

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em áreas
restauradas de Mata Atlântica, São Paulo, Brasil**

Joice Andrade Bonfim

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de Concentração: Solos e
Nutrição de Plantas

**Piracicaba
2011**

**Joice Andrade Bonfim
Engenheira Agrônoma**

**Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em áreas restauradas de
Mata Atlântica, São Paulo, Brasil**

Orientadora:
Profa. Dra. ELKE JURANDY BRAN NOGUEIRA CARDOSO

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de Concentração: Solos e
Nutrição de Plantas

**Piracicaba
2011**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Bonfim, Joice Andrade

Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em áreas restauradas de Mata Atlântica, São Paulo, Brasil / Joice Andrade Bonfim. - - Piracicaba, 2011.
92 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.
Bibliografia.

1. Análise multivariada 2. Biodiversidade 3. Fungos micorrízicos - Mata Atlântica - São Paulo
4. Micorriza 5. Microbiologia do solo 6. Reabilitação de áreas degradadas 7. Revegetação I. Título

CDD 631.46
B713d

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

**Aos meus pais, José Luiz e Maria,
A meus irmãos, Jerry e Juarez,
Aos apaixonados pela biologia do solo, micorrizas em especial**

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, meu fôlego de vida, condutor de todos os meus passos e pensamentos.

À minha orientadora Elke Jurandy Bran Nogueira Cardoso por ter acreditado no meu potencial, pelos ensinamentos, amizade, carinho e paciência.

À minha ex-orientadora Sylvana Naomi Matsumoto da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, por ter me ensinado a dar os primeiros passos no caminho da pesquisa científica.

Ao professor Dr. Sidney Stürmer da Universidade Regional de Blumenau, pela ajuda na identificação dos esporos de FMA.

Ao professor Fernando D. Andreote pela amizade e conselhos.

A Letícia Couto Garcia, pela ajuda na descrição das áreas estudadas e das espécies arbóreas presentes.

A Denise Mescolotti e Fernando Baldesin pela ajuda, carinho e pelo cuidado de verdadeiros pais.

Aos estagiários do Laboratório de Microbiologia do Solo, Marcos Vidotto e Jorge Melli pela amizade e ajuda com as análises.

Aos colegas do Laboratório de Microbiologia do Solo: Aline Figueiredo, André Nakatani, Carlos Ribeiro, Cristiane Alcântara, Daniel Bini, Daniela Ceconello, Danielle Gonçalves, Emiliana Romagnoli, Gabriela Marçal, Gustavo Lanza, Jamil Pereira, Joshua Halsey, Júlia Elídia, Júlia Cassiano, Júlia Segat, Letícia Cabral, Marina Horta, Mylenne Pinheiro, Paulo Roger, Pilar Mariani, Thiago Gumiere e, em especial, a Rafael Vasconcellos pela paciência, ajuda e pelas excelentes idéias e conselhos.

A todos os funcionários do Departamento de Ciência do Solo, em especial Marcos e Dorival pela ajuda nas coletas.

Aos meus pais José Luiz e Maria por estarem sempre do meu lado me apoiando e me dando toda força e amor necessários para continuar minha caminhada e por terem suportado a minha ausência todo esse tempo.

Aos meus irmãos Jerry e Juarez pela amizade e por não medirem esforços para me ajudar.

A toda a minha família, avô, avós, tios, tias, primos e primas (os Andrade e os Bonfim).

A meus colegas de pós-graduação: Roberta, Marta, Joseane, Sâmala, Sueli, Clévea, Osvaldo, Rodinei, Sílvia, Elisa, Joze, Eloise, Eloana, Angélica, Carol, Thalita, Diego, Maísa, Jaqueline, Márcio, Michele, Kátia, Anderson, Neilo, Raul, Fábio, em especial Sabrina, pela amizade e companheirismo.

Aos amigos que tanto me fortaleceram espiritualmente através de orações: Karina, Angélica, Alessandro, Pr. Valdir pai e filho, Eliana, Andrea, Astrid, Márcia, Maria Luiza, Viviane, Renata, David, Juliana, Dona Tica, Paulinho, Isabel, Sheila e Rafael.

Aos órgãos de apoio à pesquisa, CNPq e Fapesp, pelo apoio financeiro, tornando possível a execução desse trabalho

Enfim, meu muito obrigada a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão desse trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	11
LISTA DE ABREVIATURAS.....	13
1 INTRODUÇÃO	15
Referências	18
2 OCORRÊNCIA E DIVERSIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM FUNÇÃO DOS ATRIBUTOS DO SOLO EM GRADIENTE DE RESTAURAÇÃO AMBIENTAL	21
Resumo	21
Abstract.....	21
2.1 Introdução.....	22
2.2 Desenvolvimento.....	24
2.2.1 Material e Métodos	24
2.2.2 Resultados	28
2.2.3 Discussão	40
2.3 Conclusões	47
Referências	47
3 DIVERSIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM DIFERENTES PROFUNDIDADE DO SOLO EM ÁREAS REVEGETADAS DE MATA ATLÂNTICA	55
Resumo	55
Abstract.....	55
3.1 Introdução.....	56
3.2 Desenvolvimento.....	58
3.2.1 Material e Métodos	58
3.2.2 Resultados	62
3.2.3 Discussão	73
3.3 Conclusões	78
Referências	79
4 CONCLUSÕES GERAIS	83

APÊNDICES..... 87

RESUMO

Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em áreas restauradas de Mata Atlântica, São Paulo, Brasil

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são muito importantes para a nutrição mineral das plantas e para a recuperação de áreas degradadas, pois possibilitam um melhor desenvolvimento das espécies arbóreas usadas na revegetação. Entretanto, para um melhor desempenho dos FMA, as condições ambientais devem ser favoráveis, pois tanto a ocorrência quanto a diversidade desses fungos são bastante influenciados por diversos fatores como os químicos, físico e microbiológico do solo. Diferentes profundidades do solo devem ser consideradas para um levantamento mais detalhado. Avaliaram-se os atributos químicos, físicos e microbiológicos e, entre estes, a glomalina e a ocorrência e diversidade de FMA em diferentes profundidades (0-15 cm, 15-30 cm e 30-45 cm). As áreas selecionadas para estudo foram: nativa (NT) e em gradiente de recuperação ambiental: 5 anos (R05), 10 anos (R10) e 20 anos (R20), todas localizadas no Bioma Mata Atlântica, Estado de São Paulo, Brasil. As coletas de solo e raízes foram realizadas em dois períodos: janeiro (chuvoso) e junho (seco). A colonização radicular foi avaliada em três pontos de amostragem sendo: (A) na base do tronco, (B) distanciadas em 1m e (C) de plantas no entorno das árvores. Os esporos foram identificados e posteriormente foram calculados a abundância relativa, e os índices de riqueza (R), diversidade de Shannon (H) e dominância de Simpson (Is) das espécies de FMA. Os dados foram submetidos à análise de variância ANOVA, teste *t*, análise canônica discriminante (ACD) e análise de redundância (RDA). A colonização radicular foi maior para as áreas em estádios mais avançados de recuperação, nas raízes coletadas no ponto C e na época seca. A densidade de esporos de FMA, na época chuvosa, foi maior em R05 em todas as profundidades, enquanto que na época seca a densidade de esporos foi maior para R05 apenas em 0-15 cm, a partir de 15 cm uma maior densidade de esporos foi verificada para NT e R10. Considerando os dois períodos amostrados e as quatro áreas estudadas, foram identificadas 23 espécies de FMA, sendo os gêneros *Glomus* e *Acaulospora* os mais freqüentes. Um maior índice de riqueza (R) e diversidade (H) de espécies foi encontrado na área NT e nem sempre uma maior diversidade foi verificada nas camadas mais superficiais. Espécies do gênero *Acaulospora* (*Ac. mellea* e *Ac. scrobiculata*) e *Glomus* (*G. viscosum* e *G. sp2.*) foram sempre abundantes em todas as profundidades analisadas, enquanto que as espécies do gênero *Gigaspora*, *Ambispora* e *Racocetra* foram raras em todas as profundidades. A ACD indicou que *Glomus viscosum*, *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora mellea* e *Scutellospora heterogama* foram as espécies que mais contribuíram para distinguir as áreas e a RDA mostrou que dentre os atributos do solo, o pH, H+Al, carbono do solo, glomalina, umidade, microporosidade e densidade foram os que mais influenciaram a diversidade de FMA. A umidade, densidade e glomalina correlacionaram positivamente com o número de esporos, já o nitrato do solo apresentou uma correlação negativa.

Palavras-chave: Micorriza; Esporos; pH; Estatística multivariada; Áreas degradadas; Profundidade; Umidade

ABSTRACT

Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in restored areas of the Atlantic Forest, São Paulo, Brazil

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are very important for the recuperation of degraded land, because they enable better absorption of mineral nutrients by plants and favor the development of tree species used in revegetation. However, for greater efficiency of mycorrhizae the environmental conditions must be favorable, because the occurrence and diversity of these fungi are greatly influenced by several factors such as chemical, physical and microbiological soil attributes. Different soil depths should be considered for a more detailed survey. Chemical, physical and microbiological evaluations, including the soil glomalin content and the diversity of AMF at different depths (0-15 cm, 15-30 cm and 30-45 cm) were performed. The areas selected for study were: native forest (NT) and a gradient of environmental restoration and reforestation: five years (R05), 10 years (R10) and 20 (R20), all located in the Atlantic forest, State of Sao Paulo, Brazil. The samples of soil and roots were taken in two periods: January (rainy) and June (dry season). Root colonization was assessed at three sites as follows: (A) at the base of the tree trunk, (B) 1m away from the trunk, and (C) seedlings growing around the adult trees. Spores were identified and the relative abundance and richness indices (R), Shannon's diversity (H) and Simpson's dominance index (Is) of AMF were calculated. The data were analyzed using ANOVA, the t test, canonical discriminant analysis (CDA) and redundancy analysis (RDA). The root colonization was higher for areas with more advanced stages of recovery, in roots collected at point C and during the dry season. The density of spores in the rainy season was higher in R05 at all depths, while in the dry season the density of spores was higher for R05 only at 0-15 cm, and from 15 cm downwards a higher density of spores was observed for NT and R10. Considering the two periods and the four areas studied, we identified 23 AMF species, and the genera *Glomus* and *Acaulospora* were the most frequent. A higher richness (R) and diversity index (H) of species was found in the area NT. Not always the greatest diversity was found in the superficial layers. Species of *Acaulospora* (*Ac. scrobiculata* and *Ac. mellea*), *Glomus* (*Glomus* sp2. and *G. viscosum*) were always abundant at all depths, while the species of the genera *Gigaspora*, *Ambispora* and *Racocetra* were rare at all depths. The CDA indicated that *Glomus viscosum*, *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora mellea* and *Scutellospora heterogama* were the species that contributed most to distinguishing the areas and the RDA showed that among the soil characteristics, pH, H + Al, soil carbon, glomalin, humidity, microporosity and density were the attributes that most influenced the diversity of AMF. Moisture, density and glomalin were positively correlated with the number of spores, however, the soil nitrate showed a negative correlation.

Keywords: Mycorrhizae; Spores; pH; Multivariate statistics; Degraded areas; Depth; Moisture

LISTA DE ABREVIATURAS

- FMA - fungos micorrízicos arbusculares
- NT - área nativa
- R05 - área com 5 anos de recuperação ambiental
- R10 - área com 10 anos de recuperação ambiental
- R20 - área com 20 anos de recuperação ambiental
- C-CO₂ - Respiração Basal do Solo
- CBM - Carbono da Biomassa Microbiana
- qCO₂ - Quociente metabólico
- EE-BRSP - Glomalina facilmente extraível
- BRSP - Glomalina total
- P - Fósforo disponível
- Ca²⁺ - Cálcio trocável
- Mg²⁺ - Magnésio trocável
- K⁺ - Potássio trocável
- CTC - Capacidade de troca catiônica do solo
- CT - Carbono total do solo
- NO₃⁻ - Nitrato do solo
- NH₄⁺ - Amônio do solo
- R - Índice de riqueza
- Is - Índice de dominância de Simpson
- H - Índice de diversidade de Shannon
- RDA - análise de redundância
- ACD - análise canônica discriminante
- CCP - coeficiente canônico padronizado
- TDP - taxa de discriminação paralela

1 INTRODUÇÃO

A floresta de Mata Atlântica brasileira é considerada um dos três ecossistemas mais ameaçados do planeta. Com o processo intensivo de retirada da cobertura vegetal, visando à utilização da área para agricultura, pecuária, extração madeireira e ocupação humana, restam apenas 8% da área original (1.300.000 km², ou seja, 15% do território nacional) (COLOMBO; JOLY, 2010). O estado de São Paulo apresentava 82% de seu território ocupado por Mata Atlântica, mas atualmente restam apenas 7% da distribuição original (DOSSIÊ MATA ATLÂNTICA, 2001).

O intenso desmatamento da Floresta Atlântica tem despertado uma grande preocupação ambiental, pois se estima que esse ecossistema abrigue de 1 a 8% da biodiversidade mundial (LAGOS; MULLER, 2007). Muitas ações recuperadoras com implantação de espécies arbóreas nativas têm sido realizadas. E essas ações garantem a proteção e recuperação do ambiente degradado por meio do retorno das condições físicas e químicas do solo e de processos ecológicos vitais aos ecossistemas como o fluxo de energia e ciclagem de nutrientes. Dentre os micro-organismos no solo que auxiliam na sobrevivência e persistência das árvores usadas em programas de recuperação ambiental destacam-se os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) (CARRENHO et al., 2001; SCABORA et al., 2010; ZANGARO et al., 2002; MOREIRA et al., 2007).

Os FMA são muito importantes e comuns nos agroecossistemas naturais. Pertencem ao Filo *Glomeromycota*, Classe *Glomeromycetes* (Glomeromicetos) e são biotróficos obrigatórios, ou seja, dependem do estabelecimento da associação mutualística com as plantas hospedeiras para completar seu ciclo de vida (SMITH; READ, 1997; SCHÜßLER et al., 2001). Ao colonizar as raízes, estes fungos lançam suas redes de hifas no solo ampliando o volume de solo que seria explorado apenas pelas raízes, contribuindo para uma maior absorção de nutrientes minerais, P em especial. Em troca de todos esses benefícios as plantas fornecem substrato energético ao fungo, ocorrendo uma perfeita interação.

Como resultado do melhor estatus nutricional, a planta hospedeira passa a apresentar maior tolerância a estresses bióticos e abióticos. Além disso, seu micélio

externo é responsável pela exsudação de glicoproteínas hidrofóbicas chamadas glomalinas, que atuam como agentes cimentantes das partículas do solo, agindo diretamente na formação de agregados estáveis e armazenamento de carbono no solo (RILLIG et al., 2004; BAI et al., 2009).

Alguns benefícios proporcionados pelos FMA às plantas usadas no processo de recuperação de áreas degradadas são: maior vigor, maior capacidade de tolerar estresses climáticos, maior competitividade devido ao aumento na taxa de crescimento inicial, resistência às doenças e sobrevivência em solos pobres, já que a maior parte das áreas destinadas à revegetação é constituída de solos de baixa fertilidade e a micorriza ainda favorece a agregação do solo (ZANGARO et al., 2002; MOREIRA-SOUZA et al., 2003, MOREIRA et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2009).

Entretanto, recuperar os FMA de uma área degradada se constitui em uma tarefa difícil, pois, com perturbação no solo, causada pelas práticas agrícolas, ocorre grande perda da viabilidade dos esporos e rompimento das redes de hifas no solo, alterando a infectividade dos FMA, com pequena quantidade de propágulos capazes de iniciar a colonização micorrízica (ZANGARO et al., 2002). Muitas vezes a inoculação com espécies de FMA nativos ou com espécies introduzidas pode facilitar a formação da associação micorrízica, em menor período de tempo. Entretanto, não se pode fazer expectativas em torno da utilização de inóculos de FMA selecionados, pois os conhecimentos sobre o funcionamento destes em condições de campo ainda são insuficientes.

A dinâmica dos FMA nos solo é bastante influenciada pelas condições ambientais, principalmente pelos fatores físicos (temperatura, umidade, aeração, luz), químicos (pH, disponibilidade de nutrientes, salinidade, metais pesados, etc.) e fatores biológicos (competição, associação, antagonismo, parasitismo, etc). Um melhor entendimento sobre a biologia e ecologia dos FMA e sobre os atributos do solo que estejam interferindo na ocorrência e diversidade desses fungos, são requisitos básicos para uma melhor exploração do potencial desta associação e assim proporcionar um melhor desenvolvimento das plantas bem como aumentar a sobrevivência e persistência de espécies fúngicas importantes em determinado ambiente.

Além disso, existe uma urgente necessidade de realização de levantamentos da comunidade de FMA em ecossistemas ameaçados como o da Mata Atlântica, pois este abriga espécies de FMA ainda não descritas pela ciência (DE SOUZA et al., 2010). Atualmente, os glomeromicetos estão classificados em quatro ordens, treze famílias e dezenove gêneros, com pouco mais de 215 espécies descritas e uma grande diversidade de FMA tem sido reportada nos ecossistemas brasileiros, com 119 espécies registradas (DE SOUZA et al., 2010).

No Brasil, alguns estudos desenvolvidos mostram a ocorrência dos FMA em ecossistema de Mata Atlântica (TRUFEM; VIRIATO, 1990; CARRENHO et al., 2001; MOREIRA-SOUZA et al., 2003; MOREIRA et al., 2007). No entanto, ainda são poucos os que tratam do estudo dos FMA em áreas de Mata Atlântica em processo de recuperação. E em geral, a diversidade de espécies de FMA, do contrário do número de esporos têm sido menor em áreas que se encontram nos estádios iniciais de uma sucessão do que nas áreas em sucessão mais avançada ou floresta madura (AIDAR et al., 2004; STÜRMER et al., 2006; ZANGARO et al., 2008). As espécies de FMA *Glomus* e *Acaulospora* têm sido reportadas como as mais comuns em diversas áreas de Floresta Atlântica (AIDAR et al., 2004; STÜRMER et al., 2006; MOREIRA et al., 2007).

Entretanto, esses estudos sobre taxonomia de FMA na Floresta Atlântica se limitam às camadas mais superficiais do solo, existindo uma escassez de trabalhos sobre a diversidade de FMA nas camadas mais profundas. Muitas alterações das propriedades físicas e químicas do solo com a profundidade relacionam-se com a distribuição dos FMA ao longo do perfil do solo e algumas espécies podem prevalecer em detrimento de outras (CUENCA; LOVERA, 2010). Dessa forma, para uma melhor caracterização da comunidade micorrízica de determinado ambiente, necessita-se de um estudo mais detalhado, levando-se em consideração diferentes profundidades do solo.

O presente estudo teve como objetivos verificar a influência de fatores físicos, químicos e microbiológicos sobre a ocorrência e diversidade de FMA e, ainda, verificar a distribuição vertical da diversidade dos FMA e colonização radicular de espécies arbóreas em áreas de matas ciliares pertencentes ao Bioma Mata Atlântica no Estado de São Paulo, Brasil, num gradiente de recuperação ambiental em dois períodos de

amostragem: janeiro e junho, correspondendo respectivamente a período de chuva e de seca.

Referências

AIDAR, M.P.M.; CARRENHO, R.; JOLY, C.A. Aspects of arbuscular mycorrhizal fungi in an Atlantic Forest chronosequence in Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), SP. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 4, p. 1-15, 2004.

BAI, C.; HE, X.; TANG, H.; SHAN, B.; ZHAO, L. Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi, glomalin and soil enzymes under the canopy of *Astragalus adsurgens* Pall. in the Mu Us sandland, China. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 41, p. 941-947, 2009.

CARRENHO, R.; TRUFEM, S.F.B.; BONONI, V.L.R. Fungos micorrízicos arbusculares em rizosferas de três espécies de fitobiontes instaladas em área de mata ciliar revegetada. **Acta Botânica Brasílica**, São Paulo, v. 15, p. 115-124, 2001.

COLOMBO, A.F.; JOLY, C.A. Brazilian Atlantic Forest lato sensu: the most ancient Brazilian forest, and a biodiversity hotspot, is highly threatened by climate change. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 70, p. 697-708, 2010.

CUENCA, G.; LOVERA, M. Seasonal variation and distribution at different soil depths of arbuscular mycorrhizal fungi spores in a tropical sclerophyllous shrubland. **Botany**, Ottawa, v. 88, p. 54-64, 2010.

DE SOUZA, F.A.; STUMER, S.L.; CARRENHO, R.; TRUFEM, S.F.B. Classificação e taxonomia de fungos micorrízicos arbusculares e sua diversidade e ocorrência no Brasil. In: SIQUEIRA, J.O.; DE SOUZA, F.A.; CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M. **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras: Editora UFLA, 2010. v. 1, p. 15-75.

DOSSIÊ MATA ATLÂNTICA. **Projeto de monitoramento participativo da Mata Atlântica**. São Paulo: Instituto Sócioambiental, 2001. 409 p.

LAGOS A.R.; MULLER, B.L.A. Mata Atlântica: Hotspot Brasileiro. **Saúde e Ambiente**. Duque de Caxias, v. 2, p. 35-45, 2007.

MOREIRA, M.; BARETTA, D.; TSAI, S.M.; GOMES-DA-COSTA, S.M.; CARDOSO, E.J.B.N. Biodiversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in *Araucaria angustifolia* forest. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, p. 393-399, 2007.

MOREIRA-SOUZA, M.; TRUFEM, S.F.B.; GOMES-DA-COSTA, S.M.; CARDOSO, E.J.B.N. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Araucaria angustifolia* (Bert.) O.Ktze. **Mycorrhiza**, New York, v. 13, p. 211-215, 2003.

OLIVEIRA, J.R.G. de; SOUZA, R.G. de; SILVA, F.S.B. da; MENDES, A.S.M.; YANO-MELO, A.M. O papel da comunidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) autóctones no desenvolvimento de espécies vegetais nativas em área de dunas de restinga revegetadas no litoral do Estado da Paraíba. **Revista Brasileira Botânica**, São Paulo, v. 32, p. 663-670, 2009.

RILLIG, M.C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 28, p. 355-363, 2004.

SCABORA, M.H.; MALTONI, K.L.; CASSIOLATO, A.M.R. Crescimento, fosfatase ácida e micorrização de espécies arbóreas, em solo de cerrado degradado. **Bragantia**, Campinas, v. 69, p. 445-451, 2010.

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

SMITH, S.E.; READ, D.J. **Mycorrhizal symbiosis**. 2nd ed. New York: Academic Press, 1997. 605 p.

STÜRMER, S.L.; KLAUBERG FILHO, O.; QUEIROZ, M.H.D.; MENDONÇA, M.M.D. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in soils of early stages of a secondary succession of Atlantic Forest in South Brazil. **Acta Botanica Brasílica**, Feira de Santana, v. 20, p. 513-521, 2006.

ZANGARO, W.; NISIZAKI, S.M.A.; DOMINGOS, J.C.B.; NAKANO, E.M. Micorriza arbuscular em espécies arbóreas nativas da bacia do Rio Tibagi, Paraná. **Cernea**, Lavras, v. 8, p. 77-87, 2002.

ZANGARO, W.; ASSIS, R.L.D.; GONÇALVES, M.C.; ANDRADE, G.; NOGUEIRA, M.A. Changes in arbuscular mycorrhizal associations and fine root traits in sites under different plant successional phases in Southern Brazil. **Mycorrhiza**, New York, v. 19, p. 37-45, 2008.

2 OCORRÊNCIA E DIVERSIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM FUNÇÃO DOS ATRIBUTOS DO SOLO EM GRADIENTE DE RESTAURAÇÃO AMBIENTAL

Resumo

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) têm grande importância para o sucesso da regeneração de áreas naturais degradadas. Objetiva-se com esse trabalho verificar a influência de fatores químicos, físicos e microbiológicos sobre a ocorrência e diversidade dos FMA em áreas de matas ciliares pertencentes ao Bioma Mata Atlântica no Estado de São Paulo, Brasil, sendo: uma área nativa (NT) e três áreas em gradiente de recuperação ambiental, com cinco (R05), dez (R10) e vinte anos de recuperação (R20). Foram coletadas 15 amostras de solo em cada área nas épocas chuvosa (janeiro) e seca (junho). Realizaram-se análises químicas, físicas e microbiológicas, e, entre estas, a presença de glomalina e quantificação de esporos de FMA. Foram calculados a frequência de ocorrência dos gêneros e os índices de riqueza (R), de diversidade de Shannon (H) e de dominância de Simpson (Is) das espécies de FMA. Maior número de esporos foi encontrado na área R05 e maior índice de riqueza (R) e diversidade (H) de espécies na área NT. Considerando os dois períodos amostrados e as quatro áreas estudadas, foram identificadas 23 espécies de FMA, sendo os gêneros *Glomus* e *Acaulospora* os mais frequentes. A ACD (Análise canônica discriminante) indicou que *Glomus viscosum*, *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora mellea* e *Scutellospora heterogama* foram as espécies que mais contribuíram para distinguir as áreas e a RDA (Análise de redundância) mostrou que dentre os atributos do solo, o pH, H+Al, carbono do solo, glomalina, umidade, microporosidade e densidade foram os que mais influenciaram a diversidade de FMA. A umidade, densidade e glomalina correlacionaram positivamente com o número de esporos, já o nitrato do solo apresentou uma correlação negativa.

Palavras-chaves: Micorriza; Número de esporos; Diversidade de espécies; Degradação do solo; Floresta Atlântica

Abstract

Arbuscular Mycorrhizal fungi (AMF) have great importance for the successful regeneration of degraded natural areas. The objective of this study was to examine the influence of chemical, physical and microbiological features on the occurrence and diversity of AMF in riparian areas belonging to the Atlantic Forest Biome in the State of Sao Paulo, Brazil, being: a native forest area (NT) and a gradient of environmental restoration, comprehending three areas in recuperation, respectively five (R05), ten (R10), and twenty (R20) years after reforestation. Soil samples were collected in the rainy (January) and dry season (June). Chemical, physical and microbiological analyses were performed and, among these, the amount of glomalin and quantification of AMF spores. The frequency of occurrence of genera and ecological indices, as Richness (R), Shannon's diversity (H) and Simpson's dominance index (Is) were calculated. A higher number of spores were found in R05 and the highest richness and diversity indices of AMF species in NT. Considering the two sampling periods and the four areas studied,

we found 23 AMF species, and the genera *Glomus* and *Acaulospora* were the most frequent. The CDA (Canonical Discriminant Analysis) showed that *Glomus viscosum*, *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora mellea* and *Scutellospora heterogama* were the species that contributed most to distinguishing the areas and RDA (Redundancy Analysis) showed that among the soil characteristics, pH, H + Al, soil carbon, glomalin, humidity, density and microporosity most influenced the diversity of AMF. Moisture, density and glomalin were positively correlated with the number of spores, however, the soil nitrate showed a negative correlation.

Keywords: Mycorrhizae; Spore number; Species diversity; Soil degradation; Atlantic Forest

2.1 Introdução

As áreas do Bioma Mata Atlântica vêm passando por um processo intensivo de retirada da cobertura vegetal, cedendo lugar a atividades humanas como agricultura, pastagens, extração madeireira e estabelecimento de cidades (COLOMBO; JOLY, 2010). Tal fato tem gerado uma grande preocupação ambiental, pois, além de estar provocando o assoreamento de reservatórios de água, erosão e perda de nutrientes do solo, ocorre uma grande redução da biodiversidade (LAGOS; MULLER, 2007; OLIVEIRA et al., 2009). A situação se agrava, pois, ecossistemas degradados apresentam baixa resiliência o que dificulta o retorno às suas condições originais, podendo não ocorrer esse retorno ou ser extremamente lento (ZANGARO et al., 2002). A revegetação com espécies arbóreas nativas ou a adaptação de espécies exóticas é uma forma de mitigar o problema (CARRENHO et al., 2001; SCABORA et al., 2010), pois proporciona a regeneração do solo, com aumento na produção de matéria orgânica, elevação dos teores de nutrientes, bem como a recuperação da comunidade microbiana do solo. Esta última tem importante função nas transformações químicas que equilibram e sustentam os ecossistemas naturais (MARTINS et al., 1999; AIDAR et al., 2004; MENDES FILHO, 2010).

Para o sucesso da recuperação de uma área degradada é importante que a plântula consiga absorver com eficiência água e os nutrientes do solo necessários nos primeiros estádios de desenvolvimento e suportar os estresses impostos pelo ambiente

(CARRENHO et al., 2001). Nesse contexto, os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) desempenham um papel fundamental, visto formarem associação micorrízica arbuscular com 80% das plantas vasculares (SMITH; READ, 1997; WANG; QIU, 2006). A formação dessa simbiose proporciona maior vigor para as plantas, maior capacidade de tolerar estresses climáticos, maior competitividade devido ao aumento na taxa de crescimento inicial, resistência às doenças e sobrevivência em solos pobres (ZANGARO et al., 2002; MOREIRA-SOUZA et al., 2003, MOREIRA et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2009). Além dos benefícios proporcionados às plantas, os FMA trazem melhoria na estruturação dos solos. Seu micélio externo é responsável pela exsudação de glicoproteínas hidrofóbicas chamadas glomalinas, que atuam como agentes cimentantes das partículas do solo, agindo diretamente na formação de agregados estáveis, além e favorecer os estoques de carbono no solo (BAI et al., 2009; PURIN; RILLIG, 2007; RILLIG et al., 2010).

No Brasil, alguns estudos mostram a ocorrência dos FMA nos ecossistema de Mata Atlântica (TRUFEM; VIRIATO, 1990; CARRENHO et al., 2001; MOREIRA-SOUZA et al., 2003; MOREIRA et al., 2009). Entretanto, ainda são poucos os que tratam dos FMA em áreas de Mata Atlântica em processo de recuperação. E, em geral, a diversidade de espécies de FMA, do contrário do número de esporos têm sido menor em áreas de Floresta Atlântica que se encontram nos estádios iniciais de uma sucessão do que nas áreas em sucessão mais avançada ou floresta madura (AIDAR et al., 2004; STÜRMER et al., 2006; ZANGARO et al., 2008).

Diversas hipóteses têm sido apresentadas para ajudar a explicar as diferenças na abundância dos esporos e na diversidade de espécies de FMA em ambientes de Mata Atlântica em distintas fases de sucessão, existindo ainda muitas suposições com relação a esse tema. Devido a essa lacuna existente, além dos levantamentos das espécies de FMA presentes, uma importante tarefa é entender como a ocorrência e diversidade dos FMA é influenciada pelos atributos do solo (físicos, químicos e microbiológicos). E ainda, fica cada vez mais evidente a necessidade de se conhecer a taxonomia destes fungos a fim de identificar espécies mais adaptadas a determinados ambientes ou que são mais sensíveis à intervenção antrópica.

O objetivo desse trabalho foi verificar a influência de fatores físicos, químicos e microbiológicos sobre a ocorrência e diversidade dos FMA, bem como tentar entender a dinâmica desses fungos no processo de recuperação de áreas degradadas de matas ciliares, pertencentes ao Bioma Mata Atlântica no Estado de São Paulo, Brasil, em gradiente de recuperação ambiental.

2.2 Desenvolvimento

2.2.1 Material e Métodos

Caracterização das áreas estudadas

Foram escolhidas para estudo uma área nativa (NT) e três áreas com diferentes idades de recuperação ambiental, sendo: R05 (5 anos), R10 (10 anos) e R20 (20 anos). Todas as áreas são de matas ciliares pertencentes ao Bioma Mata Atlântica e reconhecidas como fragmentos da floresta Estacional Semidecidual, localizadas no Estado de São Paulo, Brasil (Tabela 2.1). O clima das áreas, segundo a classificação de Köpen é Cwa: mesotérmico ou subtropical úmido. Trata-se de clima estacional, com verão chuvoso (setembro-março) e inverno seco (abril-agosto), com temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C e a média do mais quente entre 23°C e 24°C. A pluviosidade média anual nas áreas é de 1.100 a 1.700 mm.

As áreas anteriormente eram cultivadas com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e para recuperação destas foi adotado o modelo fundamentado nos conceitos de sucessão secundária; utilização de espécies nativas regionais, variando entre espécies pioneiras, secundárias iniciais e secundárias tardias ou clímax (RODRIGUES; GANDOLFI, 2000).

Tabela 2.1 - Descrição das áreas selecionadas para estudos, ecossistema de Mata Atlântica, Estado de São Paulo, Brasil

Área	Município	Localização geográfica	Tamanho da área (ha)	Número de espécies usadas na revegetação	Tipo de solo
NT	Campinas	22°50'13"S - 46°55'58"W	233	-	Argissolo* Vermelho-Amarelo
R20	Itacemópolis	22°35'S - 47°31'W	20	140	Latossolo Vermelho distroférico
R10	Santa Bárbara d'Oeste	22°49'06"S - 47°24'53"W	30	80	Argissolo Amarelo
R05	Piracicaba	22°42'02"S - 47°38'32"W	16	25	Nitossolo Vermelho eutroférico

*Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006)

As áreas selecionadas foram divididas em 30 parcelas de 10mx10m, escolhendo-se ao acaso 15 quadrantes. Em cada quadrante foram coletadas três amostras simples de solo que posteriormente constituíram uma amostra composta. As amostras foram coletadas com auxílio de um trado na profundidade de 0-15 cm, sendo estas realizadas em dois períodos, janeiro (época de chuvas e temperaturas elevadas) e junho de 2010 (época de seca e temperaturas amenas).

Análises químicas e físicas do solo

As análises químicas do solo foram feitas seguindo as metodologias descritas por Raij et al. (2001). O pH do solo foi determinado através de um pHmetro em uma solução de CaCl_2 0,01M. O Ca^{2+} , P e Mg^{2+} foram extraídos com uma resina de troca iônica. P foi quantificado colorimetricamente usando molibdato de amônio, enquanto que o Ca^{2+} e Mg^{2+} foram medidos por espectrofotometria de absorção atômica, o K^+ foi extraído do solo por Mehlich 1 (HCl 0,05 M + H_2SO_4) e quantificado por fotometria de chama. O Alumínio foi extraído com KCl 1M e quantificado por titulometria. O N-NH_4^+ e o N-NO_3^- do solo foram determinados por destilação (COELHO et al., 1992). O carbono total do solo (CT) foi verificado pelo método de combustão total utilizando o analisador elementar LECO-CN 2000.

Para as análises de densidade, microporosidade e macroporosidade foram coletadas 15 amostras indeformadas de solo em anéis volumétricos de 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura, na profundidade de 0-20 cm. As análises de umidade foram feitas por amostras deformadas coletadas na profundidade de 0-15 cm e as proporções de areia, silte e argila foram determinadas pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997).

Extração e identificação de esporos de FMA do solo

Os esporos foram extraídos de uma amostra de 50 g de solo segundo metodologia descrita por Gerdemann e Nicolson (1963), passados por peneiras de 0,71 mm e 0,045 mm em seqüência e centrifugados em água destilada, 3000 rpm durante três minutos e, em solução aquosa de sacarose 70%, a 2000 rpm, por dois minutos; esta etapa foi repetida 2 vezes. Os esporos foram contados sob microscópio estereoscópico com aumento de 40 vezes e, posteriormente, foram separados por grupos de morfologia semelhante. Os grupos de esporos de FMA foram transferidos e montados em lâminas semi-permanentes, com resina de álcool polivinílico e glicerol (PVLG) e em reagente de Melzer.

A identificação foi feita ao nível de espécie utilizando um microscópio óptico (100 a 400X), com o auxílio do manual de Schenck e Pérez (1990), descrições fornecidas pela Coleção Internacional de Fungos Micorrízicos Arbusculares e Vesiculares (invam <http://.caf.wvu.edu>). Estimou-se a número de esporos total e a de cada espécie, por meio do número de esporos presentes em 50 g de solo.

Após a identificação das espécies de FMA foram determinados: a abundância relativa de cada gênero, calculada em cada época de amostragem, seguindo a equação $AR = (J_i / K) \times 100$, em que AR = abundância relativa do gênero i; J_i = número de esporos de cada gênero e K = número total esporos na amostra; a riqueza de espécies (R), avaliada pelo número de espécies presentes em 50 g de solo, o índice de dominância de Simpson (Is) [$Is = 1-L$], onde: $L = \sum n_i (n_i - 1) / N (N-1)$, n_i = número esporos de cada espécie de FMA "i", N = número total de espécies de fungos micorrízicos, e o índice de diversidade de Shannon (H) [$H = - \sum (p_i \log p_i)$], onde: $p_i = n_i / N$; n_i = número de cada espécie de FMA, N = número total de espécies.

Análise de Glomalina

A glomalina do solo foi quantificada segundo o ensaio de Bradford (1976), modificado por Wright e Upadhyaya (1998). Dessa forma, segundo a nova nomenclatura proposta por Rillig et al. (2004) a concentração de glomalina total será denominada de BRSP (*bradford related soil protein* - proteína do solo relacionada com bradford) e a facilmente extraível será EE-BRSP (*easily extractable BRSP*).

Para a quantificação de BRSP, a extração foi feita pesando 1 g de solo em tubos de centrifuga (resistentes ao calor) com posterior adição de 8 mL de citrato de sódio (50 mM; pH 8,0) o qual foi submetido a 3 ciclos de autoclavagem (até que o extrato passou da cor característica, castanho-avermelhada, para a cor amarela) a 121°C, cada ciclo com duração de 1 hora. O extrator foi separado do solo através de centrifugação a 5.000 RPM durante 10 minutos.

A EE-BRSP foi quantificada com apenas um ciclo de autoclavagem com 2 ml de citrato de sódio (20 mM; pH 7,0) por 30 min, após centrifugação (5.000 g por 15 min). A proteína nos sobrenadantes foi quantificada através do ensaio de Bradford, usando soro de albumina bovina como padrão (WRIGHT et al., 1996). Para detectar a presença de glomalina usou-se o reagente de Bradford (Coomassie Brilliant Blue G-250), ocorrendo uma mudança de cor (azul). Posteriormente foi realizada a leitura em espectrofotômetro (595 nm), tendo como curva padrão soro albumina bovina (BSA).

Carbono da Biomassa Microbiana e Respiração Basal do Solo

O Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) foi estimado pelo método de fumigação-extração (VANCE et al., 1987). A atividade microbiana foi determinada através da respiração basal do solo (C-CO₂) em amostras de 50 g de solo incubadas por 20 dias, a 28°C. O CO₂ liberado foi capturado em solução de NaOH 50 mmol L⁻¹, precipitado com solução de BaCl₂. 2H₂O 0,5 mol L⁻¹, e quantificado por titulação do NaOH remanescente com HCl 50 mmol L⁻¹ na presença de fenolftaleína (ALEF; NANNIPIERI, 1995). O quociente metabólico (qCO_2) que representa a taxa de liberação de C-CO₂ por unidade de C na biomassa microbiana, foi calculado a partir dos resultados de atividade respiratória basal e do CBM.

Os dados referentes ao Carbono da Biomassa Microbiana, Respiração Basal do Solo e Glomalina fazem parte da tese de doutorado do aluno Rafael Leandro de Figueiredo Vasconcellos.

Análises estatísticas dos dados

Para análise estatística o número de esporos foi transformado para $(x + 0,5)^{0,5}$. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa SAS (SAS INSTITUTE, 2008). Realizou-se a análise de variância e em seguida o teste *t de Student* foi empregado para comparar as médias das características físicas, químicas e microbiológicas do solo. Análises de correlação de Pearson foram executadas para relacionar as variáveis estudadas com o número de esporos.

Os valores dos atributos (físicos, químicos e microbiológicos) foram submetidos à análise de redundância (RDA) pelo programa CANOCO versão 4.0, a fim de obter variáveis explicativas das modificações da diversidade dos FMA do solo (BARETTA et al., 2006). Adicionalmente foi realizada uma análise canônica discriminante (ACD) para verificar quais espécies de FMA mais contribuem para uma melhor separação entre os ecossistemas estudados. Para saber a contribuição de cada espécie para explicar a variância total e separar as diferentes áreas, foram calculados os valores de coeficiente de correlação canônica (*r*), coeficiente canônico padronizado (CCP) e coeficiente da taxa de discriminação paralela (TDP), a qual é o produto dos coeficientes CCP e *r* (TDP= CCP x *r*) (BARETTA et al., 2006). As médias do CCP foram comparadas pelo teste LSD ($p < 0,05$).

2.2.2 Resultados

Atributos físicos, químicos e microbiológicos

As áreas R05 e R20 apresentam as maiores quantidades de argila, microporos e maior teor de umidade do que as demais. A área R10 apresentou os maiores valores de CTC, SB, P e K. O CT e o nitrato do solo formaram um gradiente com maiores valores sendo verificados na área NT, seguidos pelas áreas R20, R10 e R05. Maiores valores de amônio foram encontrados na área NT e R10 e posteriormente nas áreas R20 e R05 (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 - Características físicas e químicas das áreas nativa (NT) e em gradiente de recuperação ambiental (R20, R10 e R05), janeiro de 2010, ecossistema de Mata Atlântica, São Paulo, Brasil

Características	NT	R20	R10	R05
Físicas				
Densidade (g cm ⁻³)	1,33 b*	1,37 b	1,57 a	1,58 a
Microporos (m ³ m ⁻³)	0,27 c	0,41 a	0,32 b	0,41 a
Macroporos (m ³ m ⁻³)	0,21 a	0,1 b	0,09 b	0,05 c
Umidade (%)	16,18 c	21,98 b	16,1c	24,52 a
Areia total (g kg ⁻¹)	612	345	646	331
Silte (g kg ⁻¹)	137	71	54	135
Argila (g kg ⁻¹)	251	584	301	534
Químicas				
pH CaCl ₂	4,66 bc	4,47c	4,71 b	4,93 a
P disponível (mmol _c kg ⁻¹)	13,14 b	4,53 c	22,87 a	16,27 b
K ⁺ (mmol _c kg ⁻¹)	117,1 b	40,13 c	195,4 a	43,5 c
Ca ²⁺ (mmol _c kg ⁻¹)	36,53 a	17,87 b	22,7 b	39,7 a
Mg ²⁺ (mmol _c kg ⁻¹)	10,87 a	8,8 bc	7,53 c	10,53 a
Al ³⁺ (mmol _c kg ⁻¹)	5,16 a	2,25 c	4,5 b	1,85 c
H+Al (mmol _c kg ⁻¹)	53,87 b	33,7 c	80,2 a	61,07 b
NH ₄ ⁺ (µg g ⁻¹)	10,34 a	7,22 ab	9,78 a	4,2 b
NO ₃ ⁻ (µg g ⁻¹)	1302,7 a	684,9 b	418,6 c	189,9 d
CT (%)	3,91 a	2,44 b	2,28 b	1,92 c
CTC (mmol _c kg ⁻¹)	218,37 b	100,47 d	305,8 a	154,8 c
SB (%)	164,5 b	66,8 d	225,6 a	93,73 c

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste *t* (p<0.05).

Para as duas épocas de amostragem o C-CO₂ foi maior na área NT, seguido pelas áreas R20, R10 e R05, já o CBM foi maior nas áreas NT e R20 em comparação com R10 e R05 (Tabela 2.3). O qCO₂, não diferiu entre as áreas na época chuvosa, entretanto na época seca maiores valores foram observados para NT, R10 e R05 que foram significativamente semelhantes entre si.

A EE-BRSP foi maior na área NT, para as duas épocas de amostragem (Tabela 2.3). Já a BRSP foi maior nas áreas NT e R05 na época chuvosa, enquanto que na época seca não foram verificadas diferenças significativas entre as áreas. Tanto a EE-BRSP quanto a BRSP mostraram maiores valores na época seca.

Tabela 2.3 - Respiração Basal (C-CO₂), Carbono da Biomassa Microbiana (CBM), quociente metabólico (qCO₂), Glomalina facilmente extraível (EE-BRSP) e Glomalina total (BRSP) nas áreas Nativa (NT) e em gradiente de recuperação ambiental (R20, R10 e R05), ecossistema de Mata Atlântica, janeiro (época chuvosa) e junho (época seca) de 2010, Estado de São Paulo, Brasil

Variáveis	NT	R20	R10	R05
Chuvosa				
C-CO ₂ (µg CO ₂ g de solo seco ⁻¹ dia ⁻¹)	101.24 a* A	71.99 b A	58.89 bc A	47.19 c A
CBM (µg C g solo ⁻¹)	209.94 a A	172.43 a B	109.35 b A	104.18 b B
qCO ₂ (µg C-CO ₂ /µg CBM h ⁻¹)	0,53 a A	0,55 a A	0,58 aA	0,61 a A
EE-BRSP (mg g solo seco ⁻¹)	1,73 a B	1,42 b B	1,13 c B	1,33 bc B
BRSP (mg g solo seco ⁻¹)	2,29 a B	1,45 b B	1,26 b B	1,81 ab B
Seca				
C-CO ₂ (µg CO ₂ g de solo seco ⁻¹ dia ⁻¹)	83,79 a A	50,96 b A	55,65 b A	49,75 b A
CBM (µg C g solo ⁻¹)	243,20 a A	220,13 a A	137,86 b A	167,95 b A
qCO ₂ (µg C-CO ₂ /µg CBM h ⁻¹)	0,35 a B	0,23 b B	0,44 a B	0,35 a B
EE-BRSP (mg g solo seco ⁻¹)	2,62 a A	1,82 b A	1,67 b A	1,82 b A
BRSP (mg g solo seco ⁻¹)	2,65 a A	1,81 a A	2,18 a A	2,77 a A

*Letras minúsculas na linha comparam as áreas e letras maiúsculas nas colunas comparam as épocas de amostragem pelo teste *t* (p<0.05).

Número de esporos de FMA

O número total de esporos de FMA contados durante todo o período foi de 453 esporos em 50 g de solo seco. Nas duas épocas de amostragem, o número de esporos diferiu estatisticamente entre as áreas. A área R05 apresentou maior número de esporos, seguida pelas áreas NT, R10 e R20 nas duas épocas (Figura 2.1). Apenas em R05 o número de esporos diferiu entre as épocas chuvosa e seca, sendo seu valor maior na época chuvosa.

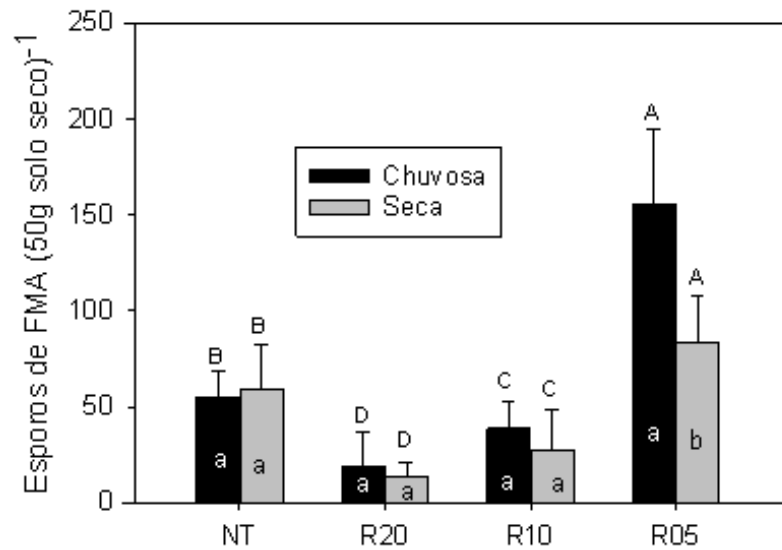


Figura 2.1 - Número de esporos de FMA nas áreas: Nativa (NT) e em gradiente de recuperação ambiental (R20, R10 e R05), ecossistema de Mata Atlântica, época chuvosa (janeiro) e seca (junho), Estado de São Paulo, Brasil (n=15). Letras maiúsculas comparam as áreas no mesmo período e letras minúsculas comparam a mesma área em diferentes períodos pelo teste *t* ($p < 0.05$)

Diversidade de FMA

Considerando os dois períodos amostrados e as quatro áreas estudadas, foram identificadas 23 espécies de FMA (Tabela 2.4). O gênero *Glomus* apresentou uma alta riqueza de espécies, com mais de 30% das espécies encontradas (7 espécies). Os gêneros *Acaulospora* e *Gigaspora* também apresentaram uma alta diversidade com 26% (6 espécies) e 22% (5 espécies), respectivamente. A área NT apresentou maior número de espécies, seguida pelas áreas R20, R10 e R05.

Tabela 2.4 - Números de esporos de FMA identificados (50 g de solo seco) na área Nativa (NT), e em gradiente de recuperação ambiental (R20, R10 e R05), ecossistema de Mata Atlântica, época chuvosa e seca, Estado de São Paulo, Brasil, 2010. (média de 15 repetições)

Espécies de FMA	Chuvosa				Seca			
	R05	R10	R20	NT	R05	R10	R20	NT
<i>Ambispora appendicula</i> (Spain, Sieverd. e Schenck) Spain, Oehl & Sieverd	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Acaulospora mellea</i> Spain & Schenck	15	4	6	3	24	2	5	5
<i>Ac. foveata</i> Trappe & Janos,	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Ac. colossica</i> Schultz, Bever & Morton	0	0	0	2	0	0	0	1
<i>Ac. scrobiculata</i> Trappe	19	12	2	7	21	12	1	3
<i>Ac. spinosa</i> Walker & Trappe	0	0	0	1	0	0	0	3
<i>Ac. lacunosa</i> Morton	0	0	1	2	0	0	0	3
<i>Gigaspora decipiens</i> Hall & Abbott	0	0	1	2	0	0	1	1
<i>Gi. rosea</i> Nicolson & Schenck,	0	0	1	0	0	2	1	0
<i>Gi. albida</i> Schenck & Sm	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Gigaspora</i> sp1	0	0	0	2	0	0	0	0
<i>Gigaspora</i> sp2	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Glomus geosporum</i> (Nicolson & Gerd.) Walker	0	1	0	2	0	4	0	0
<i>Glomus viscosum</i> Nicolson	62	0	0	0	15	0	0	0
<i>Glomus</i> sp1	0	8	6	11	0	0	0	20
<i>Glomus</i> sp2	54	13	5	16	22	4	4	5
<i>Glomus</i> sp3	0	0	0	8	0	0	0	10
<i>Glomus</i> sp4	0	0	0	0	0	0	3	0
<i>Glomus</i> sp5	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Racocetra intraornata</i> Goto, Maia & Oehl	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Scutellospora heterogama</i> (Nicolson e Gerd.) Walker & Sanders	4	0	1	1	1	2	0	0
<i>S. pellucida</i> (Nicol. & Schenck) Walker e Sanders	0	0	0	0	0	0	2	0
Total de esporos	154	38	23	57	83	28	17	56

Algumas espécies foram exclusivas para a época seca: *Ambispora appendicula*, *Gigaspora* sp2, *Glomus* sp5, *Racocetra intraornata* em NT; *Gigaspora* sp1, *Glomus* sp4 e *Scutellospora pellucida* em R20; *Acaulospora foveata*, *Gigaspora albida* em R10, enquanto que outras apareceram somente na época chuvosa: *Gigaspora* sp1, *Scutellospora heterogama* em NT; *Acaulospora lacunosa* e *Glomus* sp1 em R20; *Glomus* sp1 em R10. Apenas em R05 as espécies não alteraram com a época de amostragem.

Na área NT, o gênero *Glomus* apresentou uma maior abundância relativa nas duas épocas de amostragem (67% na época chuvosa e 62% na época seca) (Figura 2.2). Na área R20, uma maior abundância relativa foi observada para os gêneros *Glomus* (56% na época chuvosa e 46% na época seca) e *Acaulospora* (40% na época chuvosa e 37% na época seca). Na área R10 e R05 a abundância relativa do gênero *Glomus* foi maior na época chuvosa (57% e 75% respectivamente) do que na época seca (28% e 44% respectivamente).

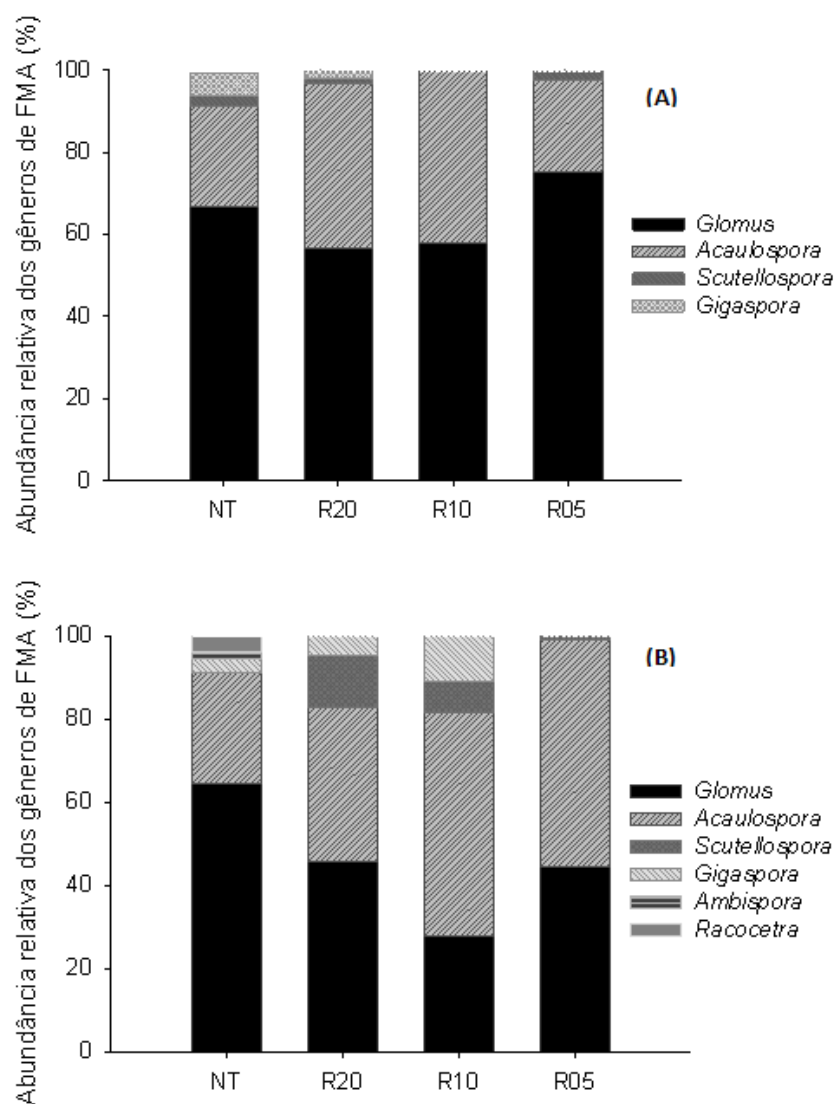


Figura 2.2 - Abundância relativa dos gêneros de FMA baseado na ocorrência de esporos na área Nativa (NT) e em gradiente de recuperação ambiental (R05, R10 e R20); (A) época chuvosa e (B) época seca, São Paulo, Brasil, 2010

Os índices de riqueza (R) e diversidade (H) foram maiores em NT nas duas épocas (Figura 2.3). O índice de dominância (Is) foi maior na época chuvosa para áreas R05, R10 e R20. Já na época seca, Is foi maior em R10 e menor em NT. Entre as épocas, verifica-se que os índices H e Is não diferiram estatisticamente, exceto para R10, assumindo maiores valores de H na época chuvosa e de Is na época seca. O R não diferiu estatisticamente entre as épocas para todas as áreas.

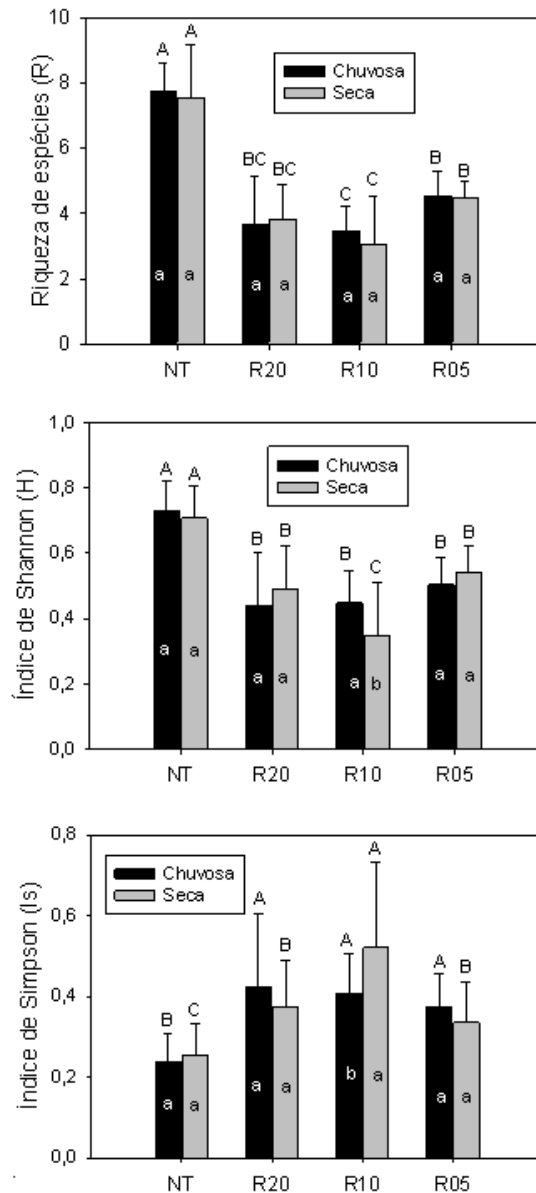


Figura 2.3 – Índices ecológicos: Riqueza de espécies (R), diversidade de Shannon (H) e dominância de Simpson (Is), nas áreas: nativa (NT) e em gradiente de recuperação ambiental (R05, R10 e R20), em janeiro (época chuvosa) e junho (época seca). Letras maiúsculas comparam as áreas no mesmo período e letras minúsculas comparam a mesma área em diferentes períodos pelo teste t ($p < 0.05$)

Na época chuvosa ocorreu separação das áreas nos dois eixos canônicos sendo que a função canônica discriminante (FCD1) explicou 65% e a FCD2 explicou 33% da separação dos dados com alta correlação entre os dois eixos canônicos ($r=0,97$; $p<0.0001$). Na época seca, FCD1 explicou 52% e FCD2 39%, também com elevada correlação entre os dois eixos canônicos ($r=0,85$; $p<0.0001$) (Figura 2.4).

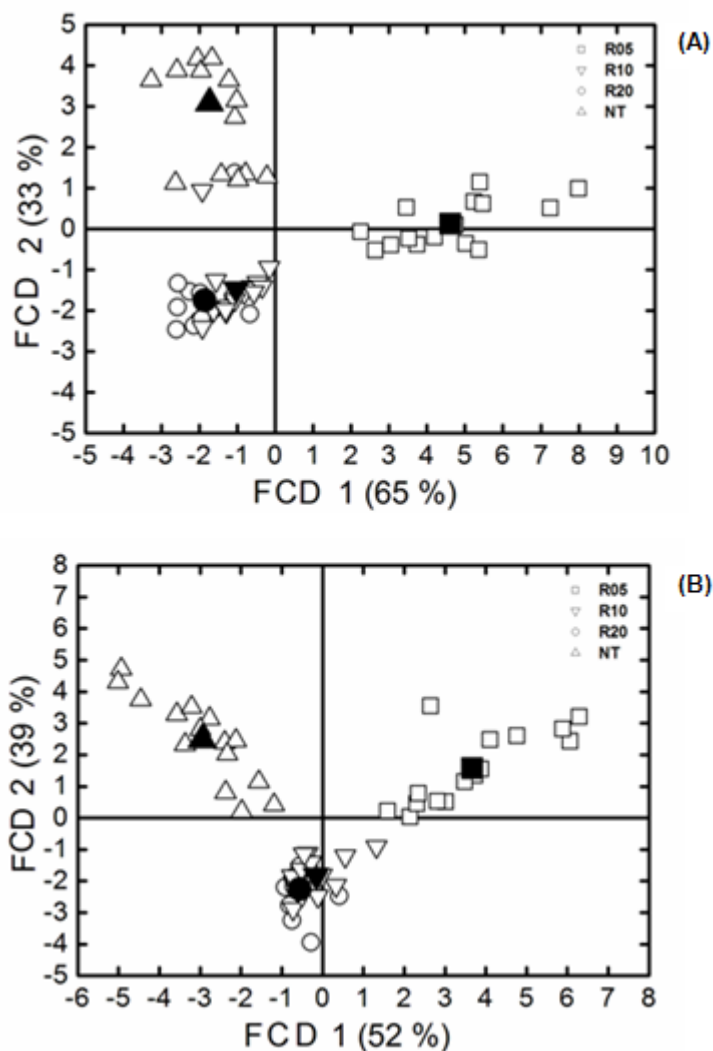


Figura 2.4 - Relação entre a primeira e segunda função discriminante canônica (FCD1 e FCD2) sobre os coeficientes canônicos padronizados (CCP), referentes aos valores das espécies analisadas nas áreas em recuperação ambiental (R05, R10 e R20) e Nativa (NT); (A) época chuvosa e (B) época seca, São Paulo, Brasil

O teste de LSD das médias do coeficiente canônico padronizado (CCP), da FDC1 e FDC2 para todas as espécies analisadas aponta que houve diferenças significativas entre as áreas estudadas (Tabela 2.5). Na época chuvosa, de acordo com a FCD1, as espécies de FMA foram responsáveis por diferir estatisticamente as áreas NT e R05 das demais áreas e maiores valores de CCP, na FCD1, foram verificados para NT, seguida de R20 e R10 e por último R05. Na época seca, o CCP da FCD1 indica que NT e R10 foram significativamente diferentes de R20 e R05 e maiores valores de foram verificados para NT, seguida de R20 e R05 e por último R10. O CCP da FCD2 para as duas épocas indicou que as espécies de FMA foram responsáveis por diferir estatisticamente NT e R10 de R20 e R05, sendo que maiores valores foram observados para R10, seguido de NT, R20 e R05.

Tabela 2.5 - Análise de variância das médias dos coeficientes canônicos padronizados (CCP) da primeira e segunda função canônica discriminante (FDC1 e FDC2), para as duas épocas, os valores se referem às espécies de FMA na área nativa (NT) e em gradiente de recuperação (R05, R10 e R20)

Áreas	Chuvosa		Seca	
	FCD1	FCD2	FCD1	FCD2
NT	4,62 a*	0,12 b	3,67 a	1,57 b
R20	-1,86 b	-1,75 c	-0,55 b	-2,25 c
R10	-1,73 bc	3,08 a	-2,95 c	2,48 a
R05	-1,02 c	-1,46 c	-0,55 b	-1,80 c

* Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem ($P < 0,05$) pelo teste LSD.

Na época chuvosa, em FCD1, os maiores valores de TDP foram verificados para as espécies *G. viscosum*, *Glomus* sp. e *Scutellospora heterogama*, e em FCD2, TDP foi maior para *Glomus* sp., *Acaulospora colossica*, *Ac. lacunosa*, *Gigaspora decipiens* e *Gigaspora* sp. (Tabela 2.6).

Na época seca, na FCD1, os maiores valores de TDP foram obtidos para as espécies *Glomus viscosum*, *Acaulospora scrobiculata* e *Ac. mellea*, enquanto que na FCD2, os maiores valores de TDP foram encontrados para *G. viscosum*, *Glomus* sp., *Ac. lacunosa*, *Ac. spinosa* e *R. intraornata*.

Tabela 2.6 - Valores do coeficiente de correlação canônica (r), coeficiente canônico padronizado (CCP) e coeficiente da taxa de discriminação paralela (TDP) dentro da primeira (FCD1) e segunda função canônica discriminante (FCD2), referentes aos valores das espécies analisadas nas áreas: Nativa (NT) e em recuperação ambiental (R05, R10 e R20), em janeiro (chuvosa) e junho (seca), 2010, São Paulo, Brasil. Espécies identificadas apenas a nível de gênero foram analisadas em conjunto para facilitar a compreensão da análise

Espécies de FMA	FCD1			FCD2		
	r	CCP	TDP	r	CCP	TDP
Chuvosa						
<i>Glomus geosporum</i>	-0,069	-0,077	0,005	-0,069	-0,077	0,083
<i>G. viscosum</i>	0,842	0,554	0,466	0,842	0,552	0,004
<i>Glomus</i> sp.	0,578	0,375	0,217	0,578	0,375	0,140
<i>Acaulospora mellea</i>	0,160	0,214	0,034	0,160	0,214	0,001
<i>Ac. colossica</i>	0,045	-0,068	-0,003	0,045	-0,068	0,107
<i>Ac. spinosa</i>	-0,157	-0,030	0,004	-0,157	-0,030	0,019
<i>Ac. scrobiculata</i>	0,220	0,162	0,035	0,220	0,162	-0,003
<i>Ac. lacunosa</i>	-0,361	-0,128	0,046	-0,361	-0,128	0,120
<i>Gigaspora decipiens</i>	-0,148	-0,153	0,022	-0,148	-0,153	0,209
<i>Gi. rosea</i>	-0,139	-0,045	0,006	-0,139	-0,045	0,004
<i>Gigaspora</i> sp.	-0,225	-0,083	0,018	-0,225	-0,083	0,153
<i>Scutellospora heterogama</i>	0,478	0,283	0,135	0,478	0,283	0,021
Seca						
<i>Glomus viscosum</i>	0,658	0,596	0,392	0,361	0,338	0,122
<i>Glomus</i> sp.	0,041	-0,110	-0,004	0,681	0,425	0,289
<i>Acaulospora mellea</i>	0,467	0,278	0,130	0,304	0,192	0,058
<i>Ac. foveata</i>	-0,192	-0,003	0,001	-0,102	-0,054	0,005
<i>Ac. colossica</i>	-0,020	-0,118	0,002	0,051	0,131	0,006
<i>Ac. spinosa</i>	-0,516	-0,172	0,089	0,765	0,192	0,147
<i>Ac. scrobiculata</i>	0,460	0,283	0,130	0,362	0,103	0,037
<i>Ac. lacunosa</i>	-0,921	-0,218	0,201	0,627	0,243	0,153
<i>Gigaspora decipiens</i>	0,351	-0,157	-0,055	-0,391	0,126	-0,049
<i>Gi. rosea</i>	-0,001	-0,011	1,3E-05	-0,075	-0,126	0,009
<i>Gi. albida</i>	0,026	-0,009	-0,001	-0,154	-0,133	0,020
<i>Gigaspora</i> sp.	0,284	-0,128	-0,036	-0,101	0,131	-0,013
<i>Scutellospora heterogama</i>	0,027	0,060	0,001	-0,221	-0,058	0,013
<i>S. pellucida</i>	-0,088	-0,043	0,003	-0,240	-0,236	0,056
<i>Ambispora appendicula</i>	-0,122	-0,152	0,018	0,304	0,170	0,051
<i>Racocetra intraornata</i>	-0,612	-0,155	0,095	0,681	0,173	0,118

Influência dos atributos do solo na ocorrência e diversidade de FMA

A análise de correlação mostrou que dentre os atributos físicos, químicos e microbiológicos analisados nas duas épocas de amostragem, o número de esporos sofreu influência apenas da umidade, densidade do solo, BRSP e nitrato presente no solo. Correlação positiva foi observada entre número de esporos e umidade ($r=0,52$,

$p \leq 0.0001$), densidade do solo ($r=0,443$; $p < 0,0004$) e BRSP ($r=0,389$; $p < 0,002$), enquanto que a concentração de nitrato no solo ($r=-0,40$; $p=0.0017$) mostrou uma correlação negativa com o número de esporos.

A RDA mostra que dentre os atributos do solo analisados, apenas o pH, H+Al, NO_3^- , CT, densidade, umidade e BRSP exerceram influência sobre as espécies de FMA (Figura 2.5 e 2.6). Na época chuvosa a explicação total das variáveis canônicas foi de 77%, sendo que desse total o componente principal 1 foi responsável por 56% da explicação da distribuição e o componente principal 2 por 21%. Já na época seca a explicação total das variáveis canônicas foi de 67%, sendo que desse total o componente principal 1 foi responsável por 48% da explicação da distribuição e o componente principal 2 por 19%.

Na época chuvosa a RDA indicou que as espécies *Glomus* sp. e *Glomus geosporum* tiveram correlação positiva com o pH do solo, enquanto que *Acaulospora lacunosa*, *Ac. spinosa* e *Gigaspora rosea* mostraram correlação negativa (Figura 2.5). *Glomus viscosum*, *Scutellospora heterogama*, *Acaulospora mellea* e *Ac. scrobiculata* relacionaram-se positivamente com a densidade e umidade do solo, entretanto *Acaulospora colossica*, *Gigaspora decipiens* e *Glomus geosporum*, *Gigaspora* sp., *Acaulospora lacunosa* e *Ac. spinosa* foram influenciadas negativamente. O CT correlacionou-se com o aumento das espécies *G.geosporum*, *Ac. colossica* e *Gigaspora decipiens*. As espécies *Glomus* sp. e *Acaulospora scrobiculata* relacionaram-se positivamente com os teores de H+Al do solo.

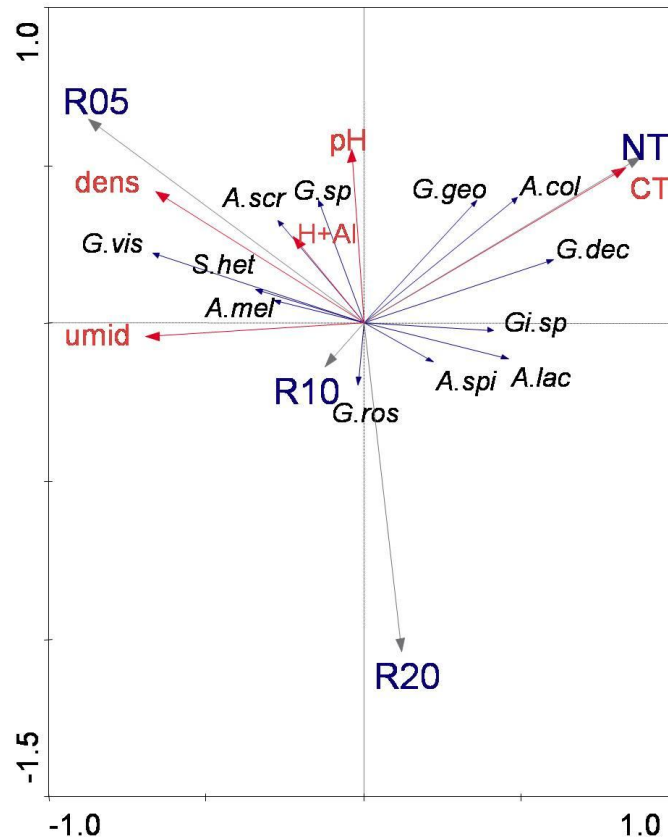


Figura 2.5 – Representação gráfica da Análise de Redundância (RDA) na época chuvosa entre as espécies de FMA presentes nas áreas: nativa (NT) e em recuperação ambiental (R05, R10 e R20), e os principais atributos do solo: pH, H+Al, umid (umidade), CT (Carbono total do solo) e dens (densidade). As espécies: *A.mel* (*Acaulospora mellea*), *A.spi* (*Acaulospora spinosa*), *A.lac* (*Acaulospora lacunosa*), *A.scr* (*Acaulospora scrobiculata*), *A.col* (*Acaulospora colossica*), *G.vis* (*Glomus viscosum*), *S.het* (*Scutellospora heterogama*), *G.dec* (*Gigaspora decipiens*), *Gi.sp* (*Gigaspora sp.*), *G.sp* (*Glomus sp.*) e *G.geo* (*Glomus geosporum*)

A RDA da época seca mostra que a espécie *Scutellospora heterogama* teve relação positiva com o pH, H+Al, densidade e microporosidade do solo (Figura 2.6). *Glomus viscosum*, *Scutellospora heterogama*, *Acaulospora mellea* e *Ac. scrobiculata* relacionaram-se positivamente com a densidade e umidade do solo, entretanto *Acaulospora colossica*, *Ac. lacunosa*, *Ac. spinosa*, *Gigaspora decipiens*, *Gigaspora sp.* e *Racocetra intraornata* foram influenciadas negativamente. O CT e o nitrato do solo tiveram relação positiva com as espécies *Acaulospora colossica*, *Ac. lacunosa*, *Ac. spinosa*, *Gigaspora decipiens*, *Gigaspora sp.* e *Racocetra intraornata*, enquanto que

uma relação negativa foi observada para *G. viscosum*, *Ac. scrobiculata*, *Ac. mellea* e *S.heterogama*. As espécies de *Glomus* sp. e *Gigaspora* sp. relacionaram positivamente com BRSP.

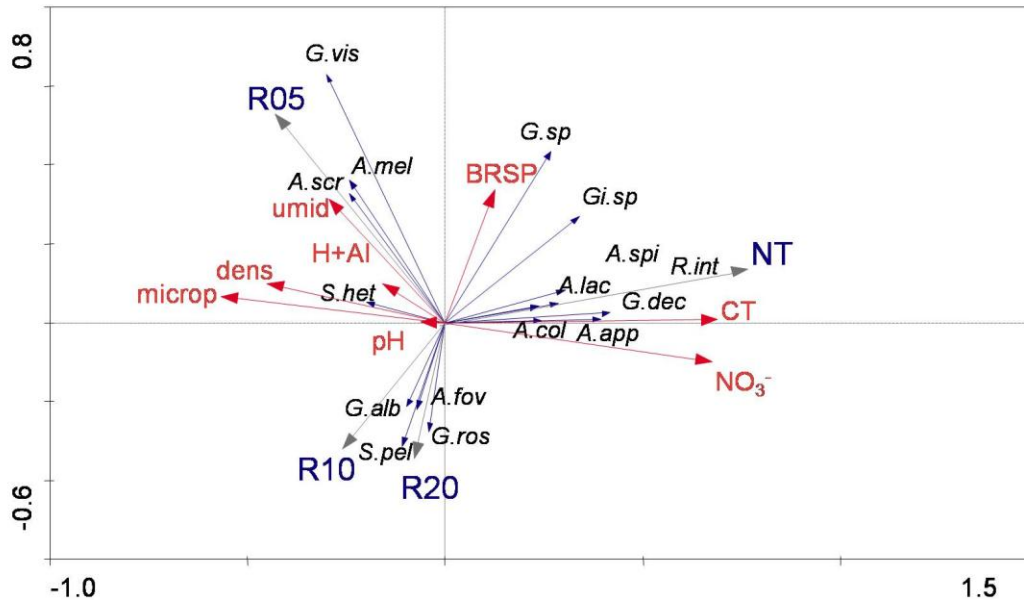


Figura 2.6 – Representação gráfica da Análise de Redundância (RDA) na época seca entre as espécies de FMA presentes nas áreas: nativa (NT) e em recuperação ambiental (R05, R10 e R20), e os principais atributos do solo: pH, H+Al, umid (umidade), CT (Carbono total do solo), dens (densidade), microp (microporosidade), BRSP (Glomalina Total) e NO_3^- (Nitrato do solo). As espécies: *A.app* (*Ambispora appendicula*), *A.mel* (*Acaulospora mellea*), *A.scr* (*Acaulospora scrobiculata*), *A.spi* (*Acaulospora spinosa*), *A.lac* (*Acaulospora lacunosa*), *A.col* (*Acaulospora colossica*), *A.fov* (*Acaulospora foveata*), *Gi.sp* (*Gigaspora sp.*), *G.alb* (*Gigaspora albida*), *G.dec* (*Gigaspora decipiens*), *G.ros* (*Gigaspora rosea*), *G.vis* (*Glomus viscosum*), *G.sp* (*Glomus sp.*), *S.het* (*Scutellospora heterogama*) e *R.int* (*Racocetra intraornata*)

2.2.3 Discussão

Os dados de biomassa microbiana e respiração basal foram maiores nas áreas NT e nas em estádios mais avançados de recuperação. Isso pode estar relacionado a maiores concentrações de carbono orgânico nessas áreas (MARIANI et al., 2006). Maiores valores de biomassa microbiana e respiração basal indicam uma atividade microbiana mais intensa, o que traz uma série de melhorias para a qualidade do solo, uma melhor ciclagem de nutrientes, com maior disponibilidade destes para as plantas, formação de agregados estáveis e maior diversidade funcional, tais características

podem melhorar a funcionalidade e a estabilidade dos ecossistemas (MATSUOKA et al., 2003; NOGUEIRA et al., 2006).

Uma maior quantidade de glomalina total na área nativa pode estar relacionada ao acúmulo dessa proteína ao longo do tempo. A glomalina apresenta alta estabilidade no solo podendo permanecer 42 anos até sua mineralização completa (RILLIG et al., 2004). Nas áreas em recuperação, devido às influências da atividade agrícola, o tempo ainda não foi suficiente para que ocorresse um acúmulo dessa proteína no solo, uma vez que esta é considerada um dos atributos biológicos mais sensíveis a práticas de manejo do solo (BEDINI et al., 2007). E ainda, a área nativa foi a que apresentou uma maior diversidade de espécies de FMA, o que pode ter contribuído para aumentos dessa glicoproteína no solo (PURIN; RILLIG, 2007). Uma maior quantidade de glomalina no solo na área nativa pode ter contribuído para maiores teores de carbono no solo nessa área, uma vez que a glomalina, através da formação de agregados no solo, tem importante papel no armazenamento de carbono no solo (proteção física do carbono dentro dos agregados da degradação microbiana) (RILLIG et al., 2004; SEGUEL et al., 2008).

A correlação positiva entre glomalina e número de esporos do solo confirma a hipótese que os propágulos de FMA são os principais responsáveis pela produção dessa glicoproteína, com elevada quantidade de glomalina principalmente nas paredes dos esporos (RILLIG et al., 2004). Os teores de glomalina no solo apresentaram correlação positiva com algumas espécies de *Glomus* e *Gigaspora*. Pode ser que estas espécies foram as que mais contribuíram para a produção de glomalina. Esse comportamento pode estar associado às características dos esporos como o diâmetro do micélio; espécies que formam hifas muito finas possivelmente podem produzir mais glomalina do que espécies que formam hifas mais grossas, ficando estas responsáveis principalmente pelo transporte de nutrientes do solo para as plantas (GONZÁLEZ-CHÁVEZ et al., 2004).

Verificou-se uma grande variação do número de esporos entre as áreas, não sendo observada nenhuma correlação entre este fator e o tempo de recuperação ambiental. Um maior número de esporos foi encontrado na área de regeneração mais recente (R05). Em alguns casos também têm sido encontrado um maior número de

esporos no solo em áreas agrícolas do que em vegetação natural (MIRANDA et al., 2005; MOREIRA et al., 2006; CARRENHO et al., 2010). Isso pode explicar o maior número de esporos encontrado na área R05, visto que esta teve um cultivo agrícola recente. O menor número de esporos na vegetação nativa, em relação ao agrossistema com maior influência antrópica, confirma a maior atuação dos FMA em solos que ainda estão passando por processo de construção e que ainda não atingiram sua estabilidade (PIOTROWSKI et al., 2008).

Apenas na área R05 foram verificadas diferenças significativas no número de esporos entre as épocas, com maior número ocorrendo na época chuvosa. A influência da época do ano sobre a ocorrência de esporos de FMA ainda não está bem elucidada, sendo encontrados muitos resultados contraditórios na literatura. Algumas pesquisas mostram que o número de esporos é maior na época seca (SILVA et al., 2006; BONFIM et al., 2010) enquanto que outras relatam maior ocorrência na época chuvosa (TRUFEM; VIRIATO, 1990; AIDAR et al., 2004; MOREIRA et al., 2006). As explicações para estas diferenças estão geralmente relacionadas com a umidade de cada solo, as características da planta hospedeira, à combinação da intensidade e duração do comprimento do dia, com as espécies de FMA presentes e ainda a tendência genética para uma espécie esporular mais do que a outra (ENTRY et al., 2002; OEHL et al., 2009; MOREIRA et al., 2009). Também podem estar associadas com uma maior intensidade luminosa na época chuvosa (verão) que tem como consequência uma maior exsudação radicular e concentração de carboidratos na raiz, contribuindo para uma maior esporulação (GEHRING et al., 2003).

A maior ocorrência dos gêneros *Glomus* e *Acaulospora* concorda com outros estudos realizados em áreas de Mata Atlântica no Estado de São Paulo (CARRENHO et al., 2001; AIDAR et al., 2004; MOREIRA-SOUZA et al., 2003; MOREIRA et al., 2007) e em áreas de *Araucaria angustifolia* no Rio Grande do Sul (ZANDAVALLI et al., 2008). Resultados semelhantes também foram observados em áreas de Floresta Tropical na China (ZHAO et al., 2001) e na Amazônia Colombiana (PEÑA-VENEGAS et al., 2007). Dessa forma, estes dois gêneros parecem ser os mais comuns e os mais adaptados às diversas características dos solos, não só no presente estudo como também em diferentes ecossistemas.

A maior ocorrência de *Glomus* possivelmente não está relacionada com o pH do solo, já *Acaulospora* pode ter sido favorecido pelos baixos valores de pH, uma vez que muitos estudos mostram que *Acaulospora*, *Scutellospora* e *Gigaspora* adaptam-se melhor em pH entre 4,0 e 6,0, enquanto que a ocorrência de *Glomus* é favorecida em solos com valores de pH entre 6,0 e 8,0 (LAMBAIS; CARDOSO, 1988; STÜRMER et al., 2006; ZANDAVALLI et al., 2008). Apesar do pH dos solos em estudo se encontrar numa faixa que favoreceria também os gêneros *Gigaspora* e *Scutellospora*, estes foram menos abundantes em todas as áreas. Entretanto, não se pode descartar a possibilidade desses gêneros estarem presentes no ambiente sob outras formas, sem a produção de esporos. Uma abundante presença de células auxiliares nas raízes pode indicar uma maior predominância de *Gigaspora* e *Scutellospora* (BREUNINGER et al., 2000; MOREIRA et al., 2006).

Além disso, outras características do solo como a textura (argilosa a média argilosa na maioria dos solos em pauta) contribuem para a maior ocorrência de *Glomus* e *Acaulospora*, em detrimento de *Gigaspora* e *Scutellospora* que se adaptam melhor em solos arenosos (LEKBERG et al., 2007). Além das propriedades químicas e físicas do solo e características da vegetação, deve ser levada em consideração a morfologia de cada esporo. Uma maior ocorrência de *Glomus* pode estar associada principalmente às características morfológicas dos seus esporos: possuem paredes mais espessas, o que os torna mais resistentes ao ataque de predadores, são pequenos, o que facilita sua dispersão pelo vento e água da chuva e, além disso, apresentam elevada capacidade reprodutiva (SIEVERDING, 1991; CARRENHO et al., 2001).

O elevado número de esporos de *G. viscosum* na área R05 talvez seja um indicativo de uma maior adaptação dessa espécie às áreas que estão sob maior influência antrópica e a solos com maior densidade e umidade. As espécies *G. macrocarpum* e *G. etunicatum*, comumente encontradas em levantamentos em áreas do Bioma Mata Atlântica do Estado de São Paulo (CARRENHO et al., 2001; AIDAR et al. 2004; SCHOENLEIN-CRUSIUS et al., 2006; MOREIRA et al., 2007), não foram encontradas no presente estudo. Pode ser que estas espécies estivessem presentes, mas foi impossível identificá-las, uma vez que o gênero *Glomus* é o mais complexo no reconhecimento de suas espécies, pois perde facilmente estruturas importantes para o

seu reconhecimento, como hifas de sustentação e paredes evanescentes. Entretanto, para *Acaulospora*, espécies como *A.foveata* e *A. scrobiculata* que predominaram em outros estudos desenvolvidos em ecossistemas de Mata Atlântica pelos mesmos autores mencionados acima, também foram comuns neste trabalho. Uma ampla distribuição de *Acaulospora scrobiculata* e *Acaulospora mellea* (ocorrendo em todas as áreas e épocas) pode indicar que estas espécies toleram maior variação nas condições do solo, clima e características da planta hospedeira. O estudo da diversidade de *Glomeromicetes* em ecossistemas brasileiros tem mostrado que estas espécies estão entre aquelas que apresentam maior amplitude de ocorrência (DE SOUZA et al., 2010).

A esporulação das espécies de FMA diferiu entre as épocas de amostragem. Com algumas espécies exclusivas para época chuvosa e outras exclusivas para época seca. Dessa forma, fica evidente a necessidade de mais de uma amostragem para uma melhor caracterização da comunidade de FMA em determinado ecossistema, visto que existem espécies que esporulam mais e outras menos em determinadas épocas do ano e ainda existem aquelas que esporulam apenas em uma época do ano ou talvez apenas em espaços de tempo maiores (MOREIRA et al., 2007). Apenas em R05 as espécies não se alteraram com a época de amostragem. Possivelmente, como essa área é a que teoricamente apresenta mais distúrbios devido ao cultivo agrícola recente, muitas espécies de FMA foram extintas e pode ser que nesse ecossistema apenas essas espécies prevaleçam e ainda que a reentrada de espécies novas seja muito difícil, devido à baixa capacidade de dispersão destes fungos (LOVERA; CUENCA, 2007).

Maiores índices de diversidade de espécies (H) e riqueza de espécies (R) foram verificados na área NT em comparação com as áreas em recuperação e também se constatou que o número de espécies de FMA apresentou correlação com o gradiente de recuperação ambiental, em ambas as épocas de amostragem. Este fato já vem sendo confirmado na literatura, e em geral áreas sob menor influência antrópica apresentam maior diversidade de espécies e menor número de esporos de FMA (MOREIRA-SOUZA et al., 2003; CARRENHO et al., 2010). Uma vez que a diversidade das espécies de planta aumenta à medida que o processo sucessional avança (BOERGER et al., 2005), a maior diversidade de espécies de FMA na área NT e nas

com maior tempo de recuperação ambiental pode estar associada a maior diversidade de plantas encontradas nessas áreas. Assim, diferentes espécies de FMA podem se associar com um maior número de espécies potencialmente hospedeiras, o que proporciona esporulações diferenciais dependendo da espécie de planta colonizada e dessa forma contribuem para o aumento da riqueza da comunidade de FMA (CARRENHO et al. 2001; BOERGER et al., 2005). Entretanto, não apenas a diversidade de espécies vegetais deve ser considerada, pois, em alguns casos o aumento da diversidade de espécies vegetais pode não ser acompanhado pelo aumento da diversidade de FMA (STÜRMER et al., 2006). Outras características presentes em NT como a própria estabilidade do ecossistema, ausência de distúrbios (KERNAGHAN, 2005), atividade microbiana mais intensa o que torna a ciclagem de nutriente mais eficiente, possivelmente também contribuíram para uma maior diversidade de FMA.

A análise multivariada ACD confirma a grande diferença das comunidades de FMA nos ecossistemas e épocas estudados. A taxa de discriminação paralela (TDP), que representa o produto entre o coeficiente canônico padronizado (CCP) e coeficiente de correlação canônica (r) é usualmente adotado (BARRETA et al., 2006; MOREIRA et al., 2006). Valores positivos de TDP indicam o efeito da separação entre os ecossistemas estudados, onde as espécies que apresentaram maiores valores foram as que mais contribuíram para a separação. Isso indica que dentre todas as espécies de FMA encontradas, *Glomus viscosum*, *Glomus* sp., *Scutellospora heterogama*, *Acaulospora scrobiculata*, *Ac. mellea*, *Ac. spinosa*, *Ac. lacunosa*, *Racocetra intraornata*, *Gigaspora decipiens* e *Gigaspora* sp. foram as mais importantes em separar os ecossistemas. Essa separação está relacionada com as características de cada ambiente, bem com as perturbações antropogênicas que impõem várias limitações à sobrevivência de determinadas espécies. Em ecossistemas de *Araucaria angustifolia*, outras espécies como *Scutellospora* sp.1, *Acaulospora* sp.1, *Gigaspora decipiens* e *S. pellucida* foram as que mais contribuíram para separar as áreas nativa e reflorestada (MOREIRA et al., 2009).

Atributos do solo como os químicos, físicos e microbiológicos de determinado ambiente são importantes para a distribuição dos FMA nos diversos ecossistemas. A

RDA foi fundamental para explicar o comportamento das espécies de FMA em função dos atributos do solo. Dentre todos os atributos do solo apenas o pH, H+Al, NO₃⁻, CT, densidade, umidade, microporosidade e BRSP exerceram influência sobre a ocorrência de determinadas espécies de FMA. Possivelmente outros atributos do solo, como a fauna, a atividade enzimática e a temperatura, entre outros que não foram avaliados nesse estudo, podem estar exercendo influência na ocorrência e diversidade dos FMA.

O pH do solo foi determinante para a distribuição dos FMA nos diversos ecossistemas. As espécies que foram favorecidas pela diminuição do pH (*Acaulospora colossica*, *Ac. spinosa*, *Gigaspora rosea*, *Gigaspora decipiens* e *Gigaspora sp.*) possivelmente possuem mecanismos bioquímicos que os tornam mais adaptados à acidez do solo, enquanto que nas espécies que foram relacionadas com o aumento do pH (*Ac. scrobiculata* e *Glomus sp.*), estes mecanismos podem estar ausentes ou reprimidos. Outros resultados abordando a relação entre pH e diversidade de espécies de FMA têm sido relatados por Trindade et al. (2007) que verificaram que algumas espécies de FMA como *Acaulospora mellea*, *Acaulospora morrowiae*, *Glomus intraradices*, *Glomus macrocarpum* e *Entrophospora colombiana* foram mais freqüentes em solos com valores de pH < 5,5, enquanto *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora delicata*, *Glomus etunicatum* e *Gigaspora sp* foram mais freqüentes em solos com valores de pH > 5,5. Embora a disponibilidade de P no solo também afete a ocorrência de algumas espécies de FMA (MOREIRA-SOUZA; CARDOSO, 2002), tal comportamento não foi observado. Pode ser que a baixa disponibilidade de P encontrada nos solos em questão, não foi suficiente para influenciar a ocorrência e a diversidade de espécies de FMA.

A análise de RDA confirma a influência da umidade na diversidade de FMA com, em muitos casos, algumas espécies do mesmo gênero sendo afetadas positivamente (*Acaulospora mellea*, *Ac. scrobiculata* e *Glomus viscosum*) e outras negativamente (*Acaulospora colossica*, *Ac.lacunosa*, *Ac. spinosa* e *Glomus geosporum*). Dessa forma, a idéia de que o gênero *Glomus* é favorecido com o aumento da umidade do solo, não deve ser generalizada, pois de modo geral, sob condições de campo, as diferentes espécies, têm diversas tolerâncias e se comportam de maneira distinta quando as condições ambientais são alteradas (MOREIRA et al., 2009).

2.3 Conclusões

Características físicas, químicas e microbiológicas do solo bem como a ação antrópica em cada ambiente e a época de amostragem influenciaram no ciclo de vida de cada espécie de FMA e foram importantes em determinar a comunidade micorrízica em diferentes ecossistemas. A melhor qualidade do solo na área nativa e nas em estádios sucessionais mais avançados indicam um processo de recuperação dos solos com favorecimento na diversidade de espécies de FMA.

Os resultados apresentados permitem conhecer quais atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo, são importantes em favorecer a ocorrência de determinadas espécies de FMA. Entretanto, para uma melhor compreensão da influência dos atributos do solo na ocorrência e diversidade de FMA, outros fatores deveriam ser ainda levados em consideração, como, por exemplo, a temperatura do solo, a atividade enzimática, as características da planta hospedeira e a fauna do solo.

Referências

- AIDAR, M.P.M.; CARRENHO, R.; JOLY, C.A. Aspects of arbuscular mycorrhizal fungi in an Atlantic Forest chronosequence in Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), SP. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 4, p. 1-15, 2004.
- ALEF, K., NANNIPIERI, P. (Ed.). **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995. 576 p.
- BAI, C.; HE, X.; TANG, H.; SHAN B.; ZHAO, L. Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi, glomalin and soil enzymes under the canopy of *Astragalus adsurgens* Pall. in the Mu Us sandland, China. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 41, p. 941-947, 2009.
- BARETTA, D.; MAFRA, Á.L.; SANTOS, J.C.P.; AMARANTE, C.V.T.; BERTOL, I. Análises multivariadas da fauna edáfica em diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 1675-1679, 2006.
- BEDINI, S.; AVIO, L.; AGRESE, E.; GIOVANNETTI, M. Effects of long-term land use on arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin-related soil protein. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 120, p. 463-466, 2007.

BOEGER, M.R.T.; WISNIEWSKI, C.; REISSMANN, C.B. Nutrientes foliares de espécies arbóreas de três estádios sucessionais de Floresta Ombrófila Densa no Sul do Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, São Paulo, v. 19, p. 167-181, 2005.

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

BREUNINGER, M.; EINIG, W.; MAGEL, E.; CARDOSO, E.; HAMPP, R. Mycorrhiza of Brasil Pine (*Araucaria angustifolia* Bert. O. Ktze). **Plant Biology**, Freiburg, v. 2, p. 4-10, 2000.

BRADFORD, M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, Bethesda, v. 72, p. 248-254, 1976.

CARRENHO, R.; TRUFEM, S.F.B.; BONONI, V.L.R. Fungos micorrízicos arbusculares em rizosferas de três espécies de fitobiontes instaladas em área de mata ciliar revegetada. **Acta Botânica Brasílica**, São Paulo, v. 15, p. 115-124, 2001.

CARRENHO, R.; GOMES-DA-COSTA, S.M.; BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A. Fungos micorrízicos arbusculares em agrossistemas brasileiros. In: SIQUEIRA, J.O.; DE SOUZA, F.A.; CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M. **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras: Editora UFLA, 2010. v. 1, p. 153-214.

COELHO, N.M.M.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. Determinação de amônio e nitrato em solos por injeção em fluxo, pelo método difusão-condutividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 16, p. 325-329, 1992.

COLOMBO, A.F.; JOLY, C.A. Brazilian Atlantic Forest lato sensu: the most ancient Brazilian forest, and a biodiversity hotspot, is highly threatened by climate change. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 70, p. 697-708, 2010.

DE SOUZA, F.A.; STUMER, S.L.; CARRENHO R.; TRUFEM, S.F.B. Classificação e Taxonomia de Fungos Micorrízicos Arbusculares e sua diversidade e ocorrência no Brasil. In: SIQUEIRA, J.O.; DE SOUZA, F.A.; CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M. **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras: Editora UFLA, 2010. v. 1, p. 15-75.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

ENTRY, J.A.; RYGIEWIEZ, P.T.; WATRUD, L.S.; DONNELLY, P.K. Influence of adverse soil conditions on the formation and function of arbuscular mycorrhizas. **Advances in Environmental Research**, Massachusetts, v. 7, p. 123-138, 2002.

GEHRING, C.A. Growth responses to arbuscular mycorrhizae by rain forest seedlings vary with light intensity and tree species. **Plant Ecology**, Perth, v. 167, p.127-139, 2003.

GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, London, v. 46, p. 235-244, 1963.

GONZÁLEZ-CHÁVEZ, M.C.; GUTIÉRREZ-CASTORENA, M.C.; WRIGTH, S.F. Hongos micorrízicos arbusculares en la agregación del suelo y su estabilidad **Terra Latinoamericana**, Chapingo, v. 22, p. 507-514, 2004.

KERNAGHAN, G. Mycorrhizal diversity: cause and effect? **Pedobiologia**, Berlin, v. 49, p. 511-520, 2005.

LAGOS A.R.; MULLER, B.L.A. Mata Atlântica: Hotspot Brasileiro. **Saúde e Ambiente**. Duque de Caxias, v. 2, p. 35-45, 2007.

LAMBAIS, M.R.; CARDOSO, E.J.B.N. Avaliação da germinação de esporos de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares e da colonização micorrízica de *Stylosanthes guianensis* em solo ácido e distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 12, p. 249-255, 1988.

LEKBERG, Y.R.T.; KOIDE, R.; ROHR, J.R.; ALDRICH-WOLFE, L.; MORTON, J.B. Role of niche restrictions and dispersal in the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities. **Journal of Ecology**, Malden, v. 95, p. 95-105, 2007.

LOVERA, M.; CUENCA, G. Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y potencial micorrízico del suelo de una sabana natural y una sabana perturbada de la gran sabana, Venezuela. **Interciência**, Caracas, v. 32, p. 108-114, 2007.

MARIANI, L.; CHANGA, S.X.; KABZEMS, R. Effects of tree harvesting, forest floor removal, and compaction on soil microbial biomass, microbial respiration, and N availability in a boreal aspen forest in British Columbia. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 38, p. 1734-1744, 2006.

MARTINS, C.R.; MIRANDA, J.C.C. de; MIRANDA, L.N. de. Contribuição de fungos micorrízicos arbusculares nativos no estabelecimento de *Aristida setifolia* Kunth em áreas degradadas do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, p. 665-674, 1999.

MATSUOKA, M.; MENDES, I.C.; LOUREIRO, M.F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste, (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 425-433, 2003.

MENDES FILHO, P.F.; VASCONCELLOS, R.L.F.; PAULA, A.M.; CARDOSO, E.J.B. N. Evaluating the potential of forest species under microbial management for the restoration of degraded mining areas. **Water, Air & Soil Pollution**, Dordrecht, v. 208, p. 79-89, 2010.

MIRANDA, J.C.C.; VILELA, L.; MIRANDA, L.N. Dinâmica e contribuição da micorríza arbuscular em sistemas de produção com rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 1005-1014, 2005.

MOREIRA-SOUZA, M.; CARDOSO, E.J.B.N. Dependência micorrízica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. sob doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 905-912, 2002.

MOREIRA, M.; BARETTA, D.; TSAI, S.M.; CARDOSO, E.J.B.N. Spore density and root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi in preserved or disturbed *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. ecosystems. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 63, p. 380-385, 2006.

_____. Arbuscular mycorrhizal fungal communities in native and in replanted *Araucaria* forest. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 66, p. 677-684, 2009.

MOREIRA, M.; BARETTA, D.; TSAI, S.M.; GOMES-DA-COSTA, S.M.; CARDOSO, E.J.B.N. Biodiversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in *Araucaria angustifolia* forest. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 64, p. 393-399, 2007.

MOREIRA-SOUZA, M.; TRUFEM, S.F.B.; GOMES-DA-COSTA, S.M.; CARDOSO, E.J.B.N. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Araucaria angustifolia* (Bert.) O.Ktze. **Mycorrhiza**, New York, v. 13, p. 211-215, 2003.

NOGUEIRA, M.A.; ALBINO, U.B.; BRANDÃO-JUNIOR, O.; BRAUN, G.; CRUZ, M.F.; DIAS, B.A.; DUARTE, R.T.D.; GIOPPO, N.M.R.; MENNA, P.; ORLANDI, J.M.; RAIMAN, M.P.; RAMPAZO, L.G.L.; SANTOS, M.A.; SILVA, M.E.Z.; VIEIRA, F.P.; TOREZAN, J.M.D.; HUNGRIA, M.; ANDRADE, G. Promising indicators for assessment of agroecosystems alteration among natural, reforested and agricultural land use in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 115, p. 237-247, 2006.

OEHL, F.; SIEVERDING, E.; INEICHEN, K.; MADER, P.; WIEMKEN, A.; BOLLER, T. Distinct sporulation dynamics of arbuscular mycorrhizal fungal communities from different agroecosystems in long-term microcosms. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 134, p. 257-268, 2009.

OLIVEIRA, J.R.G. de; SOUZA, R.G. de; SILVA, F.S.B. da; MENDES, A.S.M.; YANO-MELO, A.M. O papel da comunidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) autóctones no desenvolvimento de espécies vegetais nativas em área de dunas de restinga revegetadas no litoral do Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 32, p. 663-670, 2009.

PEÑA-VENEGAS, C.P.; CARDONA, G.I.; ARGUELLES, J.H.; ARCOS, A.L. Micorrizas Arbusculares del Sur de la Amazonia Colombiana y su relación con algunos factores fisicoquímicos y biológicos del Suelo. **Acta Amazônia**, Manaus, v. 37, p. 327-336, 2007.

PIETROWSKI, J.S.; LEKBERG, Y.; HERNER, M.J.; RAMSEY, P.W.; RILLIG, M.C. Dynamics of mycorrhizae during development of riparian forests along an unregulated river. **Ecography**, Lund, v. 31, p. 245-253, 2008.

PURIN, S.; RILLIG, M.C. The arbuscular mycorrhizal fungal protein glomalin: Limitations, progress and a new hypothesis for its function. **Pedobiologia**, Berlin, v. 51, p. 123-130, 2007.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

RILLIG, M.C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 28, p. 355-363, 2004.

RILLIG, M.C.; MARDATIN, N.F.; LEIFHEIT, E.F.; ANTUNES, P.M. Mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi increases soil water repellency and is sufficient to maintain water-stable soil aggregates. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 42, p.1189-1191, 2010.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. de F. (Org.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2000. Cap.15.1, p 235-248.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT**: user's guide version 9.2 (software). Cary, 2008.

SCABORA, M.H.; MALTONI, K.L.; CASSIOLATO, A.M.R. Crescimento, fosfatase ácida e micorrização de espécies arbóreas, em solo de cerrado degradado. **Bragantia**, Campinas, v. 69, p. 445-451, 2010.

SCHENCK, N.C.; PÉREZ, Y. **Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi**. 3rd ed. Gainesville: Synergistic, 1990. 250 p.

SCHOENLEIN-CRUSIUS, I.H.; MILANEZ, A.I.; TRUFEM, S.F.B.; PIRES-ZOTTARELLI, C.L.A.; GRANDI, R.A.P.; SANTOS, M.L.; GIUSTRA, K.C. Microscopic fungi in the

Atlantic Rainforest in Cubatão, São Paulo, Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 37, p. 267-275, 2006.

SEGUEL, A.; RUBIO, R.; CARRILLO, R.; ESPINOSA, A.; BORIE, F. Niveles de glomalina y su relación con características químicas y biológicas del suelo (andisol) en un relicto de bosque nativo del sur de Chile. **Bosque**, Valdivia, v. 29, p. 11-22, 2008.

SIEVERDING, E. **Vesicular–arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems**. Eschborn: Deutsche Gesellschaft Technische Zusammenarbeit (GTZ) Gmbh, 1991. 371 p.

SILVA, C.F.; PEREIRA, M.G.; SILVA, E.M.R.; CORREIA, M.E.F.; SAGGIN-JÚNIOR, O.J. Fungos micorrízicos arbusculares em áreas no entorno do Parque Estadual da Serra do Mar em Ubatuba (SP). **Caatinga**, Mossoró, v. 19, p. 1-10, 2006.

SMITH, S.E.; READ, D.J. **Mycorrhizal symbiosis**. 2nd ed. New York: Academic Press, 1997. 605 p.

STÜRMER, S.L.; KLAUBERG FILHO O.; QUEIROZ, M.H.D.; MENDONÇA, M.M.D. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in soils of early stages of a secondary succession of Atlantic Forest in South Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, Feira de Santana, v. 20, p. 513-521, 2006.

TRINDADE, A.V.; SIQUEIRA, J.O.; STÜRMER, S.L. Arbuscular mycorrhizal fungi in papaya plantations of Espírito Santo and Bahia, Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 37, p. 283-289, 2007.

TRUFEM, S.F.B.; VIRIATO, A. Fungos micorrízicos vesículo-arbusculares da Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 13, p. 49-53, 1990.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass-C. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 19, p. 703-707, 1987.

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

WRIGHT, S.F.; UPADHYAYA, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant & Soil**, Dordrecht, v. 198, p. 97-107, 1998.

WRIGHT, S.F.; FRANKE-SNYDER, M.; MORTON, J.B.; UPADHYAYA, A. Timecourse study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. **Plant & Soil**, Dordrecht, v. 181, p. 193-203, 1996.

ZANDEVALLI, R.B.; DILLENBURG, L.R.; SOUZA, P.V.D. Growth responses of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) to inoculation with the mycorrhizal fungus *Glomus clarum*. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 25, p. 245-255, 2004.

ZANGARO, W.; NISIZAKI, S.M.A.; DOMINGOS, J.C.B.; NAKANO, E.M. Micorriza Arbuscular em espécies arbóreas nativas da Bacia do Rio Tibagi, Paraná. **Cerne**, Lavras, v. 8, p. 77-87, 2002.

ZANGARO, W.; ASSIS, R.L.D.; GONÇALVES, M.C.; ANDRADE, G.; NOGUEIRA, M.A. Changes in arbuscular mycorrhizal associations and fine root traits in sites under different plant successional phases in southern Brazil. **Mycorrhiza**, New York, v. 19, p. 37-45, 2008.

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

3 DIVERSIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM DIFERENTES PROFUNDIDADES DO SOLO EM ÁREAS REVEGETADAS DE MATA ATLÂNTICA

Resumo

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são muito importantes na nutrição mineral das plantas e na recuperação de áreas degradadas, entretanto são escassos os estudos sobre a diversidade dos FMA nesses ambientes. Menos ainda se conhece a respeito da presença dos FMA em diferentes profundidades do solo. Em Mata Atlântica do Estado de São Paulo, Brasil estudaram-se a ocorrência e a diversidade de esporos de FMA em diferentes profundidades (0-15 cm, 15-30 cm e 30-45 cm) e a colonização radicular, num gradiente de recuperação ambiental, compreendendo áreas com 5 anos de reflorestamento (R05), com 10 anos (R10) e com 20 anos (R20), além de uma área nativa (NT). As coletas de solo e raízes foram realizadas no período chuvoso (janeiro) e seco (junho). Foram executadas análises químicas, físicas e colonização radicular em três pontos de amostragem sendo: (A) na base do tronco, (B) distanciadas em 1m do tronco e (C) de plântulas crescendo em volta das árvores adultas. Os esporos foram identificados e posteriormente calculados a abundância relativa, os índices de riqueza (R), de diversidade de Shannon (H) e de dominância de Simpson (Is) das espécies de FMA. Os dados foram submetidos à análise de variância ANOVA e teste *t*. A colonização radicular foi maior para as áreas em estádios mais avançados de recuperação, nas raízes coletadas no ponto C e na época seca. O número de esporos de FMA na época chuvosa foi maior em R05, em todas as profundidades, enquanto que na época seca esse comportamento foi constatado apenas em 0-15 cm. Em maiores profundidades maior número de esporos foi verificado em NT e R10. O índice de diversidade (H) foi maior em NT e nem sempre a maior diversidade foi verificada nas camadas mais superficiais. Algumas espécies, como *Acaulospora colossica*, *Scutellospora heterogama* e *S. pellucida*, foram mais abundantes na maior profundidade. *Ambispora appendicula*, *Ac. foveata*, *Glomus geosporum* e *Gigaspora* sp2 ocorreram apenas em 0-15 cm. Espécies do gênero *Acaulospora* (*Ac. mellea* e *Ac. scrobiculata*) e *Glomus* (*G. viscosum* e *G. sp2.*) foram sempre abundantes em todas as profundidades analisadas. As espécies do gênero *Gigaspora*, *Ambispora* e *Racocetra* foram raras em todas as profundidades.

Palavras-chaves: Micorriza; Esporo; Diversidade de espécies; Perfil do solo; Mata ciliar; Recuperação do solo

Abstract

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are very important for the recuperation of degraded land, because they enable better absorption of mineral nutrients by plants and favor the development of tree species used in revegetation. Different soil depths should be considered for a more detailed survey. The diversity of AMF at different depths (0-15 cm, 15-30 cm and 30-45 cm) and root colonization were performed. The areas selected for study were: native forest (NT) and a gradient of environmental restoration and

reforestation: five years (R05), 10 years (R10) and 20 (R20), all located in the Atlantic forest, State of Sao Paulo, Brazil. The samples of soil and roots were taken in two periods: January (rainy) and June (dry season). Root colonization was assessed at three sites as follows: (A) at the base of the tree trunk, (B) 1m away from the trunk, and (C) seedlings growing around the adult trees. Spores were identified and the relative abundance and richness indices (R), Shannon's diversity (H) and Simpson's dominance index (Is) of AMF were calculated. The data were analyzed using ANOVA and *t* test. The root colonization was higher for areas at later stages of recovery, in roots collected at point C and the second sampling period. The number of spores was higher in the rainy period in R05, at all depths, whereas in the dry period this behavior has observed only in the 0-15 cm layer. From 15 cm on downwards, a higher number of spores was observed in NT and R10. The diversity index (H) was higher in NT and not always a greater diversity was observed in the superficial layers. Some species, such as *Acaulospora colossica*, *Scutellospora heterogama* and *S. pellucida* were more abundant at greater depth. *Ambispora appendicula*, *Ac. foveata*, *Glomus geosporum* and *Gigaspora* sp2 occurred only at 0-15 cm. Species of *Acaulospora* (*Ac. scrobiculata* and *Ac. mellea*) and *Glomus* (*G. viscosum* and *Glomus* sp2.) were always abundant in all the depths analyzed. The species of the genus *Gigaspora*, *Ambispora* and *Racocetra* were rare at all depths.

Keywords: Mycorrhizae; Spore; Species diversity; Soil Profile; Riparian; Soil regeneration

3.1 Introdução

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) pertencem ao Filo Glomeromycota e são reconhecidos por formarem associação simbiotrófica mutualística com 80% das plantas vasculares (SMITH; READ, 1997; SCHÜßLER et al., 2001). Sua grande importância nos agroecossistemas é atribuída principalmente ao efeito positivo na nutrição mineral das plantas, devido ao maior acesso destas aos nutrientes minerais do solo, sobretudo os pouco móveis, P em especial. As micorrizas também têm importância na ciclagem de nutrientes (CARDOSO et al., 2010) e na formação e manutenção da estrutura do solo (RILLIG, 2004).

Dessa forma, os FMA têm grande influência na recuperação de áreas degradadas, pois garantem a sobrevivência e persistência das espécies arbóreas usadas na revegetação (CARRENHO et al., 2001; MOREIRA et al., 2009). Os principais benefícios proporcionados às plantas são: melhor condição nutricional, melhoria na

absorção de água e alterações bioquímicas e fisiológicas nas plantas que garantem maior vigor e persistência em solos degradados que geralmente são pobres em nutrientes (ZANGARO et al., 2002) e onde a quantidade de FMA nativos remanescentes é extremamente baixa (MENDES FILHO, 2010).

A remoção da cobertura vegetal, juntamente com outros processos, contribui para a degradação do solo, pois causa erosão, assoreamento de cursos d'água, perda da biodiversidade, da atividade da biota e da própria fertilidade (SOARES; CARNEIRO, 2010). Existe uma grande preocupação ambiental, pois os desmatamentos têm se intensificado nos últimos anos, estando entre as principais interferências antrópicas, especialmente quando acomete biomas que abrigam uma grande biodiversidade como o da Mata Atlântica (AIDAR et al., 2004). Ações recuperadoras desse bioma tão ameaçado são necessárias e conhecer a biologia e ecologia dos FMA que atuam nesse processo é de suma importância.

As populações de FMA no solo variam muito e sua diversidade é afetada por vários fatores, incluindo as características climáticas, atributos do solo, plantas hospedeiras e práticas agrícolas. Estudos ecológicos sobre a estrutura das comunidades de FMA são geralmente restritos às camadas mais superficiais, especialmente na zona de enraizamento (10-20 ou 10-30 cm) (OEHL et al., 2005) e são poucos os trabalhos que incluem camadas mais profundas. Os estudos existentes, de um modo geral, vêm demonstrando que com o aumento da profundidade há um decréscimo na porcentagem de raízes colonizadas por FMA (RILLIG; FIELD, 2003), no número de esporos de FMA (CARDOSO et al., 2003; YANG et al., 2010) e na diversidade de espécies (LOVERA; CUENCA, 2007; CUENCA;LOVERA et al., 2010). Entretanto, outros autores detectaram uma diversificada comunidade de FMA nas camadas profundas do solo, com algumas espécies aumentando sua ocorrência com o aumento da profundidade (OEHL et al.,2005; LOVERA;CUENCA et al., 2007;CUENCA; LOVERA, 2010).

Diversos trabalhos têm considerado a diversidade de FMA em ecossistemas brasileiros, entretanto, ainda são poucos os que relatam a ocorrência e diversidade em áreas com processos de recuperação ambiental e ainda nenhum estudo foi encontrado

no Brasil sobre a diversidade de FMA nas camadas mais profundas do solo (abaixo da camada arável).

O objetivo do presente trabalho foi estudar a ocorrência e diversidade de esporos de FMA em diferentes profundidades do solo num gradiente de recuperação ambiental (5, 10 e 20 anos) e mata nativa, e, ainda, avaliar a colonização micorrízica em espécies arbóreas usadas nas áreas revegetadas localizadas no Bioma Mata Atlântica, Estado de São Paulo, Brasil, em dois períodos de amostragem: janeiro (época de chuvas e temperaturas elevadas) e junho de 2010 (época de seca e temperaturas amenas).

3.2 Desenvolvimento

3.2.1 Material e Métodos

Caracterização das áreas estudadas

Foram escolhidas para estudo uma área nativa (NT) e três áreas com diferentes idades de recuperação ambiental, sendo: R05 (5 anos), R10 (10 anos) e R20 (20 anos). Todas as áreas são de matas ciliares pertencentes ao Bioma Mata Atlântica e reconhecidas como fragmentos da floresta Estacional Semidecidual, localizadas no Estado de São Paulo, Brasil (Tabela 3.1). O clima das áreas, segundo a classificação de Köppen é Cwa: mesotérmico ou subtropical úmido. Trata-se de clima estacional, com verão chuvoso (setembro-março) e inverno seco (abril-agosto), com temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C e a média do mais quente entre 23°C e 24°C. A pluviosidade média anual nas áreas é de 1.100 a 1.700 mm.

As áreas anteriormente eram cultivadas com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e para recuperação destas foi adotado o modelo fundamentado nos conceitos de sucessão secundária; utilização de espécies nativas regionais, variando entre espécies pioneiras, secundárias iniciais e secundárias tardias ou clímax (RODRIGUES; GANDOLFI, 2000).

Tabela 3.1 - Descrição das áreas selecionadas para estudos, ecossistema de Mata Atlântica, Estado de São Paulo, Brasil

Área	Município	Localização geográfica	Tamanho da área (ha)	Número de espécies usadas na revegetação	Tipo de solo
NT	Campinas	22°50'13"S - 46°55'58"W	233	-	Argissolo* Vermelho-Amarelo
R20	Itacemópolis	22°35'S - 47°31'W	20	140	Latossolo Vermelho distroférico
R10	Santa Bárbara d'Oeste	22°49'06"S - 47°24'53"W	30	80	Argissolo Amarelo
R05	Piracicaba	22°42'02"S - 47°38'32"W	16	25	Nitossolo Vermelho eutroférico

*Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006)

Para a coleta de solo e raízes, cada uma das quatro áreas selecionadas foi dividida em 30 quadrantes de 10mx10m. Na coleta de solo escolheu-se ao acaso seis quadrantes. Dentro de cada quadrante foram coletadas amostras de solo em três pontos que depois constituíram uma amostra composta. As coletas foram realizadas nas profundidades de 0-15, 15-30 e 30-45 cm, obtendo-se, ao final, 18 amostras de solo em cada área.

Na coleta das raízes, em cada uma das áreas foram escolhidos ao acaso 15 quadrantes. Em cada quadrante foi selecionada uma árvore para a coleta das raízes. Algumas das árvores encontravam-se catalogadas e foi possível determinar a espécie. As coletas, tanto de solo como de raízes, foram realizadas em janeiro (período chuvoso) e junho (período seco) de 2010. Na primeira coleta, na época chuvosa, as raízes foram coletadas na base do tronco da árvore escolhida para ter certeza que as mesmas realmente pertenciam a ela, retirando-se apenas as radículas mais finas e superficiais. Entretanto, como nesse local foi encontrada uma porcentagem de colonização radicular por FMA extremamente baixa, na segunda época foram incluídos outros pontos de amostragem, sendo: (A) raízes coletadas na base do tronco das árvores, (B) distanciadas 1m da base do tronco e (C) de plantas no entorno das árvores com altura variando de 15 até 60 cm. Neste último ponto, adotou-se o critério de escolher a planta filha da mesma planta adulta selecionada para coleta das raízes.

Entretanto, nem sempre isso foi possível, principalmente na área R05 onde existia uma menor quantidade de plantas filhas, sendo então selecionadas ao acaso plantas presentes no entorno das árvores.

Na coleta das raízes, foi impossível realizar repetições verdadeiras das amostras de raízes de uma determinada espécie vegetal dentro da área devido à insuficiência do número de indivíduos nas parcelas selecionadas. Dessa forma, a porcentagem de colonização de cada espécie arbórea (APÊNDICE C) foi considerada apenas como uma repetição aleatória de raízes vegetais tendo sido utilizada para achar uma média de colonização do conjunto de plantas de cada área de estudo.

- Análises Químicas e Físicas do Solo

As análises químicas do solo foram realizadas segundo as metodologias descritas por Raij et al. (2001). O pH do solo foi determinado através de um pHmetro em uma solução de CaCl_2 0,01M. O Ca^{2+} , P e Mg^{2+} foram extraídos com uma resina de troca iônica. P foi quantificado colorimetricamente usando molibdato de amônio, enquanto que o Ca^{2+} e Mg^{2+} foram medidos por espectrofotometria de absorção atômica, o K^+ foi extraído do solo por Mehlich 1 (HCl 0,05 M + H_2SO_4) e quantificado por fotometria de chama. O Alumínio foi extraído com KCl 1M e quantificado por titulometria. A matéria orgânica do solo foi extraída por dicromato de potássio e analisada por colorimetria.

As análises de umidade foram realizadas por amostras deformadas e as proporções de areia, silte e argila foram determinadas pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997).

- Extração e identificação de esporos de FMA no solo

Os esporos foram extraídos de uma amostra de 50g de solo segundo metodologia descrita por Gerdemann e Nicolson (1963) e centrifugados em água destilada, 3000 rpm durante três minutos e, em solução aquosa de sacarose 70%, a 2000 rpm, por dois minutos; sendo esta etapa repetida duas vezes. Os esporos foram contados sob microscópio estereoscópico com aumento de 40 vezes e posteriormente foram separados por grupos de morfologia semelhante. Os grupos de esporos de FMA

foram transferidos e montados em lâminas semi-permanentes, com resina de álcool polivinílico e glicerol (PVLG) e em reagente de Melzer.

A identificação foi realizada ao nível de espécie utilizando um microscópio óptico (100 a 400X), com o auxílio do manual de Schenck e Pérez (1990) e descrições fornecidas pela Coleção Internacional de Fungos Micorrízicos Arbusculares e Vesiculares (invam [http://. caf.wvu.edu](http://caf.wvu.edu)). Estimou-se a densidade de esporos total e o de cada espécie por meio do número de esporos presentes em 50 g de solo.

Após a identificação das espécies de FMA, foram determinados: a abundância relativa (AR) de cada espécie, avaliada pela porcentagem de esporos por espécie na amostra; a riqueza de espécies (R), avaliada pelo número de espécies presentes em 50g de solo e o índice de dominância de Simpson (Is) [$Is = 1-L$], onde: $L = \sum ni (n- 1) / N (N-1)$, ni = densidade de cada espécie de FMA "i", N = número total de espécies de fungos micorrízicos, e o índice de diversidade Shannon (H) [$H = - \sum (pi \log pi)$], onde: $pi = ni / N$; ni = densidade de cada espécie de FMA, N = número total de espécies.

- Colonização micorrízica

Para obtenção da taxa de colonização radicular por FMA, as raízes das plantas primeiramente foram clareadas com 10% KOH e 10% H₂O₂, sendo posteriormente coradas com tinta de caneta azul e submersas em lactoglicerol (VIERHEILIG et al., 1998). A observação das estruturas de colonização de FMA foi feita em microscópio óptico segundo Giovannetti e Mosse (1980). Foram montadas cinco lâminas para cada amostra de raiz, contendo dez segmentos de raízes de aproximadamente um cm em cada lâmina. Foram atribuídas notas de 0 a 100 % para cada segmento, conforme a intensidade de colonização radicular observada.

- Análise estatística

Para análise estatística o número de esporos foi transformado para $(x + 0,5)^{0,5}$ e os dados de porcentagem de colonização radicular foram transformados para arco seno $(x/100)^{0,5}$. Realizou-se a análise de variância e em seguida o teste *t* de "Student" a fim de comparar as médias das áreas, profundidades e épocas, com auxílio do programa SAS (SAS INSTITUTE, 2008).

3.2.2 Resultados

- Características físicas e químicas do solo

A análise granulométrica mostrou que os solos apresentaram uma maior quantidade de argila, com textura variando de argilosa a muito argilosa (Tabela 3.2). A área R20 foi considerada a mais argilosa, enquanto que as áreas NT e R10 foram menos argilosas. Na maioria das vezes encontrou-se maior proporção de argila em maior profundidade.

Tabela 3.2 - Análise granulométrica da área Nativa (NT) e em gradiente de recuperação ambiental (R20, R10 e R05), ecossistema de Mata Atlântica, em janeiro de 2010, Estado de São Paulo, Brasil

Área	Profund. (cm)	Areia -----	Silte (g kg ⁻¹)	Argila -----	Textura
NT	0-15	612,3	40,0	251,0	média argilosa
	15-30	610,0	81,3	342,7	média argilosa
	30-45	563,3	69,0	367,7	argilosa
R20	0-15	344,7	71,0 b	584,3	argilosa
	15-30	334,3	64,3	601,3	muito argilosa
	30-45	321,7	77,3	601,0	muito argilosa
R10	0-15	645,7	53,7 b	301,0	média argilosa
	15-30	634,0	40,3	326,0	média argilosa
	30-45	599,0	25,0	376,0	argilosa
R05	0-15	331,0	134,7	534,3	argilosa
	15-30	311,3	162,7	526,0	argilosa
	30-45	324,7	173,7	501,3	argilosa

A umidade do solo não se modificou com o aumento da profundidade, entretanto, esta diferiu entre as áreas e épocas (Tabela 3.3). Os valores de umidade do solo, na época chuvosa, apresentaram diferenças significativas entre as áreas, sendo estes maiores nas áreas R05 e R20 até os 30 cm de profundidade; já nos 30-45 cm verificou-se que a umidade foi maior apenas para R05. Na época seca também havia maior umidade em R05, porém em todas as profundidades. Entre as épocas, verificou-se que em NT a umidade foi maior na época chuvosa até os 30 cm; já nos 30-45 cm não foram

verificadas diferenças entre as épocas. Em R20 e R10, a umidade foi maior na época chuvosa até os 15 cm, enquanto que nos 30-45 cm a umidade não diferiu entre as épocas. Em R05 a umidade não diferiu entre as épocas chuvosa e seca, em todas as profundidades.

Tabela 3.3 - Porcentagem de umidade do solo coletado na área Nativa (NT) e em gradiente de recuperação ambiental (R20, R10 e R05), ecossistema de Mata Atlântica, época chuvosa (janeiro) e época seca (junho) de 2010, Estado de São Paulo, Brasil

Áreas	Umidade do solo (%)					
	Chuvosa			Seca		
	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm
NT	17 b A*	17 b A	17 bc A	12 c B	12 c B	13 c A
R20	22 a A	20 a A	19 b A	17 b B	18 b A	18 b A
R10	16 b A	14 b A	15 c A	11 c B	12 c A	13 c A
R05	25 a A	23 a A	23 a A	25 a A	24 a A	25 a A

*Letras minúsculas nas colunas comparam as áreas na mesma profundidade e letras maiúsculas nas linhas comparam nas mesmas área e profundidade, as épocas pelo teste t ($p < 0.05$).

Todos os solos em estudo são ácidos, com baixos teores de matéria orgânica (MO) e P (Tabela 3.4). Verifica-se uma redução dos atributos químicos analisados com o aumento da profundidade, exceto para H+Al, que apresentou valores significativamente maiores em NT na maior profundidade. Constatou-se também grande variação entre as áreas para os diversos atributos químicos nas diferentes profundidades. Considerando apenas a profundidade de 0-15 cm, verificou-se que o pH, MO, P e K foram significativamente maiores na área R10, enquanto que Ca e Mg foram maiores em R05 e NT.

Tabela 3.4 - Características químicas de amostras de solo coletadas na área Nativa (NT) e em gradiente de recuperação ambiental (R20, R10 e R05). Ecossistema de Mata Atlântica, janeiro de 2010, Estado de São Paulo, Brasil

Prof.	pH CaCl ₂	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al
(cm)	0,01 Mol L ⁻¹	g Kg ⁻¹	mg dm ⁻³	-----	mmol _c Kg ⁻¹	-----	
NT							
0-15	4,6 a B	30 a B	13 a B	117 a B	36,5 a A	10,8 a A	54 c B
15-30	4,5 a A	27 a A	7 b C	136 a A	16,5 b B	7,5 b A	107 b A
30-45	3,9 b D	15 b B	3 c B	99 a B	10,3 b B	3,7 c B	148 a A
R20							
0-15	4,7 a B	24 a C	4 b C	40 a C	17,9 a B	8,8 a BC	33 c C
15-30	4,7 a A	20 a B	15 a A	47 a B	13,0 a B	5,3 b A	107 a A
30-45	4,5 b A	16 b B	6 b AB	21 b C	9,5 a B	3,0 c B	94 b B
R10							
0-15	4,9 a A	46 a A	25 a A	195 a A	22,7 a B	7,5 a C	80 a A
15-30	4,3 b A	14 b C	3 b D	191 a A	13,5 b B	4,0 b A	53 b C
30-45	4,4 b B	13 b B	2 bb B	161 b A	10,0 b B	3,8 b B	66 b D
R05							
0-15	4,4 a C	25 a BC	15 a B	43 a C	39,7 a A	10,5 a A	61 b B
15-30	4,2 b A	23 b AB	10 b B	27 ab B	30,2 ab A	7,5 b A	92 a B
30-45	4,2 b C	19 c A	9 b A	23 b C	28,5 b A	6,2 b A	75 b C

*Letras maiúsculas comparam as áreas na mesma profundidade e letras minúsculas comparam na mesma área, as diferentes profundidades pelo teste *t* ($p < 0.05$).

Colonização radicular por FMA

Na época chuvosa (janeiro) foi observada uma baixa colonização por FMA nas raízes coletadas na base do tronco das árvores (A), na verdade não muito mais do que traços, não ocorrendo diferenças significativas entre as áreas. Na época seguinte, com mais pontos amostrados, a colonização aumentou surpreendentemente (Tabela 3.5). Uma baixa colonização ainda foi observada próximo ao tronco das árvores (ponto A), com maiores valores para NT e menores para R05, sendo que R10 e R20 não diferiram desses dois, nem entre si. A colonização das raízes distanciadas em 1m da base do tronco (B) apresentou, de um modo geral, maiores valores em comparação com A. Em B, a colonização radicular foi maior em NT seguida de R20, depois de R10, enquanto

R10 e R05 não diferiram entre si. Considerando todos os pontos amostrados, houve maior colonização para as plantas coletadas no entorno das árvores (C), e nestas, uma maior colonização foi encontrada em NT e R05, seguida de R20, sendo a menor colonização em R10.

Tabela 3.5 - Porcentagem de colonização por FMA nas raízes coletadas na base do tronco das árvores (A), distanciadas 1m da base do tronco (B) e em plantas no entorno das árvores (C), na área nativa (NT) e em gradiente de recuperação ambiental (R20, R10 e R05), época chuvosa (janeiro) e época seca (junho) de 2010. Ecossistema de Mata Atlântica. Estado de São Paulo, Brasil

Áreas	Chuvosa		Seca	
	A	A	B	C
R05	2 c A*	2 c B	11 b C	58 a AB
R10	1 c A	7 b AB	17 b C	37 a C
R20	0 d A	7 c AB	22 b B	42 a B
NT	1 d A	8 c A	44 b A	70 a A

* Letras minúsculas nas linhas comparam os diferentes pontos de amostragem na mesma área e letras maiúsculas na coluna comparam no mesmo ponto as áreas pelo teste *t* ($p < 0,05$).

Número de esporos de FMA

O número de esporos de FMA diminuiu com o aumento da profundidade do solo nas duas épocas de amostragem (Figura 3.1). Na época chuvosa foram contados 268 esporos $50g^{-1}$ solo seco em 0-15 cm e 183 esporos $50g^{-1}$ solo seco em 30-45 cm. Na época seca, verificou-se um total de 184 esporos $50g^{-1}$ solo seco em 0-15 cm e 35,65 esporos $50g^{-1}$ solo seco em 30-45 cm. Essa diferença do número de esporos entre a primeira e a última profundidade foi mais pronunciada na área R05 tanto para a primeira quanto para a segunda época. Um maior número de esporos foi recuperado na época chuvosa (665 esporos $50g^{-1}$ solo seco) em comparação com a época seca (318 esporos $50g^{-1}$ solo seco).

Na época chuvosa, a área R05 apresentou maior número de esporos em todas as profundidades. Entretanto, na época seca este comportamento só foi verificado na profundidade de 0-15 cm; em 15-30 cm o número de esporos foi maior em NT e em 30-45 cm um maior número de esporos foi encontrado nas áreas R10 e NT. Considerando todas as épocas e profundidades, encontrou-se um menor número de esporos na área R20.

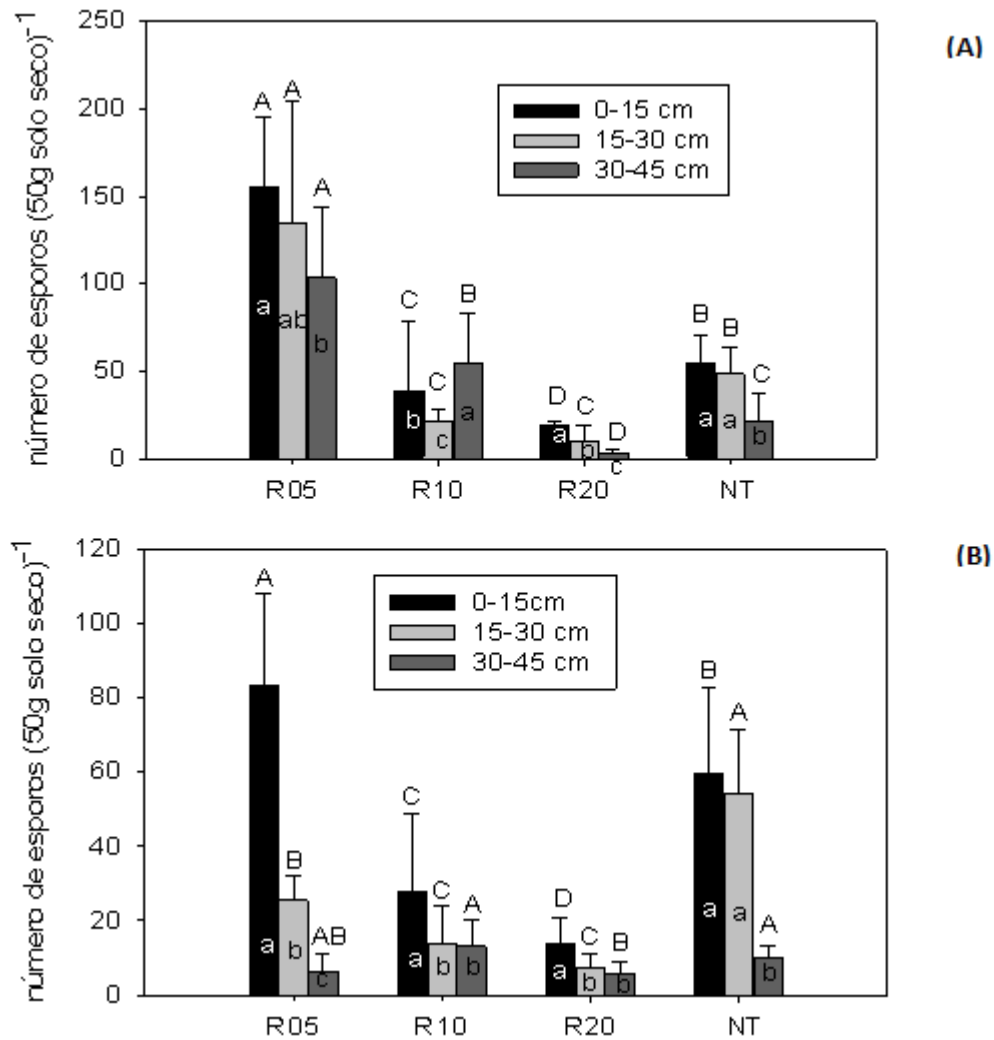


Figura 3.1 – Número de esporos de FMA coletado na área nativa (NT) e em gradiente de recuperação (R20, R10 e R05) em três profundidades. (A) época chuvosa e (B) época seca. Letras maiúsculas comparam as áreas no mesmo período e letras minúsculas comparam a mesma área em diferentes períodos pelo teste *t* ($p < 0.05$)

Riqueza, dominância e diversidade das espécies de FMA

Os índices de riqueza (R) e de diversidade (H) diminuíram com o aumento da profundidade para NT e R20, na época chuvosa, e para NT, R20 e R05 na época seca (Tabela 3.6). Entre as áreas, observou-se que nas profundidades de 0-15 e 15-30 cm, H foi maior para NT nas duas épocas de amostragem. Entretanto, em 30-45 cm, H foi maior para R05 na época chuvosa, enquanto que na época seca os maiores índices

foram observados para NT e R10. O índice de dominância (Is) apresentou maiores valores na maior profundidade, exceto para R10 nas duas épocas.

Tabela 3.6 - Índices ecológicos das espécies de FMA: Riqueza de espécies (R), Índice de Shannon (H) e Índice de Simpson (Is) nas áreas em recuperação ambiental (R05, R10 e R20) e na área Nativa (NT), na época chuvosa (janeiro) e seca (junho), 2010, São Paulo, Brasil

Prof. (cm)	NT	R20	R10	R05	NT	R20	R10	R05
	Chuvosa				Seca			
Riqueza de espécies (R)								
0-15	7,7 A a*	3,6 A c	3,4 B c	4,5 AB b	7,5 A a	3,8 A c	3,0 A c	4,4 A b
15-30	7,2 A a	2,8 A b	3,4 B b	3,6 B b	6,0 B a	3,1 A c	3,0 A c	4,3 A b
30-45	3,6 B b	1,46 B c	4,0 A b	4,8 A a	3,3 C a	1,8 B b	3,1 A a	2,6 B a
Índice de Shannon (H)								
0-15	0,73 A a	0,44 A b	0,45 B b	0,50 B b	0,70 A a	0,49 A b	0,34 B c	0,54 A b
15-30	0,71 A a	0,34 A d	0,46 B c	0,63 A b	0,59 B a	0,45 A b	0,30 B c	0,57 A a
30-45	0,39 B b	0,13 B c	0,51 A b	0,65 A a	0,50 B a	0,22 B c	0,44 Aab	0,35 B b
Índice de Simpson (Is)								
0-15	0,24 B b	0,42 B a	0,40 A a	0,37 A a	0,25 B c	0,37 B b	0,52 B a	0,33 B b
15-30	0,25 B c	0,54 B a	0,38 A b	0,28 A c	0,29 B b	0,37 B b	0,60 A a	0,29 B b
30-45	0,54 A b	0,77 A a	0,36 A c	0,28 A d	0,41 A c	0,65 A a	0,40 B c	0,51 A b

*Letras minúsculas nas linhas comparam as áreas na mesma profundidade e letras maiúsculas nas colunas comparam na mesma área, as diferentes profundidades pelo teste *t* ($p < 0.05$).

Distribuição vertical de FMA

Na área NT, na época chuvosa, foi encontrado maior número de esporos de *Glomus* sp1 e *Glomus* sp2 e um menor número de *Ac. spinosa* (Figura 3.2). *Glomus* sp3, *Gigaspora* sp1 e *Gigaspora* sp2 apareceram somente na profundidade de 0-15 cm, já *Acaulospora lacunosa* e *Gigaspora decipiens* foram encontradas apenas até os 30 cm. As espécies *Scutellospora heterogama* e *Gigaspora* sp1 foram exclusivas para a época chuvosa, enquanto que *Ambispora appendicula*, *Racocetra intraornata* e *Gigaspora* sp2 foram exclusivas para a época seca. *Ambispora appendicula*, *Ac. colossica*, *Ac. spinosa*, *Gigaspora decipiens* e *Gigaspora* sp2 foram exclusivas para a profundidade de 0-15 cm.

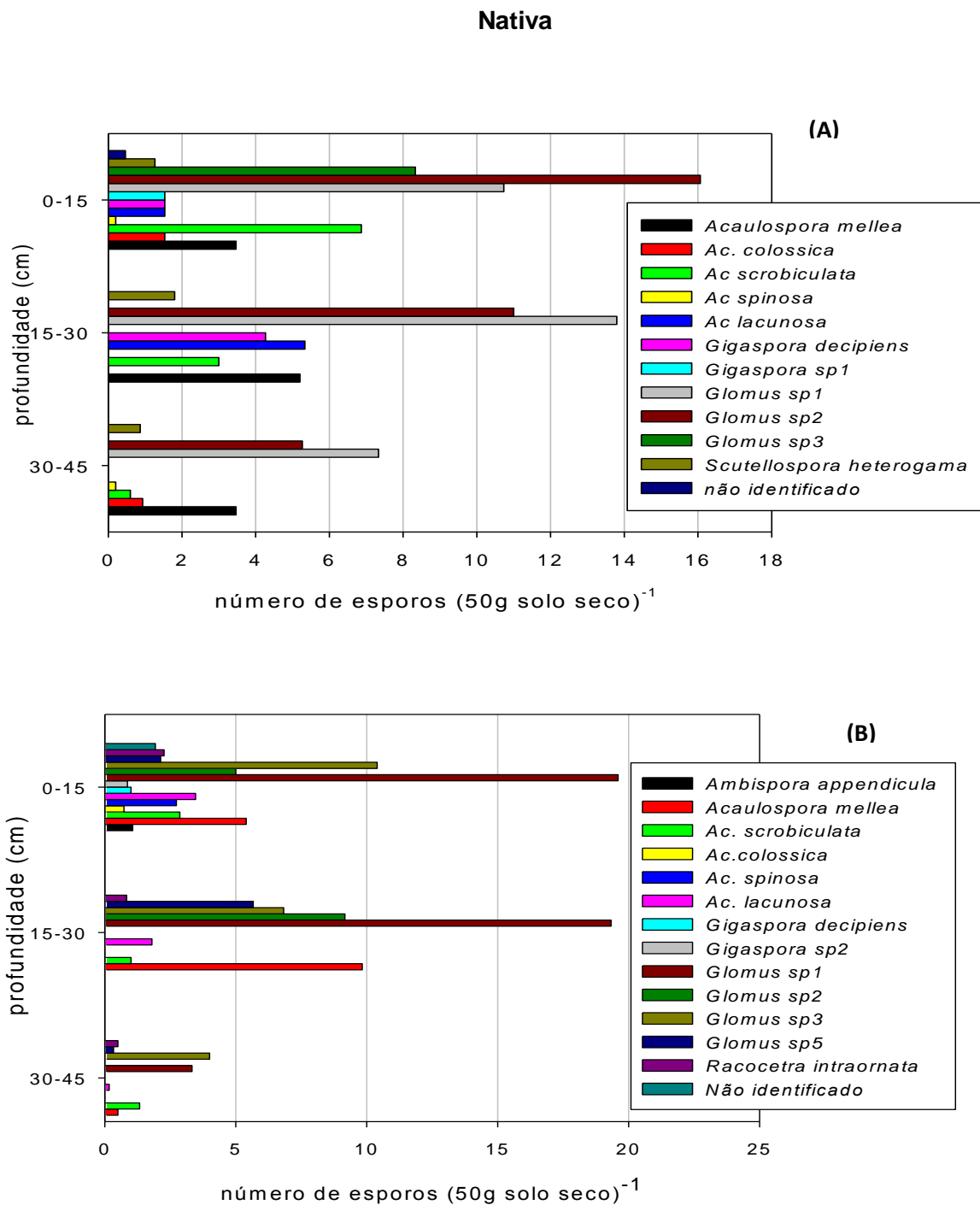


Figura 3.2 - Distribuição vertical das espécies de FMA na área nativa, nas épocas chuvosa (A) e seca (B)

Na área R20, na época chuvosa, verificou-se um maior número de esporos de *Glomus sp2* e *Glomus sp3*, enquanto que na época seca havia um maior número de esporos das espécies *Ac. mellea*, *Sc. pellucida*, *Glomus sp2* e *Glomus sp4* (Figura 3.3).

As espécies *Gigaspora rosea* e *Gi decipiens* ocorreram somente em 0-15 cm na época chuvosa e *Ac scrobiculata*, *Gigaspora rosea* e *Gigaspora sp1* foram encontradas apenas até 30 cm na época seca.

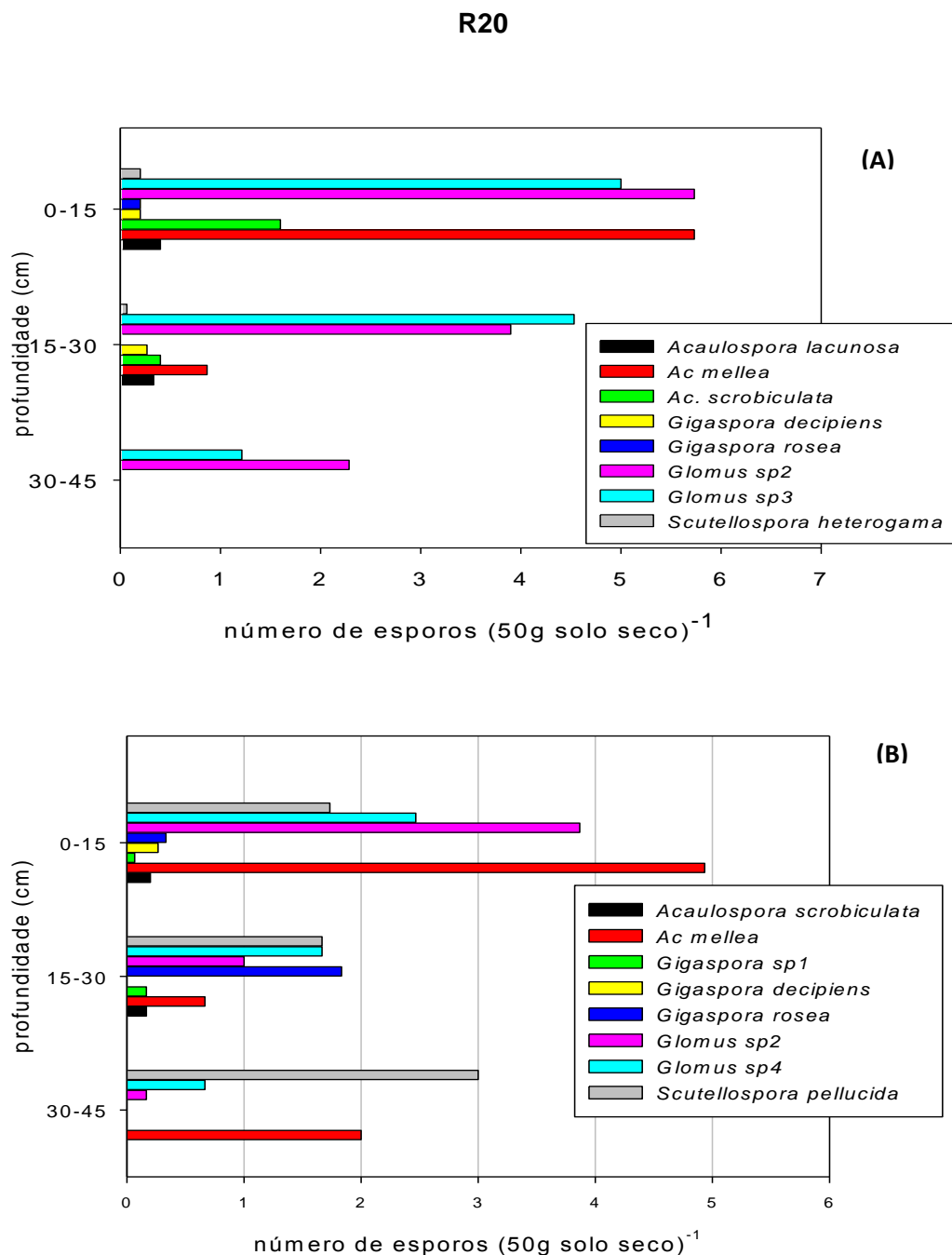


Figura 3.3 - Distribuição vertical das espécies de FMA na área R20, nas épocas chuvosa (A) e seca (B)

Na área R10, encontrou-se um maior número de esporos de *Glomus* sp2, *Glomus* sp3, *Ac. mellea* e *Ac. scrobiculata* para as duas épocas de amostragem (Figura 3.4). Na época chuvosa, *Glomus* sp2, *Glomus* sp3 e *Ac. mellea* apresentaram maior número de esporos na profundidade de 30-45 cm. *Glomus geosporum* apareceu somente na profundidade de 0-15 cm na época chuvosa, e o mesmo comportamento foi verificado para *Acaulospora foveata* na época seca.

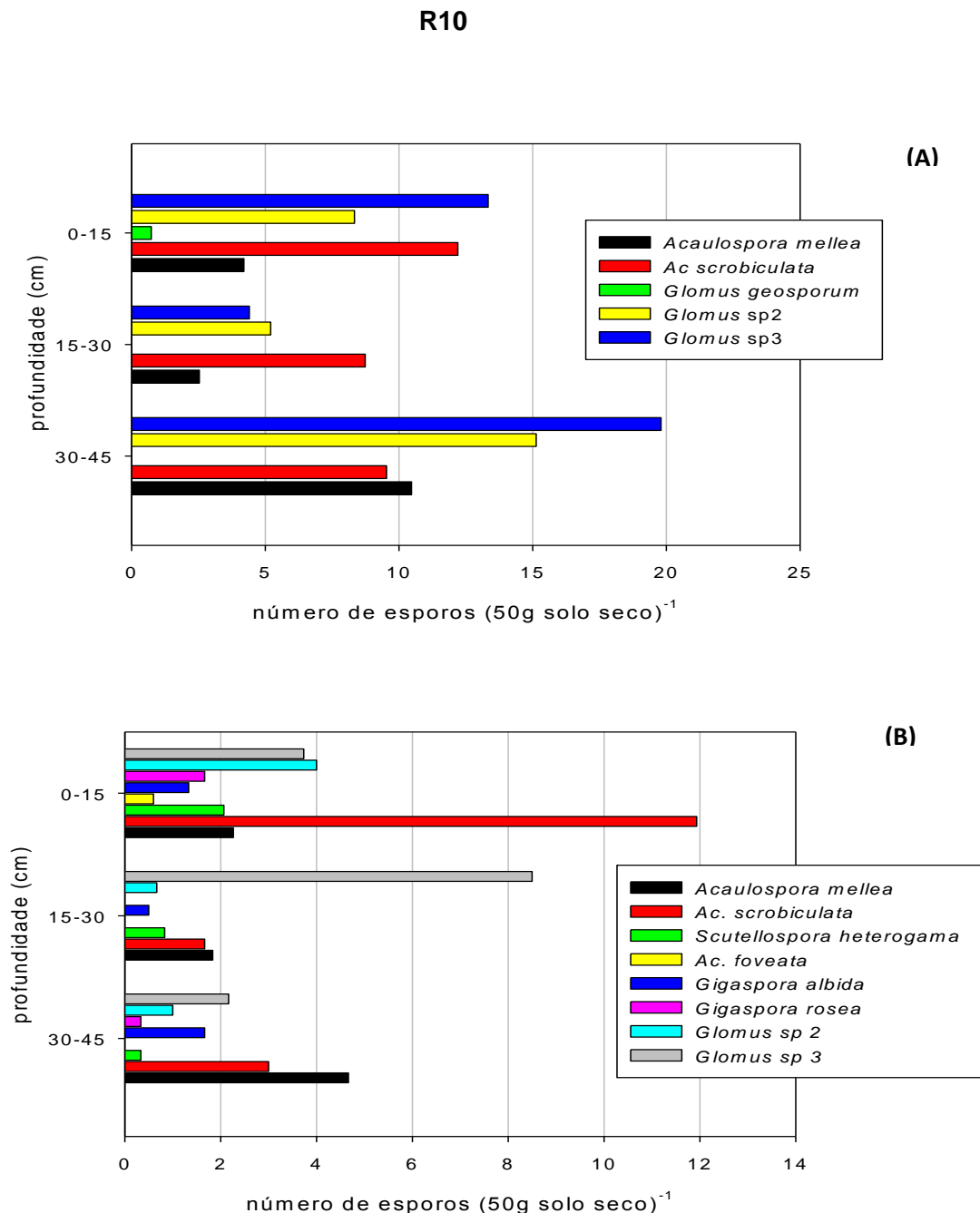


Figura 3.4 - Distribuição vertical das espécies de FMA na área R10 nas épocas chuvosa (A) e seca (B)

Na área R05, na época chuvosa, encontrou-se um maior número de esporos de *Glomus viscosum*, *Glomus sp3*, *Ac. scrobiculata* e *Ac. mellea* (Figura 3.5). *Ac. colossica* apareceu somente na profundidade de 30-45 cm e *Glomus sp2* somente depois dos 15 cm. Na época seca, a ocorrência das espécies não variou com a profundidade e um grande número de esporos foi encontrado na profundidade de 0-15 cm.

R05

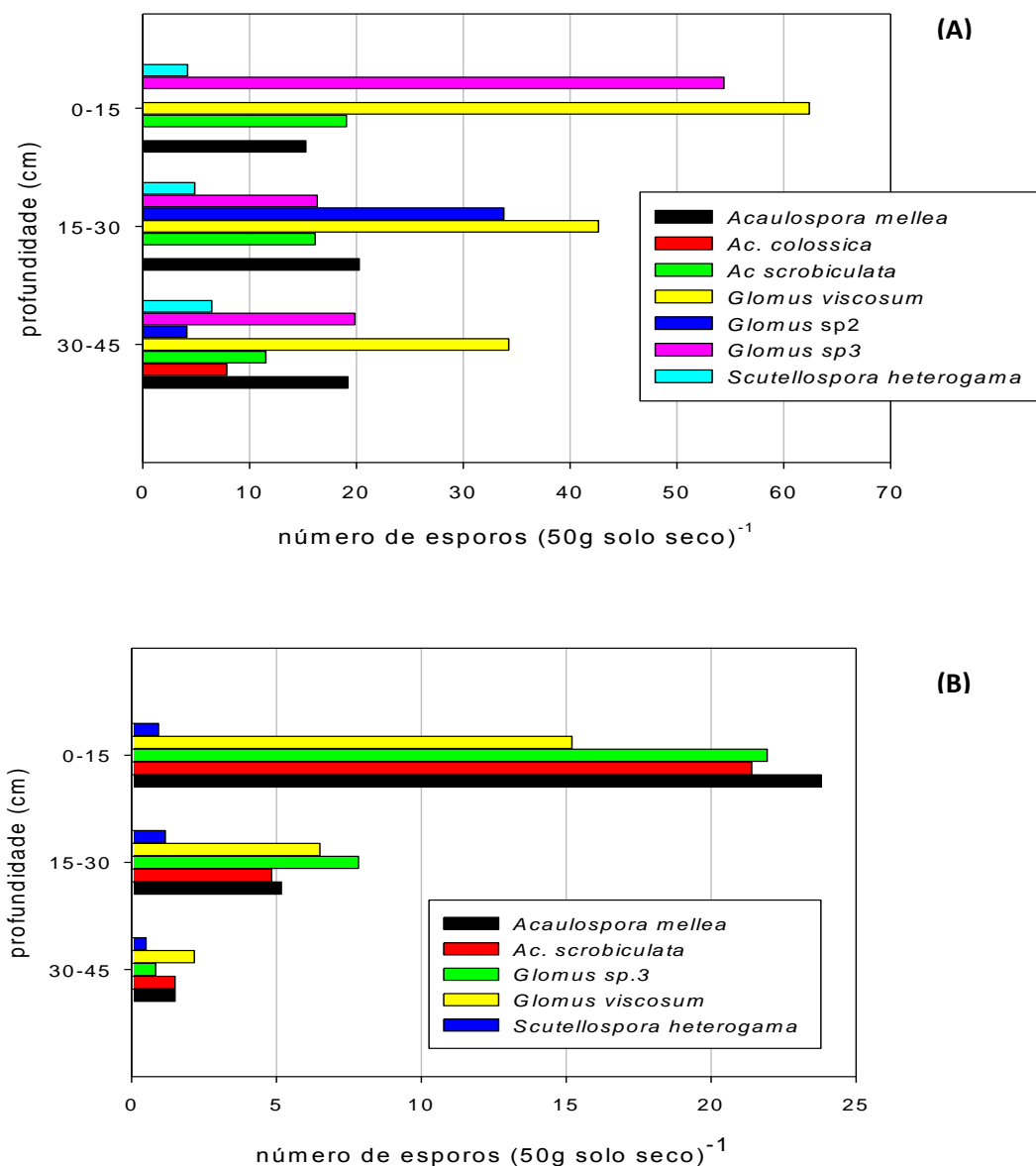


Figura 3.5 - Distribuição vertical das espécies de FMA na área R05 nas épocas chuvosa (A) e seca (B)

Uma análise geral de todas as áreas, épocas e profundidades (Tabela 3.7), mostra que *Acaulospora colossica*, *Scutellospora heterogama* e *S. pellucida* foram mais abundantes na profundidade de 30-45 cm. *Glomus* sp1 foi mais abundante a partir dos 30 cm de profundidade. Algumas espécies ocorreram apenas na camada mais superficial do solo, como: *Ambispora appendicula*, *Ac. foveata*, *Glomus geosporum* e *Gigaspora* sp2. As espécies do gênero *Acaulospora* (*Ac. mellea* e *Ac. scrobiculata*) e *Glomus* (*Glomus viscosum* e *Glomus* sp2) foram sempre abundantes em todas as profundidades analisadas, enquanto que as espécies do gênero *Gigaspora*, *Ambispora* e *Racocetra* foram raras em todas as profundidades.

Tabela 3.7 - Abundância relativa das espécies de FMA nas diferentes profundidades do solo, considerando todas as áreas e épocas. Ecossistema de Mata Atlântica, Estado de São Paulo, Brasil

Espécies de FMA	Abundância relativa (%)		
	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm
<i>Ambispora appendicula</i> (Schenck & Smith) Walker, Vestberg & Schuessler	Rara	0	0
<i>Acaulospora mellea</i> Spain & Schenck	Abundante	Abundante	Abundante
<i>Ac foveata</i> Trappe & Janos,	Rara	0	0
<i>Ac. colossica</i> Schultz, Bever & Morton	Rara	0	Freqüente
<i>Ac scrobiculata</i> Trappe	Abundante	Abundante	Abundante
<i>Ac spinosa</i> Walker & Trappe	Rara	0	Rara
<i>Ac lacunosa</i> Morton	Rara	Freqüente	Rara
<i>Gigaspora decipiens</i> Hall & Abbott	Rara	Rara	0
<i>Gi. rosea</i> Nicolson & Schenck,	Rara	Rara	Rara
<i>Gi albida</i> Schenck & Sm	Rara	Rara	Rara
<i>Gigaspora</i> sp1	Rara	Rara	0
<i>Gigaspora</i> sp2	Rara	0	0
<i>Glomus geosporum</i> (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker	Rara	0	0
<i>Glomus viscosum</i> Nicolson	Abundante	Abundante	Abundante
<i>Glomus</i> sp1	Freqüente	Abundante	Abundante
<i>Glomus</i> sp2	Abundante	Abundante	Abundante
<i>Glomus</i> sp3	Abundante	Abundante	Freqüente
<i>Glomus</i> sp4	Rara	Rara	Rara
<i>Glomus</i> sp5	Rara	Rara	Rara
<i>Racocetra intraornata</i> Goto, Maia & Oehl	Rara	Rara	Rara
<i>Scutellospora heterogama</i> (T.H. Nicolson e Gerd.) Walker & Sanders	Rara	Rara	Freqüente
<i>S. pellucida</i> (Nicol. & Schenck) Walker & Sanders	Rara	Rara	Freqüente

Nota: 0=não ocorrência; Rara: <1%-2%; freqüente: >2-10%; e abundante: > 10%

O gênero *Glomus* apresentou uma alta diversidade de espécies, com mais de 30% das espécies encontradas (7 espécies). Os gêneros *Acaulospora* e *Gigaspora* também apresentaram uma alta diversidade com 26% (6 espécies) e 22% (5 espécies) respectivamente. Ocorreu um maior número de espécies na época seca e na área NT.

3.2.3 Discussão

Os solos apresentaram caráter ácido e com baixos teores de MO, P e K. A baixa fertilidade nos solos da Floresta Tropical tem sido reportada e pode estar associada à rápida ciclagem de nutrientes (CUENCA; LOVERA, 2010). A disponibilidade de nutrientes no solo não foi relacionada com o tempo de recuperação ambiental. Possivelmente resquícios da fertilização nas áreas com cultivo agrícola recente e a rápida ciclagem de nutrientes, comum em áreas nativas, estão contribuindo para tais resultados.

A maior colonização radicular por FMA verificada nas árvores de floresta nativa e de estádios mais avançados de recuperação está em desacordo com alguns relatos de que a colonização das raízes é geralmente menor nos ecossistemas de Mata Atlântica que apresentam floresta madura ou floresta secundária com idade mais avançada do que nas áreas mais estressadas (AIDAR et al., 2004; STÜRMER et al., 2006; ZANGARO et al., 2008). A avaliação da colonização por FMA pode variar bastante de acordo com a espécie arbórea envolvida. Espécies pioneiras e secundárias iniciais podem apresentar colonização radicular de alta a muito alta, enquanto que as secundárias tardias e clímaxes apresentam de baixa a muito baixa colonização (ZANGARO et al., 2002). Entretanto, como no presente trabalho as coletas foram realizadas aleatoriamente, sem considerar o grupo ecológico das espécies arbóreas, pode ser que uma maior ou menor colonização radicular esteja relacionada à capacidade micotrófica de cada espécie arbórea presente nas áreas estudadas.

Dessa forma, a avaliação da colonização radicular de determinado ambiente mostra-se problemática, pois em ecossistema com floresta mista e tão diversificado como o da Mata Atlântica, a seleção de plantas ao acaso pode remeter à coleta de raízes de plantas com diferentes níveis de dependência micorrízica. Além disso, pode ocorrer a insuficiência de indivíduos da mesma espécie para realizar a amostragem,

ocorrendo um número de repetições insuficiente, o que compromete estatisticamente a avaliação. O ideal seria aliar o estudo de colonização micorrízica com um estudo de diversidade vegetal nas florestas ou ,ainda, complementar os dados de campo com um ensaio em casa de vegetação com maior número de repetições das espécies arbóreas. Outro ponto que deve ser considerado é o local da raiz na qual é realizada a amostragem, se é na base do tronco das árvores ou distanciado desse, além da idade da planta.

Uma maior colonização observada nas raízes distanciadas em um metro do tronco das árvores pode estar relacionada à maior presença de raízes mais finas observadas nesse local que possivelmente contribuíram para uma maior colonização, visto que são estas as principais responsáveis pela exsudação de compostos orgânicos que desencadearão o processo de colonização pelo fungo micorrízico (CARDOSO et al., 2003; ZANGARO et al., 2008) e também pela absorção de nutrientes pela planta. Este mesmo comportamento foi confirmado para as plantas coletadas no entorno das árvores que, devido à maior presença de raízes finas, apresentaram uma maior colonização por FMA em comparação com as árvores já bem estabelecidas. Outro fato que possivelmente contribuiu para tais resultados é o maior investimento na simbiose micorrízica por plantas em estádios iniciais de desenvolvimento (espécies com crescimento rápido), em comparação com espécies arbóreas nativas de uma floresta madura (espécies de crescimento mais lento), que são menos capazes de manter os fungos, devido à sua baixa atividade metabólica, menor investimento na produção de folhas e menor disponibilidade de luz, que pode resultar em menos carboidratos disponíveis nas raízes para os FMA (ZANGARO et al., 2008).

É importante destacar que, embora tenham ocorrido diferenças para épocas de amostragem, áreas de estudo, pontos de amostragem e espécies arbóreas envolvidas, a presença de colonização radicular por FMA foi generalizada em todas as áreas, mesmo naquelas em recuperação mais recente. A associação micorrízica é reportada como um dos principais fatores bióticos que contribuem para o sucesso da recuperação de áreas degradadas. Uma vez que estes fungos tornam a ciclagem de nutrientes mais eficiente, eles minimizam as perdas de elementos dos ecossistemas e diminuem o estresse nutricional, visto que os solos são geralmente pobres em nutrientes, e isso

tudo reflete numa melhor adaptação, sobrevivência e aceleração do crescimento das espécies arbóreas (ZANGARO et al., 2002).

Apesar de ocorrer, geralmente, uma redução do número de esporos com o aumento da profundidade, surpreendentemente, neste estudo, ainda foi verificado um elevado número de esporos na maior profundidade. A redução do número de esporos com a profundidade está de acordo com o único estudo realizado no Brasil sobre a densidade de esporos de FMA ao longo do perfil do solo (CARDOSO et al., 2003). Os autores, trabalhando com as profundidades de: 0–1, 2–3, 5–7.5, 10–15, 20–30 e 40–60 cm, observaram que a porcentagem de esporos foi de 79 até 88% na profundidade de 0–15 cm e de 12–21% na de 20–60 cm. Estes resultados concordam também com os apresentados por Lovera e Cuenca (2007), em estudos na Venezuela e Yang et al. (2010) na China. Tal fato pode estar associado à maior presença de raízes finas nas camadas superficiais do que nas camadas profundas, já que os esporos são altamente dependentes das raízes, principalmente das mais finas, para iniciarem a simbiose (CARDOSO et al., 2003; ZANGARO et al., 2008). Dessa forma, a densidade de esporos parece que acompanha a densidade de raízes finas ao longo do perfil do solo (CUENCA; LOVERA, 2010). A alta temperatura e a luz elevada próximo à superfície do solo também contribuem para aumentar a esporulação (CARDOSO et al., 2003). Além disso, a menor presença de esporos na camada mais profunda pode estar relacionada à baixa pressão parcial de oxigênio que prevalece em profundidade, uma vez que os mesmos são aeróbios, e a elevada densidade do solo nas camadas inferiores pode impedir a sobrevivência dos esporos (VERMA et al., 2010).

Além da variação do número de esporos ao longo do perfil do solo, ocorreu também uma grande variação de espécies, com menor número de espécies sendo verificada na maior profundidade. Estes resultados estão de acordo com os apresentados por Oehl et al. (2005), Lovera e Cuenca (2007), Cuenca e Lovera (2010) e Yang et al. (2010). Entretanto, elevada riqueza de espécies também pode ser encontrada mesmo nas camadas mais inferiores, sendo algumas vezes superior às camadas mais superficiais, como foi verificado nas áreas R10 e R05 na época chuvosa. Uma maior riqueza de espécies nas camadas mais profundas em comparação com as camadas mais superficiais não é comum, mas em alguns casos um maior índice de

diversidade e até mesmo a permanência da riqueza de esporos até a profundidade de 40 cm tem sido reportada (OEHL et al., 2005; LOVERA; CUENCA, 2007; CUENCA; LOVERA, 2010).

Algumas características de cada área, como, por exemplo, os efeitos da intervenção antrópica através das práticas de manejo do solo, por meio de aração, adubação, monoculturas extensivas e uso de agrotóxicos devem ter contribuído para a redução da incidência de algumas espécies de FMA, e talvez para a migração destas para as camadas mais profundas. Muitas espécies de FMA parecem encontrar refúgio abaixo da profundidade de aração, como estratégia para garantir sua sobrevivência. (OEHL et al., 2005).

A diminuição das espécies de *Acaulospora* e *Gigaspora* com o aumento da profundidade, enquanto as espécies de *Scutellospora* aumentam (MULETA et al., 2008; OEHL et al., 2005), pôde ser confirmada. A maior ocorrência de *Scutellospora* na maior profundidade pode estar relacionada à maior adaptação desse gênero a temperaturas mais baixas que geralmente são encontradas nas camadas mais profundas do solo (MULETA et al., 2008), à baixa disponibilidade de nutrientes, principalmente P, visto que espécies desse gênero apresentam correlação negativa com os teores de P disponível (OEHL et al., 2005) e, ainda, como *Scutellospora* é particularmente sensível aos distúrbios do solo (MULETA et al., 2008), esse gênero pode ter encontrado abrigo nas camadas mais profundas.

Um maior número de esporos foi encontrado na época chuvosa, enquanto um maior número de espécies foi verificado na época seca. A dinâmica sazonal dos FMA ainda não está bem elucidada, com muitas suposições sendo apresentadas na tentativa de explicar tal comportamento. Possivelmente, este fato está relacionando à elevada intensidade luminosa e temperatura nessa época, que tem como consequências o aumento na exsudação radicular e concentração de carboidratos na raiz, contribuindo para uma maior esporulação (GEHRING et al., 2003). A dinâmica sazonal da diversidade de FMA é mais complexa, pois as espécies de FMA apresentam diferentes estratégias de esporulação, sendo que algumas podem esporular mais e outras menos em determinadas épocas do ano (MOREIRA et al., 2007). Em alguns casos, assim

como no presente estudo, um maior número de espécies de FMA tem sido encontrado na época seca (CAPRONI et al., 2007; CUENCA; LOVERA, 2010).

O número de espécies de FMA encontrado e a maior ocorrência de *Glomus* e *Acaulospora* concordam com os resultados de outras pesquisas em áreas de Mata Atlântica no Estado de São Paulo na profundidade de 0-20 cm (TRUFEM; VIRIATO, 1990; CARRENHO et al., 2001; MOREIRA-SOUZA et al., 2003; AIDAR et al., 2004; STÜRMER et al., 2006; MOREIRA et al., 2007). A maior ocorrência de *Glomus* e *Acaulospora* está relacionada entre outros fatores com a textura dos solos no estudo em pauta (argilosa a muito argilosa) que favorece a ocorrência de *Glomus* e *Acaulospora*, enquanto que nessa textura de solo os gêneros *Gigaspora* e *Scutellospora* são menos freqüentes (LEKBERG et al., 2007). *Acaulospora* também pode ter sido favorecida pelo baixo valor de pH observado nos solos, uma vez que este gênero ocorre com maior freqüência em solos ácidos (LAMBAIS; CARDOSO, 1988; STÜRMER et al., 2006).

Um maior número de esporos foi verificado nas áreas R05 e NT. Um maior número de esporos na área em recuperação mais recente pode estar associado à presença de árvores ainda não desenvolvidas completamente, o que aumenta a dependência dos FMA (ZANGARO et al., 2002). E ainda, nessa área há uma maior incidência de radiação luminosa nos solo, já que as plantas não possuem a copa completamente formada, e assim, possivelmente, os rápidos ciclos de secagem e molhamento do solo podem ter desencadeado nos FMA mecanismos que induziram a esporulação (ZANGARO; MOREIRA, 2010). Já na área nativa um elevado número de esporos pode estar associado às melhores características do ambiente devido à ausência de distúrbios, onde a ciclagem de nutrientes é mais eficiente, fato que também favoreceu um maior número de espécies em NT. Nessa área ocorre a instalação de um maior número de espécies vegetais potencialmente hospedeiras que possivelmente contribui para aumentar a riqueza da comunidade de FMA (CARRENHO et al., 2001; MOREIRA-SOUZA et al., 2003; LOVERA; CUENCA, 2007). Entretanto, tal suposição não ocorre em todas as situações, pois o aumento da diversidade de espécies vegetais pode não ser seguido pelo aumento da diversidade de FMA, como observado por Stürmer et al. (2006) em solos de estádios iniciais de uma sucessão secundária de

Floresta Atlântica no Sul do Brasil. Dessa forma, a relação entre diversidade de plantas e diversidade de espécies de FMA ainda não está bem elucidada e outras características ecológicas de cada ecossistema podem estar influenciando indiretamente nessa relação (MOREIRA et al., 2009).

Apesar do número de esporos ser elevado em R05, esta foi a que apresentou um menor número de espécies de FMA (menor diversidade), isso sugere que algumas espécies foram dizimadas ou até erradicadas com o manejo agrícola anteriormente adotado e o tempo ainda não foi suficiente para recuperar todas as espécies originalmente presentes no solo. Pode ser que nesse ecossistema o retorno das espécies de FMA seja muito baixo, ou ainda, que não tenha entrado nenhuma espécie nova, devido à baixa capacidade de dispersão destes fungos, já que estes possuem hábito hipógeo, em que as frutificações localizam-se abaixo da superfície do solo, dificultando o transporte, principalmente por chuva e vento (LOVERA; CUENCA, 2007).

2.3 Conclusões

Os resultados apresentados contribuem para o conhecimento da distribuição vertical dos FMA em solos de Floresta Atlântica. Os altos valores para a ocorrência e a diversidade de FMA até os 45 cm de solo foram surpreendentes. Ocorreu uma grande variação das espécies de FMA ao longo do perfil do solo e algumas espécies foram mais abundantes na maior profundidade. Um maior número de esporos de FMA foi verificado na época chuvosa, enquanto que uma maior diversidade de espécies foi encontrada na época seca. A diversidade de FMA foi maior na área nativa e acompanhou o gradiente de recuperação das áreas. A colonização radicular por FMA foi maior nas raízes das árvores que se encontravam em fases iniciais de desenvolvimento em comparação com as árvores mais desenvolvidas e, nestas, uma maior colonização foi verificada nas raízes distanciadas em 1 m do tronco do que na base do tronco. Alguns problemas são observados quando se deseja avaliar a colonização radicular em floresta mista, onde as árvores não se encontram classificadas e onde o número de árvores da mesma espécie é insuficiente para uma avaliação estatisticamente correta.

Referências

AIDAR, M.P.M.; CARRENHO, R.; JOLY, C.A. Aspects of arbuscular mycorrhizal fungi in an Atlantic Forest chronosequence in Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), SP. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 4, p. 1-15, 2004.

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

CARDOSO, E.J.B.N.; CARDOSO, I. M.; NOGUEIRA, M.A.; MALUCHE BARETTA, C.R.D.; DE PAULA, A.M. Micorrizas arbusculares na aquisição de nutrientes pelas plantas. In: SIQUEIRA, J.O.; DE SOUZA, F.A.; CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M. **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras: Editora UFLA, 2010. v. 1, p. 153-215.

CARRENHO, R.; TRUFEM, S.F.B.; BONONI, V.L.R. Fungos micorrízicos arbusculares em rizosferas de três espécies de fitobiontes instaladas em área de mata ciliar revegetada. **Acta Botânica Brasílica**, São Paulo, v. 15, p. 115-124, 2001.

CAPRONI, A.L.; FRANCO, A.A.; GRANHA, J.R.D.D.O.; SOUCHIE, E.L. Ocorrência de Fungos Micorrízicos Arbusculares em resíduo da mineração de bauxita revegetado com espécies arbóreas. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 21, p. 99-106, 2007.

CUENCA, G.; LOVERA, M. Seasonal variation and distribution at different soil depths of arbuscular mycorrhizal fungi spores in a tropical sclerophyllous shrubland. **Botany**, Ottawa, v. 88, p. 54-64, 2010.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

GEHRING, C.A. Growth responses to arbuscular mycorrhizae by rain forest seedlings vary with light intensity and tree species. **Plant Ecology**, Perth, v. 167, p. 127-139, 2003.

GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, London, v. 46, p. 235-244, 1963.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, Oxford, v. 84, p. 489-500, 1980.

LAMBAIS, M.R.; CARDOSO, E.J.B.N. Avaliação da germinação de esporos de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares e da colonização micorrízica de *Stylosanthes guianensis* em solo ácido e distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 12, p. 249-255, 1988.

LEKBERG, Y.R.T.; KOIDE, R.; ROHR, J.R.; ALDRICH-WOLFE, L.; MORTON, J.B. Role of niche restrictions and dispersal in the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities. **Journal of Ecology**, Malden, v. 95, p. 95-105, 2007.

LOVERA, M.; CUENCA, G. Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y potencial micorrízico del suelo de una sabana natural y una sabana perturbada de la gran sabana, Venezuela. **Interciência**, Caracas, v. 32, p. 108-114, 2007.

MENDES FILHO, P.F.; VASCONCELLOS, R.L.F.; PAULA, A.M.; CARDOSO, E.J.B. N. Evaluating the potential of forest species under microbial management for the restoration of degraded mining areas. **Water, Air & Soil Pollution**, Dordrecht, v. 208, p. 79-89, 2010.

MOREIRA, M.; BARETTA, D.; TSAI, S.M.; CARDOSO, E.J.B.N. Arbuscular mycorrhizal fungal communities in native and in replanted *Araucaria* forest. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, p. 677-684, 2009.

MOREIRA, M.; BARETTA, D.; TSAI, S.M.; GOMES-DA-COSTA, S.M.; CARDOSO, E.J.B.N. Biodiversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in *Araucaria angustifolia* forest. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, p. 393-399, 2007.

MOREIRA-SOUZA, M.; TRUFEM, S.F.B.; GOMES-DA-COSTA, S.M.; CARDOSO, E.J.B.N. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Araucaria angustifolia* (Bert.) O.Ktze. **Mycorrhiza**, New York, v. 13, p. 211-215, 2003.

MULETA, D.; ASSEFA, F.; NEMOMISSA, S.; GRANHALL, U. Distribution of arbuscular mycorrhizal fungi spores in soils of smallholder agroforestry and monocultural coffee systems in southwestern Ethiopia. **Biology & Fertility of Soils**, Berlin, v. 44, p. 653-659, 2008.

OEHL, F.; SIEVERDING, E.; INEICHEN, K.; RIS, E.-A.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A. Community structure of arbuscular mycorrhizal fungi at different soil depths in extensively and intensively managed agroecosystems. **The New Phytologist**, Oxford, v. 165, p. 273-83, 2005.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.

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

RILLIG, M.C.; FIELD, C.B. Arbuscular mycorrhizae respond to plants exposed to elevated atmospheric CO₂ as a function of soil depth. **Plant & Soil**, Dordrecht, v. 254, p. 383-391, 2003.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. de F. (Org.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2000. Cap.15.1, p. 235-248.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT**: user's guide version 9.2 (software). Cary, 2008.

SCHENCK, N.C.; PÉREZ, Y. **Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi**. 3rd ed. Gainesville: Synergistic, 1990. 250 p.

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

SMITH, S.E.; READ, D.J. *Mycorrhizal symbiosis*. 2nd ed. New York: Academic Press, 1997. 605p.

SOARES, C.R.F.S.; CARNEIRO, M.A. Micorrizas arbusculares na recuperação de áreas degradadas. In: SIQUEIRA, J.O.; DE SOUZA, F.A.; CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M. **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras: Editora UFLA, 2010. v. 1, p. 442-474.

STÜRMER, S.L.; KLAUBERG FILHO, O.; QUEIROZ, M.H.D.; MENDONÇA, M.M.D. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in soils of early stages of a secondary succession of Atlantic Forest in South Brazil. **Acta Botanica Brasílica**, Feira de Santana, v. 20, p. 513-521, 2006.

TRUFEM, S.F.B.; VIRIATO, A. Fungos micorrízicos vesículo-arbusculares da Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 13, p. 49-53, 1990.

VERMA, N.; TARAFDAR, J.C.; SRIVASTAVA, K.K. Periodic changes in *Prosopis cineraria* associated AM population at different soil depth and its relationship with organic carbon and soil moisture. **Journal of Microbiology**, Seoul, v. 4, p. 115-121, 2010.

VIERHEILIG, H.; COUGHLAN, A.P.; WYSS, U.; PICHÈ, Y. Ink and vinegar, a simple staining technique for arbuscular-mycorrhizal fungi. **Applied & Environmental Microbiology**, Baltimore, v. 64, p. 5004-5007, 1998.

YANG, F.Y.; LI, G.Z.; ZHANG, D.E.; CHRISTIE, P.; LI, X.L.; GAI, J.P. Geographical and plant genotype effects on the formation of arbuscular mycorrhiza in *Avena sativa* and *Avena nuda* at different soil depths. **Biology & Fertility of Soils**, Berlin, v. 46, p. 435-443, 2010.

ZANGARO, W.; MOREIRA, M. 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. **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras: Editora UFLA, 2010. v. 1, p. 279-310.

ZANGARO, W.; NISIZAKI, S.M.A.; DOMINGOS, J.C.B.; NAKANO, E.M. Micorriza Arbuscular em espécies arbóreas nativas da Bacia do Rio Tibagi, Paraná. **Cerne**, Lavras, v. 8, p. 077-087, 2002.

ZANGARO, W.; ASSIS, R.L.D.; GONÇALVES, M.C.; ANDRADE, G.; NOGUEIRA, M.A. Changes in arbuscular mycorrhizal associations and fine root traits in sites under different plant successional phases in southern Brazil. **Mycorrhiza**, New York, v. 19, p. 37-45, 2008.

4 CONCLUSÕES GERAIS

As características físicas, químicas e microbiológicas do solo, bem como a ação antrópica e épocas de amostragem influenciaram a ocorrência e diversidade de FMA nas áreas estudadas e ao longo do perfil do solo. Devido a essa influência, algumas espécies de FMA, foram mais adaptadas a determinados ambientes, sendo muitas vezes capazes de discriminar os ecossistemas estudados. Dentre os atributos do solo analisados, apenas o pH, H+Al, NO₃⁻, glomalina total, densidade, microporosidade, umidade e carbono total do solo afetaram a ocorrência e diversidade de FMA. Sugere-se que outros fatores do solo que não foram analisados podem estar relacionados à ocorrência de determinadas espécies, como por exemplo, atividade enzimática, temperatura, fauna do solo etc.

As melhores condições químicas, físicas e microbiológicas observadas na área nativa e nas áreas em estádios de recuperação mais avançado foram determinantes para que a diversidade de espécies de FMA, ao contrário do número de esporos, acompanhasse o gradiente de recuperação das áreas.

Tanto em número de esporos como na diversidade de espécies, apesar de terem diminuído com o aumento da profundidade, um surpreendentemente elevado número de esporos e grande diversidade ainda foram observados nas camadas mais profundas. Algumas espécies tiveram preferência por camadas mais profundas no solo.

Além da profundidade, foi verificada a influência da época de amostragem na ocorrência e diversidade de FMA. Um maior número de esporos foi encontrado na época chuvosa, enquanto uma maior diversidade de espécies foi verificada na época seca. Muitas espécies de fungo micorrízico apresentaram diferentes estratégias de formação dos esporos, com algumas espécies sendo exclusivas para época seca e outras exclusivas para época chuvosa.

A colonização radicular por FMA foi afetada pelo estágio de desenvolvimento, diversidade e capacidade micotrófica das espécies arbóreas, das espécies de FMA envolvidas, além da época e local de amostragem. Plantas em estádios iniciais de desenvolvimentos parecem depender mais dos FMA para seu desenvolvimento do que as plantas maduras. Em árvores adultas a colonização foi maior nas raízes coletadas a 1m de distância do tronco do que nas raízes coletadas na base do tronco.

Considerações finais

Este estudo apresenta resultados importantes sobre a diversidade de espécies de FMA em ecossistema de Mata Atlântica. A ocorrência desses fungos mostrou-se generalizada mesmo nos ambientes em estádios mais recentes de recuperação e pelo menos até os 45 cm de profundidade. Possivelmente, a presença dos FMA está tornando possível a recuperação dessas áreas, pois estes são responsáveis pela diminuição dos estresses principalmente os nutricionais e pela melhor estruturação do solo, proporcionando melhorias no desenvolvimento das plantas.

Este trabalho foi pioneiro com relação à diversidade de FMA em diferentes profundidades em áreas de Floresta Atlântica e os resultados apresentados mostram que a visão generalizada de que os esporos de FMA se localizam quase exclusivamente na zona das raízes (até 20 cm de profundidade) deve ser corrigida, visto que mesmo nas maiores profundidades um elevado número de esporos e uma grande diversidade de espécies se fazem presentes.

A avaliação da colonização radicular mostra-se problemática em áreas de floresta mista onde as árvores não se encontram classificadas e o número de indivíduos da mesma espécie é insuficiente ou é muito baixo, comprometendo as análises estatísticas.

Como o estudo foi realizado em campo, alguns esporos de FMA encontravam-se em condições precárias de preservação, o que impediu sua identificação. Sugere-se aliar o estudo de campo a um estudo utilizando culturas armadilhas em casa de vegetação visando à obtenção de esporos em melhores condições morfológicas. Os levantamentos de FMA realizados a campo também podem subestimar a verdadeira riqueza de espécies do ambiente, pois são relatadas como presentes apenas as espécies cujos esporos puderam ser encontrados.

Perspectiva futura

Para um melhor entendimento da dinâmica dos FMA nos solos, além dos atributos analisados, todos os aspectos ecológicos de cada ecossistema devem ser

considerados. Um completo detalhamento da diversidade de FMA de um ecossistema exige um trabalho mais criterioso, levando em consideração diferentes profundidades e sugere-se que as coletas devem cobrir todas as estações do ano, visto que uma análise das camadas mais superficiais e apenas em uma época pode estar encobrindo as demais espécies presentes nas camadas mais profundas e que esporulam em outros períodos do ano. E ainda muitas espécies podem estar presentes em outras formas de propágulos infectivos como hifas no solo que colonizam as raízes finas.

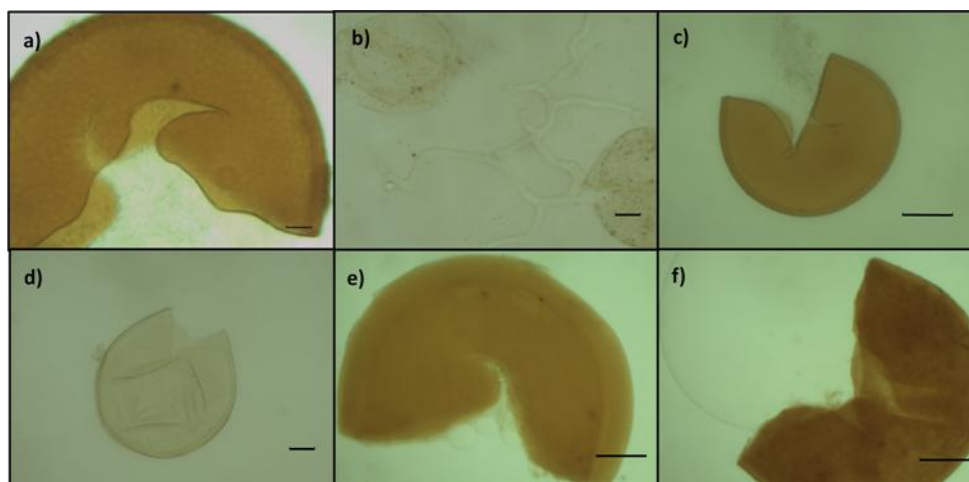
Tendo em vista a influência do ponto de amostragem de raízes das espécies arbóreas nas variações da colonização radicular por FMA, necessita-se de um estudo mais pormenorizado em áreas onde haja um levantamento mais preciso das espécies arbóreas e onde existam pelo menos quatro repetições de árvores da mesma espécie em cada área de estudo.

Como sabemos, a aplicação de FMA no campo ainda é considerada um processo difícil devido a vários fatores, necessitando ainda de muitos avanços científicos nessa área. Entretanto, o nosso trabalho representa um primeiro passo para tentar entender como e quais atributos do solo estão influenciando na ocorrência de determinadas espécies de FMA no campo. Tal conhecimento permite ter uma idéia de quais espécies se adaptarão melhor às características do solo presentes em cada ambiente. Dessa forma, algumas informações fornecidas por esse trabalho poderão auxiliar na escolha da espécie de FMA para inoculação das espécies arbóreas usadas na revegetação.

APÊNDICES



APÊNDICE A – Áreas selecionadas para estudo, pertencentes ao ecossistema de Mata Atlântica: Nativa (NT) e em gradiente de recuperação ambiental (R05, R10 e R20)



APÊNDICE B – Espécies de FMA detectadas nas áreas de Floresta Atlântica estudadas: a) *Acaulospora foveata*; b) *Glomus viscosum*; c) *Acaulospora mellea*; d) *Acaulospora scrobiculata*; e) *Gigaspora decipiens* e *Gigaspora sp2*. Barra = 1µm

APÊNDICE C - Porcentagem de colonização radicular por FMA das plantas avaliadas na área Nativa (NT) e em gradiente de recuperação ambiental (R20, R10 e R05), ecossistema de Mata Atlântica, época chuvosa e seca, 2010, Estado de São Paulo, Brasil. ni=não identificada

(continua)

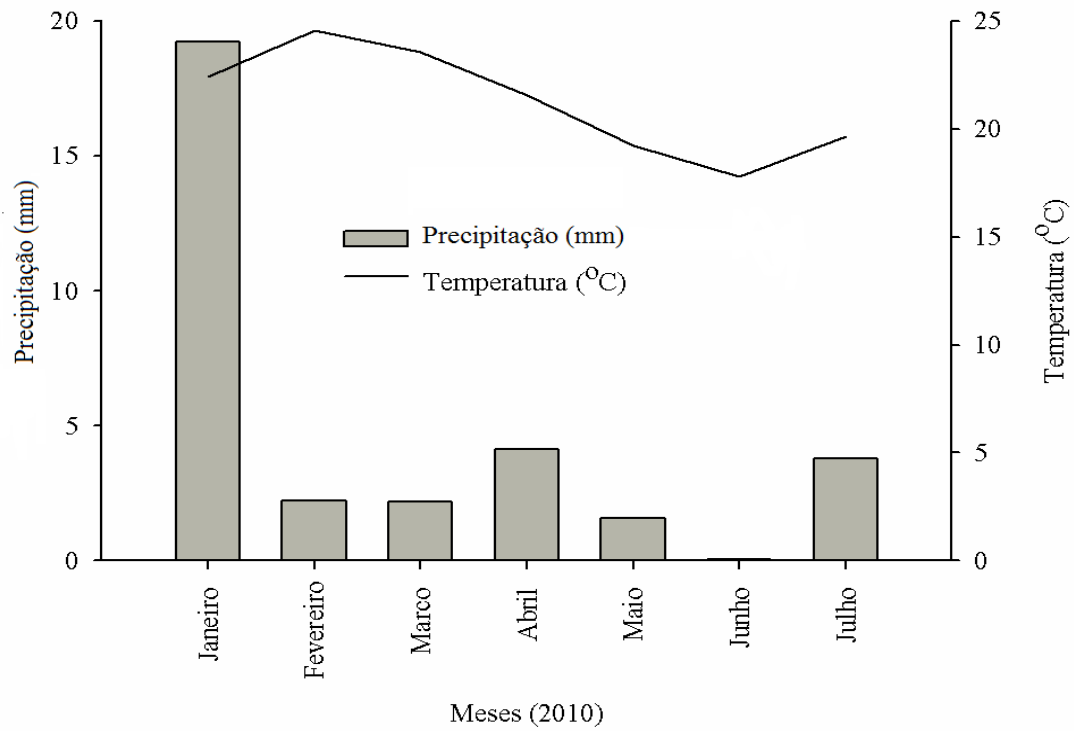
Família	Espécie vegetal	Chuvosa		Seca	
		A	A	B	C
NT					
Apocynaceae	<i>Aspidosperma polyneuron</i> M. Arg.	0	6	42	41
Bombacaceae	<i>Chorisia speciosa</i> A. St. Hil.	0	2	65	77
Cecropiaceae	<i>Cecopria pachystachya</i> Trec.	0	4	34	-
Canabaceae	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume.	1	5	39	82
Fabaceae	<i>Copaifera lansdorffii</i> Desf.	4	35	21	72
Fabaceae	<i>Holocalyx balansae</i> Mich.	0	12	48	39
Lauraceae	<i>Ocotea beaulahie</i> Baitello	-	-	-	57
Lauraceae	ni	-	-	-	34
Malpighiaceae	ni	-	-	-	21
Malvaceae	ni	-	-	-	52
Myrtaceae	<i>Calycorectes acutatus</i> (Miq.) Toledo	3	7	36	84
Myrtaceae 1	ni	-	-	-	79
Myrtaceae 2	ni	-	-	-	87
Meliaceae	<i>Trichilia clausenii</i> C. DC.	0	10	51	-
Phyllanthaceae	<i>Savia dictyocarpa</i> Müll. Arg.	0	8	53	65
Rubiaceae 1	ni	-	-	-	45
Rubiaceae 2	ni	-	-	-	62
Rutaceae	<i>Almeidea lilacina</i> A. St.-Hil.	0	7	36	84
Rutaceae	<i>Metrodorea nigra</i> A. St.-Hil.	0	6	52	80
Rutaceae	<i>Esenbeckia leiocarpa</i> Engl.	2	13	47	98
R20					
Boraginaceae	<i>Cordia ecalyculata</i> Vell.	0	1	11	26
Boraginaceae	<i>Cordia myxa</i> L.	0	1	7	54
Euphorbiaceae	<i>Croton floribundus</i> (L.) Spreng.	0	16	24	-
Euphorbiaceae	<i>Croton urucurana</i> Baill	0	1	30	59
Euphorbiaceae 1	ni	-	-	-	25
Euphorbiaceae 2	ni	-	-	-	47
Fabaceae	<i>Erythrina corallodendron</i> L.	0	-	-	27
Fabaceae	ni	-	-	-	38
Lauraceae 1	ni	-	-	-	26
Lauraceae 2	ni	-	-	-	53
Meliaceae	<i>Melia azedarach</i> L.	0	9	30	-
Mimosaceae	<i>Leucena leucocephala</i> (Lam) de Wit.	0	8	14	23
Myrtaceae	ni	-	-	-	55
Rutaceae	<i>Clausena excavata</i> Burm.f.	0	2	34	31
Rutaceae	<i>Murraya paniculata</i> (L.) Jack	-	-	-	64
Rutaceae	ni	-	-	-	21

APÊNDICE C - Porcentagem de colonização radicular por FMA das plantas avaliadas na área Nativa (NT) e em gradiente de recuperação ambiental (R20, R10 e R05), ecossistema de Mata Atlântica, época chuvosa e seca, 2010, Estado de São Paulo, Brasil. nc=não classificada

(conclusão)

Família	Espécie vegetal	Chuvosa		Seca	
		A	A	B	C
R20					
Rubiaceae	ni	0	-	-	42
Sterculiaceae	<i>Helicteres ovata</i> Lam	0	2	26	20
Solonaceae	ni	0	-	-	37
Tiliaceae	<i>Luehea divaricata</i> Mart.	0	4	21	-
Tiliaceae	<i>Muntingia calabura</i> L.	0	20	44	80
R10					
Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	3	11	16	31
Asteraceae 1	ni	-	-	-	56
Asteraceae 2	ni	-	-	-	32
Bignoniaceae	<i>Tabebuia chrysotricha</i> (Mart. ex DC.) Standl.	0	7	21	48
Bignoniaceae	<i>Tabebuia cf. Impetiginosa</i> (Mart.) Standley	0	10	35	-
Boraginaceae	<i>Cordia myxa</i> L.	0	6	5	17
Fabaceae	<i>Acacia polyphylla</i> DC.	0	5	3	29
Fabaceae	<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Spreng.	4	4	11	-
Fabaceae	<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake	0	21	14	37
Fabaceae	<i>Senna reticulata</i>	6	8	28	-
Lauraceae 1	ni	-	-	-	21
Lauraceae 2	ni	-	-	-	42
Malvaceae	<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.	0	15	22	32
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i> L.	1	3	26	-
R05					
Amaranthaceae	<i>Amaranthus viridis</i> L.	-	-	-	54
Asteraceae	<i>Eclipta alba</i> (L.) Hassk.	-	-	-	67
Asteraceae	<i>Gnaphalium spicatum</i> Lam.	1	21	34	86
Boraginaceae	<i>Cordia myxa</i> L.	0	0	19	55
Euphorbiaceae	<i>Croton urucurana</i> Baill	0	2	13	48
Euphorbiaceae	<i>Phyllanthus tenellus</i> Roxb.	4	9	34	-
Lamiaceae 1	ni	-	-	-	29
Lamiaceae 2	ni	-	-	-	18
Lamiaceae 3	ni	-	-	-	72
Lamiaceae 4	ni	-	-	-	53
Malvaceae	<i>Sida glaziovii</i> K. Schum	-	-	-	41
Meliaceae	<i>Melia azedarach</i> L.	3	6	10	-
Mimosaceae	<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	2	9	8	59
Mimosaceae	<i>Leucena leucocephala</i> (Lam) de Wit.	4	13	16	24
Myrtaceae	<i>Eugenia jambos</i> L.	0	0	11	62
Papilionoideae	<i>Indigofera anil</i> L.	-	-	-	35
Tiliaceae	<i>Muntingia calabura</i> L.	0	2	5	28

- ponto não amostrado



APÊNDICE D - Média da precipitação pluviométrica e temperatura durante o período avaliado nas áreas em estudo