	1,79	
PEU	138,8	0,03	2,78	3,25	6,50	6,08	0,05	0,05	0	1,93	0,58	2,28	2,60	4,87	52,85	1,04	1,78	
RMA	124,7	5,13	7,95	5,93	18,75	6,53	0,05	0,03	0	2,15	0,30	1,15	2,53	3,68	68,67	0,86	1,49	

Tabela 2. Caracterização física do solo em áreas de Mata Atlântica (MA) e plantios de sapoti (PSA), seringueira (PSE), mogno (PMO), eucalipto (PEU) e rotação de cultura com mandioca (RMA), na Estação Experimental de Itapirema – IPA, Goiana, Pernambuco.

	Areia Total	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
-----Período Chuvoso -----					
MA	91,39	66,45	24,94	1,00	7,6
PSA	90,50	66,90	23,60	1,55	8,35
PSE	89,02	64,24	24,78	2,88	8,10
PMO	88,84	63,31	25,54	3,56	7,60
PEU	87,47	63,10	24,37	3,94	8,60
RMA	89,80	62,67	27,13	1,61	8,60
-----Período Seco -----					
MA	88,06	60,51	27,20	2,69	9,60
PSA	88,63	61,71	26,93	3,68	7,69
PSE	90,25	65,32	24,93	3,01	6,74
PMO	86,26	60,55	25,71	4,46	9,28
PEU	89,77	62,95	26,82	4,91	5,32
RMA	89,10	59,86	29,24	1,72	9,19

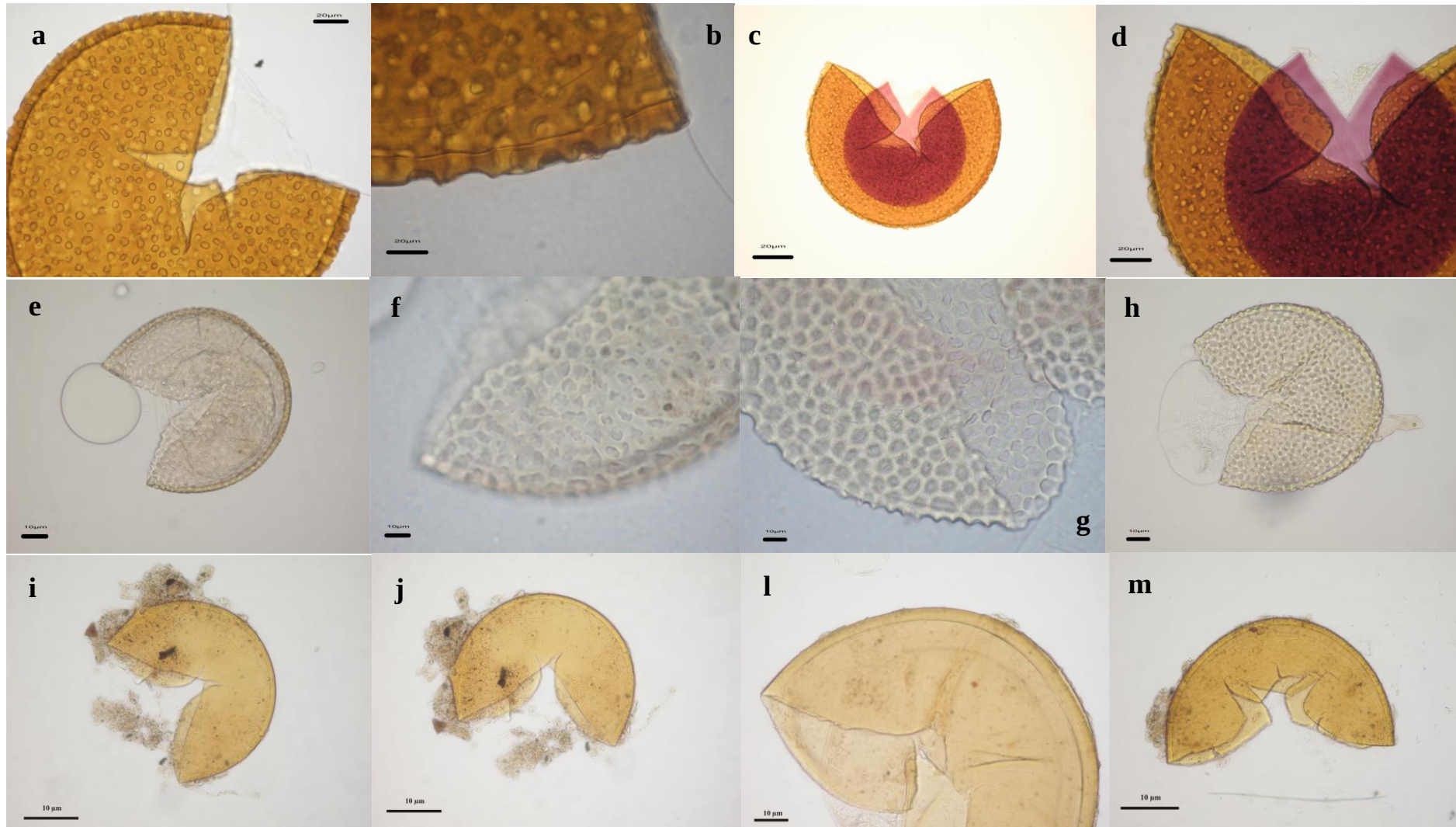


Figura 2. Fotomicrografias de esporos de FMA; **a.** *Acaulopora foveata*, **b.** Reação da parede interna de *A. foveata* em reagente de Melzer, **c.** Detalhe da ornamentação na superfície da parede externa de *A. foveata*, **d.** Detalhe da ornamentação de *A. foveata*, **e.** *Acaulospora scrobiculata*, **f.** *A. scrobiculata*, **g.** Detalhe da ornamentação da parede do esporo de *Acaulospora scrobiculata*, **h.** *A. scrobiculata*, **i.** *Acaulospora* sp.1, **j.** *Acaulospora* sp.1, **l.** Detalhe da ornamentação de *Acaulospora* sp.1, **m.** *Acaulospora* sp.1.

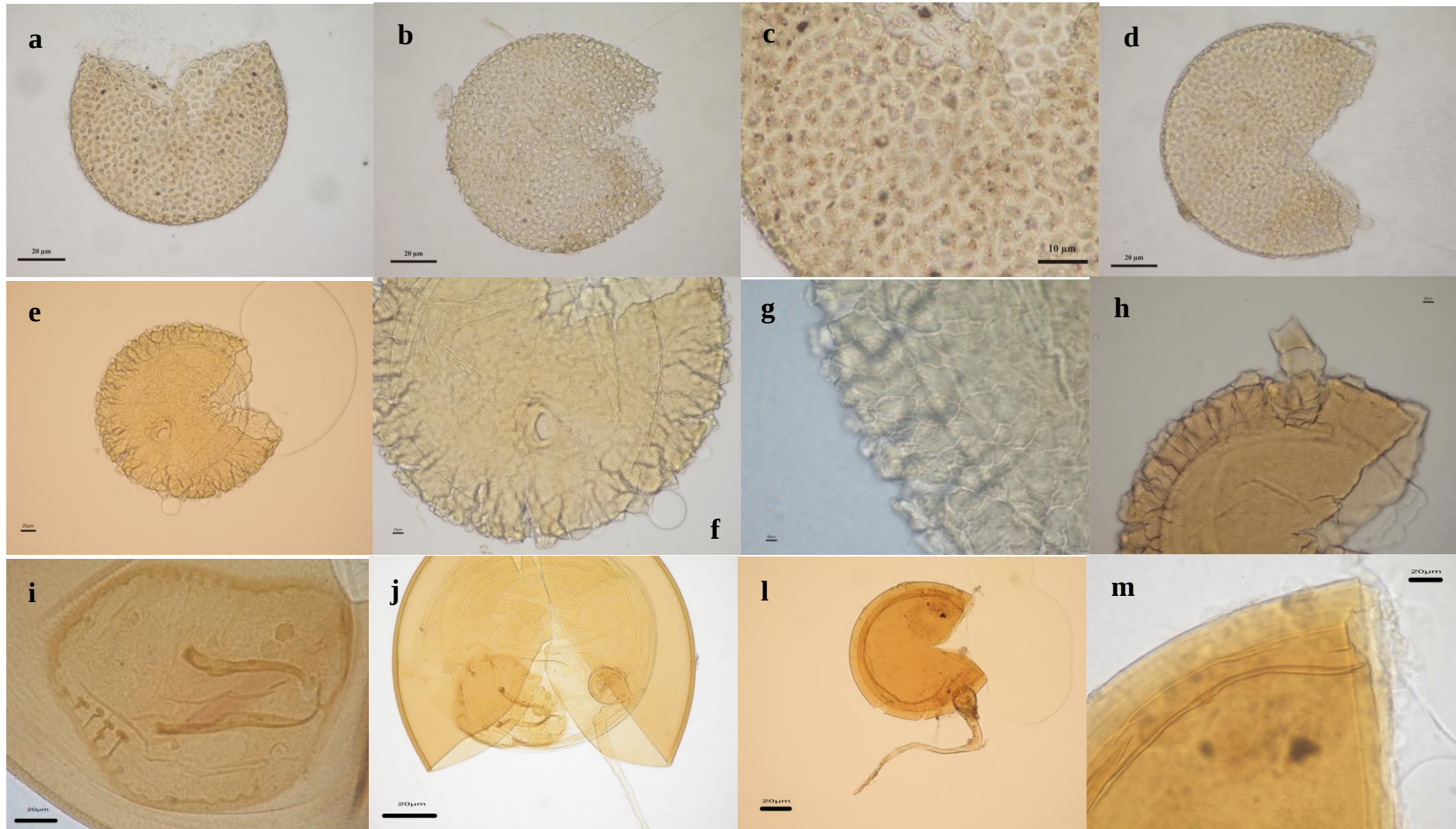


Figura 3. Fotomicrografias de esporos de FMA; **a.** *Acaulopora* sp.2, **b.** *Acaulopora* sp.2, **c.** Detalhe da ornamentação de *Acaulopora* sp.2, **d.** *Acaulopora* sp.2, **e.** *Ambispora appendicula*, **f.** Detalhe da cicatriz de *A. appendicula*, **g.** Detalhe da ornamentação da parede interna de *A. appendicula*, **h.** *A. appendicula* com o pedicelo, **i.** Detalhe de placa germinativa de *Fuscutata aurea*, **j.** *Fuscutata aurea*, **l.** *Gisgaspore* sp.1, **m.** Detalhe da parede de *Gisgaspore* sp.1.

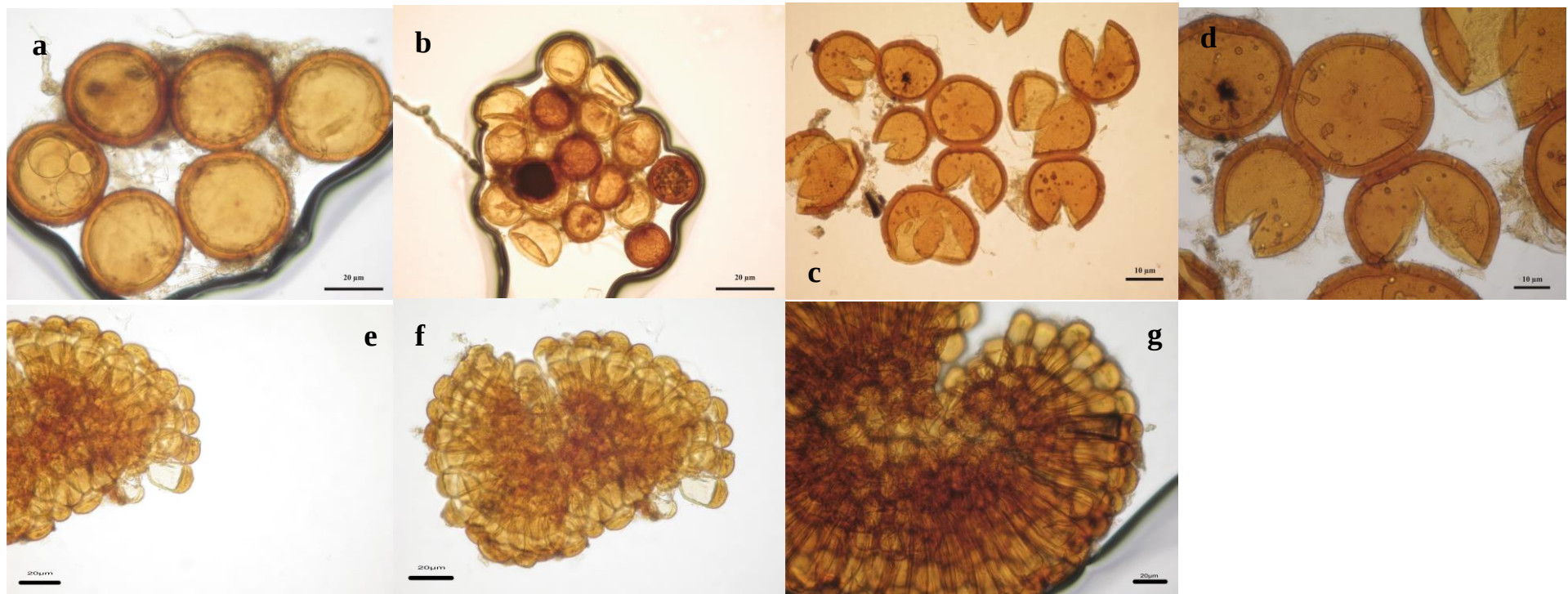


Figura 4. Fotomicrografias de esporos de FMA; **a.** Esporos de *Glomus* sp.2, **b.** *Glomus* sp.2, **c.** *Glomus* sp.2, **d.** *Glomus* sp.2, **e.** *Glomus taiwanense*. **g.** *Glomus taiwanense*, **h.** *Glomus taiwanense*.