

Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em remanescente florestal impactado (Parque Cinqüentenário - Maringá, Paraná, Brasil)

Fábio Eduardo Ferreira dos Santos¹ e Rosilaine Carrenho^{2,3}

Recebido em 5/11/2009. Aceito em 30/05/2011

RESUMO

(Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em remanescente florestal impactado -Parque Cinqüentenário, Maringá, Paraná, Brasil). As micorrizas são consideradas importante componente na recuperação e restabelecimento da vegetação em áreas frágeis ou degradadas, bem como na manutenção da biodiversidade de plantas e das funções dos ecossistemas. O conhecimento da diversidade e dinâmica dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em áreas impactadas pela ação humana é importante para seu manejo e como indicador de sua qualidade. O Parque Cinqüentenário, localizado no município de Maringá, PR, pertence à formação original do conjunto Mata Atlântica, do domínio da floresta Estacional semi-decidual, é um dos poucos remanescentes florestais existentes na cidade de Maringá, PR, e encontra-se em estágio acelerado de degradação. O objetivo deste trabalho foi avaliar a diversidade de FMA nativos no solo e o grau de micorrização das plantas neste ecossistema. Amostras de solo e raízes foram coletadas em 65 pontos diferentes, na profundidade de 0-20 cm. A determinação da porcentagem de colonização micorrízica arbuscular foi feita sob microscópio estereoscópico, pelo método da interseção de quadrantes. A identificação das espécies de FMA foi realizada de acordo com a análise morfológica dos esporos. Foram estimados índices de diversidade, calculados com base no número de esporos em cada amostra. Foi verificada a ocorrência de 50 espécies de FMA, distribuídas em cinco gêneros: *Glomus* (31 espécies), *Acaulospora* (10 espécies), *Scutellospora* (6 espécies), *Gigaspora* (duas espécies) e *Paraglomus* (uma espécie). *Glomus* foi o gênero mais abundante, com várias espécies esporocárpicas.

Palavras-chave: Floresta Estacional Semi-decidual, fragmento urbano, Glomeromycetes

ABSTRACT

(Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in an impacted forest remnant - Parque Cinquentenário, Maringá, Paraná, Brazil). Mycorrhizae are important components of any recuperation and recovery plan for threatened and endangered vegetation in degraded areas, as well as for the maintenance of plant diversity and ecosystem functions. Knowledge of diversity and dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in areas impacted by anthropic activities is important for managing these areas and improving their quality. The Parque Cinquentenário is one of the few forest fragments in the urban area of Maringá (Seasonal Semi-deciduous Forest) and it is in a fast degradation stage. This work aimed to evaluate the variety of native AMF in the soil and the mycorrhization level in plants of this ecosystem. Soil and root samples were collected from 65 different plots, at a depth of 0 to 20 cm, in January 2008. The percentage of root colonization was determined by means of intersection of quadrants. The identification of AMF species was made according to classical morphological analysis. For each sample, diversity indexes were estimated, with calculations based on the number of spores. The existence of fifty AMF species was verified, distributed in five genera: *Glomus* (30 species), *Acaulospora* (10 species), *Scutellospora* (6 species), *Gigaspora* (two species) and *Paraglomus* (one species). *Glomus* was the most abundant genus, with many sporocarpic species.

Key words: Glomeromycetes, semi-deciduous seasonal forest, urban fragment

¹ Universidade Estadual de Maringá, Mestre do curso de Mestrado em Biologia Comparada, Maringá, PR, Brasil

² Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Biologia, Maringá, PR, Brasil

³ Autor para correspondência: rcarrenho@uem.br

Introdução

Micorrizas arbusculares são associações simbióticas, de caráter mutualista, estabelecidas entre Glomeromyce-tes formadores de arbúsculos e raízes da maioria das plantas superiores. Essas associações desempenham papel importante na ciclagem de nutrientes através de suas atividades microbiológicas e de seu envolvimento na aquisição de nutrientes para as plantas (Bethlenfalvay & Schuepp 1994; Barea 1991).

Plantas micorrizadas têm seus requerimentos nutricionais aumentados quando comparados com aquelas não micorrizadas (Sieverding 1991). Estes efeitos são mais acentuados para nutrientes que possuem baixa mobilidade no solo, como fósforo, zinco e cobre, para a maioria das plantas, e nitrogênio para as leguminosas. Neste caso, elas favorecem a nodulação e a fixação biológica de nitrogênio atmosférico, principalmente em condições subótimas de fósforo (Lopes & Oliveira 1980; Jesus *et al.* 2005). A atividade dos FMA no solo promove ainda, o aumento da agregação do solo, a qual está diretamente ligada à capacidade de drenagem e à qualidade do mesmo (Bethlenfalvay & Barea 1994). Também, interação com outros habitantes da rizosfera afetando diretamente o estado nutricional da planta (Linderman 1988).

Em ecossistemas alterados pela ação antrópica, tais como o Parque Cinquentenário, localizado no município de Maringá (PR), normalmente existe redução da diversidade biológica (Kennedy & Smith 1995), e dependendo do grau de perturbação, muitas espécies de plantas perdem a capacidade de se manter e competir por recursos, sendo excluídas do sistema (Malhi *et al.* 2008). Se além dos estresses causados pela degradação, estiverem agregadas, elevada demanda nutricional, baixa tolerância às variações e alta dependência micorrízica, as espécies de plantas mais exigentes dificilmente permanecerão (Miller & Kling 2000; Zangaro *et al.* 2003). Neste contexto, com o aumento na absorção dos nutrientes disponíveis na solução do solo promovido pelos FMA, estes podem contribuir para o crescimento e a fixação das plantas em condições subótimas de crescimento, tornando o ambiente menos restritivo para o desenvolvimento destas.

A fragmentação de ambientes naturais e a conseqüente remoção da cobertura vegetal têm um forte impacto negativo na microbiota do solo, reduzindo o número de bactérias, fungos solubilizadores de fosfato e a atividade microbiana do solo (Schiavo 2005), além de ocorrer perdas de nutrientes, principalmente aqueles que têm sua dinâmica no sistema solo-plantas relacionada com fontes orgânicas, como fósforo, enxofre e nitrogênio, ocorrendo, portanto, profunda perda na fertilidade do solo. A vegetação influencia diferentemente a biomassa microbiana e, por isso, a sua eliminação ocasiona uma drástica queda da biomassa de carbono (Silveira *et al.* 2005; Campos *et al.* 1999). No entanto, os efeitos da fragmentação resultante da retirada da vegetação, nem sempre

comprometem a diversidade de FMA, como constatado por Alves (2004). Este autor, ao comparar a diversidade de FMA em fragmentos de mata Atlântica no sul da Bahia, verificou que a perturbação advinda pela fragmentação não foi restritiva para os FMA, uma vez que as comunidades estabelecidas foram mais numerosas, ricas e uniformes que as estabelecidas nas áreas de mata contínua. Tamanho e distanciamento dos fragmentos e diversidade florística são fatores importantes para o estabelecimento e a expansão das comunidades de FMA, mas um estudo realizado no Panamá não evidenciou perda de diversidade com a fragmentação (Mangan *et al.* 2004). Neste estudo, entretanto, pode-se constatar que algumas espécies, como *Acaulospora mellea* e *Glomus clavisporum*, foram influenciadas pelo tamanho do fragmento, e outras, como *A. scrobiculata*, foram prejudicadas pela diversificação das espécies arbóreas. A riqueza de espécies de FMA mostrou-se negativamente correlacionada com a diversidade de plantas, contrariando dados obtidos em mesocosmos e macrocosmos (van der Heijden *et al.* 1998; Burrows & Pfleger 2002). Identidade das plantas e quantidade de recursos alocados para os FMA parecem ser fatores mais importantes para a diversificação das comunidades do que diversidade florística propriamente dita.

Carrenho & Santos (2006), avaliando a diversidade de FMA no Horto Florestal Dr. Luiz Teixeira Mendes, também na cidade de Maringá, verificaram baixíssima riqueza de espécies (4 na área mais degradada, e 8 na mais preservada) e baixíssimo número de esporos (variando de 2 a 28 em 883 mL de solo, e 4 a 88, na área preservada) destes organismos, demonstrando que não apenas a ação de visitantes e de funcionários interfere negativamente na diversificação das comunidades micorrízicas, mas também outros fatores (poluição atmosférica, contaminação do solo, erosão) estão operando sobre as populações de FMA estabelecidos naquela área.

Dando continuidade à investigação da diversidade de FMA nos fragmentos urbanos de mata nativa, a fim de verificar o comprometimento desta por ações antrópicas, o presente trabalho teve como objetivos principais avaliar a estruturação das comunidades de FMA nativos e a colonização radical das plantas no Parque Cinquentenário, outro remanescente florestal do município de Maringá (PR).

Material e métodos

Caracterização da área investigada - A unidade biogeográfica em que se encontra o Parque do Cinquentenário pertence à formação original do conjunto Mata Atlântica, do domínio da floresta Estacional Semi-decidual (IBGE 1999) Sub-montana (abaixo de 500 m). O parque localiza-se na latitude 23°22'S e longitude 51°56'W e possui altitude média de 549 metros (Paula & Ferreira 2005). O solo é do tipo Latossolo Vermelho Escuro (LE) e apresenta ampla variação das propriedades químicas (Tab.1). O clima da cidade de Maringá situa-se em uma zona de transição climática

Tabela 1. Propriedades químicas e físico-químicas das amostras de solo coletadas no Parque Cinquentenário de Maringá (PR).

Propriedades	Macronutrientes						Micronutrientes						
	H+AL ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P	C	pH	Fe	Cu	Mn	Zn	B	S
	Cmol _c .dm ⁻³			mg.dm ⁻³		g.dm ⁻³		mg.m ⁻³					
Média	2,34	11,93	2,02	0,72	17,85	11,93	6,45	53,56	6,65	234,83	9,78	0,51	8,99
DP	0,46	2,81	0,70	0,45	13,60	2,81	0,49	79,58	7,18	107,22	3,81	0,16	5,26
EP	0,06	0,34	0,08	0,05	1,69	0,34	0,06	9,87	0,89	13,30	0,47	0,02	0,27

entre os climas tropical de duas estações e o subtropical, segundo a classificação de Köppen (Iapar 1978). Apresenta temperatura média anual de 21°C e precipitação média anual de 1600 mm. O período mais chuvoso corresponde aos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, enquanto que os mais secos são junho, julho e agosto.

O parque não apresenta locais de erosão em seu interior, mas estes estão presentes no seu entorno e junto a um córrego, em razão da ausência da mata ciliar. A ação antrópica presente no interior do parque é bem visível. São encontrados entulhos de construção civil e resíduos sólidos deixados pela população. No interior do parque existem inúmeras clareiras. Ocorre, ainda, o adensamento de lianas e cipós, resultado da falta de árvores de grande porte, que proporcionariam sombreamento da área, evitando o alastramento da vegetação epífita. Existem, porém, algumas áreas de mata mais densa, com árvores de 10 a 25 metros de altura, dentre elas *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms (Phytollacaceae), *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. (Apocynaceae), *Ficus guaranitica* Chodat (Moraceae), *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae) e *Balfourodendron riedelianum* (Engl.) Engl. (Rutaceae) (Paula & Ferreira 2005).

Obtenção dos dados de campo

Amostras de solo foram feitas no horizonte superficial (profundidade de 0-20 cm) em 65 pontos ao redor do Parque, entre 10 e 15 metros da borda, região vegetada principalmente por espécies pioneiras. De cada amostra foi retirado cerca de um grama de raízes finas para se avaliar a colonização MA, e 50 g de solo para a avaliação das comunidades de FMA.

Determinação da colonização MA

Amostras de raízes finas, retiradas de cada ponto, foram colocadas em álcool 70%, até serem processadas, quando foram lavadas em água corrente, clareadas em KOH 10%, acidificadas em HCl 5% e coradas com azul de tripano, segundo metodologia descrita por Phillips & Hayman (1970). A porcentagem de colonização radical foi determinada, usando-se o método da intersecção de quadrantes (Giovannetti & Mosse 1980).

Isolamento dos Esporos

Os esporos dos FMA foram extraídos a partir de 50 g de solo seco de cada amostra (ponto) seguindo a técnica de decantação e peneiramento por via úmida (Gerdemann & Nicolson 1963) combinada à técnica de centrifugação em água e em sacarose 50% (Jenkins 1964). Os esporos isolados foram separados em grupos, de acordo com as semelhanças morfológicas (cor e tamanho), e preparados entre lâminas (previamente identificadas) e laminulas com PVLG (álcool polivinílico-lactoglicerol) (Morton *et al.* 1993). Na sequência, as lâminas foram colocadas em estufa, com temperatura próxima a 50°C por 24 a 30 horas, para secagem da resina. Depois, os esporos foram identificados e quantificados, sob microscópio óptico. Todas as lâminas são mantidas na coleção pessoal de R. Carrenho, e aquelas que possuem esporos em bom estado de conservação estão sendo incorporadas ao acervo do Herbário da Universidade Estadual de Maringá (HUEM). Fotografias dos esporos podem ser solicitadas à autora, responsável pela identificação das espécies.

Identificação taxonômica dos FMA

Para a identificação das espécies, foram feitas observações de caracteres morfológicos dos esporos, como tamanho, forma, coloração, estrutura e ornamentação de parede, tipo de hifa esporígena e modo de germinação. A identificação foi realizada com o auxílio de descrições fornecidas pelos bancos de dados do International Culture Collection of Arbuscular and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi (<http://invam.caf.wvu.edu>) e da University of Agriculture in Szczecin (<http://www.agro.ar.szczecin.pl/~jblaszkowski/>) e descrições originais.

Avaliação das comunidades de FMA

As populações dos FMA foram avaliadas segundo dados de frequência, frequência relativa das espécies, número de esporos e número relativo de esporos (Tab.2), e as comunidades de FMA, avaliadas pelos seguintes índices ecológicos: a) riqueza de espécies, representada pelo número de morfo-espécies, b) diversidade de Shannon, calculado pela fórmula: $H' = \sum p_i \log p_i$, onde p_i corresponde ao número de esporos de determinada espécie e p é o número total de esporos; e c) equabilidade de Pielou, calculado pela

Tabela 2. Medidas usadas para descrever as populações de FMA.

Número de esporos	NE = número de esporos em 50g de solo
Número relativo de esporos	NR = $\frac{\text{número de esporos de uma dada espécie} \times 100}{\text{número total de esporos}}$
Frequência	F = número de amostras em que uma dada espécie ocorre
Frequência relativa	FR = $\frac{\text{número de amostras em que uma dada espécie ocorre} \times 100}{\text{número total de amostras}}$

fórmula: $J' = H'/H'_{\max}$, onde H' é o índice de Shannon, H'_{\max} corresponde a $\log S$, e S é o número total de espécies numa comunidade amostrada (Ludwig & Reynolds 1988). Também foram feitas curvas de acumulação e de dominância, estimativas de diversidade (Jackknife 1 e 2) e medida de dissimilaridade entre as 65 amostras (distância de Sorensen), as quais foram geradas pelo programa PC-Ord (McCune & Mefford 1999).

Análise estatística

Os dados das variáveis quantitativas foram submetidos à análise descritiva ($p = 5\%$) e à verificação da normalidade (Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Levene), utilizando-se o programa Statistica (StatSoft 2005). Foi realizada também a correlação simples entre as variáveis da comunidade micorrízica e propriedades físico-químicas do solo.

Resultados e discussão

Colonização Radical por FMA

As raízes avaliadas apresentaram altas porcentagens de colonização MA, variando de 76 a 99% (Tab.3), com porcentagens de arbúsculos, também altas (37-87%). O tipo morfológico mais encontrado foi Arum. Esta morfologia é a mais comum em espécies arbóreas e é caracterizada por desenvolver hifas ao longo dos espaços intercelulares do córtex e penetrar nas células corticais de diversas camadas, formando arbúsculos intracelulares (Dickson *et al.* 2007). Também foi verificada uma quantidade alta de vesículas (5-34%), demonstrando que muitos sítios de colonização estavam no estágio final do ciclo micorrízico, ao menos para espécies acaulosporóides ou glomóides, que formam tal estrutura no processo de colonização radical.

Constatou-se correlação positiva entre colonização radical total e teor de cálcio no solo (Tab.5). Cálcio favorece o desenvolvimento das raízes e a absorção iônica (Malavolta *et al.* 1967), além de ser essencial para o transporte intermembrana (Malhó 1999). Tem sido positivamente associado com o aumento na colonização e esporulação dos FMA em vários estudos (Hepper & O'Shea 1984; Anderson *et al.* 1984; Anderson & Liberta 1992; Habte & Soedarjo 1995; Lippert 2009).

Colonização radical também se mostrou positivamente correlacionada com carbono do solo. Considerando-se que a matéria orgânica do solo detém aproximadamente 56% do carbono do solo, acredita-se que as respostas dos FMA tenham sido decorrentes da quantidade e/ou da qualidade do material acumulado nas camadas superficiais do solo. A matéria orgânica aumenta a porosidade do solo, promovendo a aeração, e diminui a resistência mecânica ao crescimento das hifas dos FMA (Joner & Jakobsen 1995). Aumentos na produção de biomassa (esporos e hifas extraradiciais) e na colonização radical em função do teor de matéria orgânica têm sido observados com frequência tanto em áreas naturais como agrícolas, as quais recebem incorporação de resíduos orgânicos como adubo (Bovi *et al.* 1998; Trindade *et al.* 2003; Félix *et al.* 2007). No entanto, dependendo do material incorporado, dos tratamentos culturais e dos genótipos da planta e do fungo, as respostas podem ser muito diferentes (Carrenho *et al.* 2010).

Comunidades de FMA

Ao todo, foram extraídos 12.385 esporos de FMA, sendo a abundância diretamente relacionada com a presença de espécies esporocárpicas (Tab.4). Registrou-se a ocorrência de 50 espécies, distribuídas em cinco gêneros: *Glomus* (31 espécies), *Acaulospora* (10), *Scutellospora* (6), *Gigaspora* (2) e *Paraglomus* (1), riqueza considerada alta quando comparada com os dados obtidos em outros estudos realizados em florestas do mesmo bioma (Trufem 1990; Gomes & Trufem 1998; Santos 2001; Aidar *et al.* 2004; Alves 2004). No entanto, a curva de acumulação de espécies (Fig.1) demonstra que os valores encontrados ainda não alcançaram a assíntota e maior esforço amostral seria necessário para o recolhimento de espécies adicionais. A avaliação em 65 amostras revelou uma diversidade 30 a 40% menor que as suportadas pelos estimadores Jackknife 1 e 2, respectivamente de 71,7 a 84,4.

Embora a riqueza tenha sido alta, verifica-se que a variabilidade taxonômica foi baixa, com *Glomus* dominando as comunidades, tanto em termos de riqueza como de abundância, representando mais de 98% dos esporos (Fig.2). Das 50 espécies de FMA encontradas, 31 apresentaram baixíssima frequência de ocorrência (< 5%) e baixíssimo número de esporos ($\leq 0,5\%$) constituindo o grupo mais diversificado da comunidade de FMA (grupo 1), 11 apresentaram baixa frequência de ocorrência (5-30%) e baixíssimo número de

Tabela 3. Estatística descritiva das variáveis: porcentagem de arbúsculos (ARB), vesículas (VES), colonização radical total (CRT), número de esporos (NE), riqueza (RIQ), equabilidade (EQUA) e diversidade (DIV).

Estatística	ARB	VES	CRT	NE	RIQ	EQUA	DIV
Menor valor (mín)	37,00	5,00	76,00	1,00	1,00	0,00	0,00
Maior valor (máx)	87,00	34,00	99,00	1003,00	10,00	1,00	1,85
Média	55,77	17,52	92,48	191,18	4,08	0,46	0,63
Desvio Padrão	10,29	4,88	4,18	237,33	2,37	0,37	0,55
Erro Padrão	1,28	0,61	0,52	29,67	0,30	0,05	0,07

Tabela 4. Fungos micorrízicos arbusculares isolados no Parque Cinqüentenário (Maringá, PR). NE e NRE referem-se ao número total e relativo de esporos de cada espécie, respectivamente. F e FR referem-se à frequência e à frequência relativa de ocorrência, respectivamente.

Espécies de FMA	F	FR	NE	NR
Acaulosporaceae Morton & Benny		%		%
<i>Acaulospora colossica</i> Schultz, Bever & Morton	1	1,54	1	0,008
<i>A. koskei</i> Blaszkowski	2	3,07	2	0,016
<i>A. morrowiae</i> Spain & Schenck	2	3,07	4	0,032
<i>A. rehmi</i> Sieverding & Toro	1	1,54	1	0,008
<i>A. scrobiculata</i> Trappe	8	12,1	94	0,760
<i>A. spinosa</i> Walker & Trappe	1	1,54	1	0,008
<i>A. tuberculata</i> Janos & Trappe	2	3,07	2	0,016
<i>Acaulospora aff. cavernata</i> Blaszkowski	4	6,15	4	0,032
<i>Acaulospora</i> sp.1 (rendada)	1	1,54	2	0,016
<i>Acaulospora</i> sp.2 (scro-reticulada)	9	13,85	32	0,258
Gigasporaceae Morton & Benny				
<i>Gigaspora decipiens</i> Hall & Abbott	1	1,54	1	0,008
<i>G. gigantea</i> (Nicol. & Gerd.) Gerd. & Trappe	1	1,54	2	0,016
<i>Scutellospora aff. aurigloba</i> (Hall) Walker & Sanders	1	1,54	1	0,008
<i>Scutellospora aff. pellucida</i> (Nicol. & Schenck) Walker & Sanders	1	1,54	1	0,008
<i>S. castanea</i> Walker	2	3,07	3	0,024
<i>S. dipurpurescens</i> Morton & Koske	5	7,69	7	0,057
<i>S. verrucosa</i> (Koske & Walker) Walker & Sanders	2	3,07	2	0,016
<i>Scutellospora</i> sp.	2	3,07	2	0,016
Glomeraceae Pirozynski & Dalpé				
<i>Glomus aff. ambisporum</i> Smith & Schenck	1	1,54	5	0,040
<i>G. botryoides</i> Rothwell & Victor	9	13,85	33	0,267
<i>G. claroideum</i> Schenck & Smith	14	21,45	39	0,315
<i>G. clavisorum</i> (Trappe) Almeida & Schenck	3	4,62	1095	8,841
<i>G. coremioides</i> (Berk. & Broome) Redecker & Morton	3	4,62	732	5,910
<i>G. constrictum</i> Trappe	26	40,00	107	0,864
<i>G. deserticola</i> Trappe, Bloss & Menge	10	15,38	44	0,355
<i>G. diaphanum</i> Morton & Walker	2	3,07	3	0,024
<i>G. etunicatum</i> Becker & Gerdemann	18	27,69	37	0,300
<i>G. geosporum</i> (Nicol. & Gerd.) Walker	18	27,69	63	0,509
<i>G. glomerulatum</i> Sieverding	1	1,54	1	0,008
<i>Glomus aff. heterosporum</i> Smith & Schenck	1	1,54	2	0,016
<i>G. invermaium</i> Hall	1	1,54	1	0,008

Continua

Tabela 4. Continuação

Espécies de FMA	F	FR	NE	NR
<i>G. macrocarpum</i> Tulasne & Tulasne	38	58,46	236	1,906
<i>G. microaggregatum</i> Koske, Gemma & Olexia	5	7,69	528	4,263
<i>G. microcarpum</i> Tulasne & Tulasne	1	1,54	2	0,016
<i>G. mosseae</i> (Nicol. & Gerd.) Gerd. & Trappe	7	10,77	15	0,121
<i>G. sinuosum</i> (Gerd. & Bakshi) Almeida & Schenck	23	35,38	5943	47,986
<i>G. taiwanensis</i> (Wu & Chen) Almeida & Schenck	4	6,15	935	7,550
<i>Glomus</i> aff. <i>insculptum</i> Blaszkowski	1	1,54	1	0,008
<i>Glomus</i> aff. <i>pellucidum</i> Mc Gee & Pattinson	2	3,07	3	0,024
<i>Glomus</i> aff. <i>spinuliferum</i> Sieverd. & Oehl	1	1,54	1	0,008
<i>Glomus</i> aff. <i>multicaule</i> Gerdemann & Bakshi	1	1,54	3	0,024
<i>Glomus</i> cf. <i>lamellosum</i> Dalpe, Koske & Tews	5	7,69	73	0,590
<i>Glomus</i> cf. <i>liquidambaris</i> (Wu & Chen) Almeida & Schenck	12	18,46	2308	18,636
<i>Glomus</i> sp. 1 (≈ <i>claroideum</i> com broto)	1	1,54	1	0,008
<i>Glomus</i> sp. 2 (≈ <i>fasciculatum</i> com C2 púrpura)	1	1,54	2	0,016
<i>Glomus</i> sp. 3 (com buraquinhos)	1	1,54	1	0,008
<i>Glomus</i> sp. 4 (com verrugas)	1	1,54	1	0,008
<i>Glomus</i> sp. 5 (escuro com C1 destacada)	1	1,54	1	0,008
<i>Glomus</i> sp. 6 (dourado, grande, septo invertido)	1	1,54	1	0,008
Paraglomeraceae Morton & Redecker				
<i>Paraglomus occultum</i> (Walker) Morton & Redecker	2	3,07	6	0,048
Total			12,385	

Tabela 5. Correlação das propriedades químicas e físico-químicas do solo e as variáveis das comunidades de FMA estabelecidas no Parque Cinquentenário, localizado no município de Maringá-PR.

Variáveis	Cod.	1	2	3	4	5	6	7
Colonização Radical Total	1	1,00						
Colonização Arbuscular	2	0,39*	1,00					
Colonização Vesicular	3	0,08	-0,39*	1,00				
Número de Esporos	4	0,14	0,18	0,04	1,00			
Riqueza de Espécies	5	0,05	0,05	0,20	0,33*	1,00		
Equabilidade	6	-0,06	-0,002	0,06	-0,31*	0,25*	1,00	
Diversidade	7	-0,05	-0,05	0,16	-0,15	0,65*	0,84*	1,00
pH(H ₂ O)	8	0,02	0,09	-0,006	-0,18	-0,09	0,05	0,04
H+Al ³⁺	9	-0,08	-0,09	0,09	0,02	-0,08	-0,16	-0,19
Ca ²⁺	10	0,29*	0,17	-0,11	-0,05	-0,08	-0,06	-0,06
Mg ²⁺	11	0,09	0,07	-0,20	-0,17	0,06	0,21	0,19
K ⁺	12	-0,16	-0,14	-0,10	-0,23	0,01	0,22	0,20
P	13	-0,002	0,14	-0,12	-0,35*	-0,14	0,14	0,11
C	14	0,29	0,18	0,12	-0,05	-0,08	-0,06	-0,06
Fe	15	-0,13	-0,18	0,08	-0,03	0,21	0,24	0,28*
Cu	16	-0,09	-0,14	0,08	-0,06	0,20	0,16	0,27*
Mn	17	0,12	-0,19	0,10	0,00	-0,14	-0,11	-0,20
Zn	18	0,15	0,03	-0,05	-0,08	-0,07	0,001	-0,03
B	19	0,02	0,12	-0,05	-0,10	-0,19	-0,23	-0,18
S	20	-0,12	-0,06	-0,02	-0,03	-0,11	-0,13	-0,05

esporos ($\leq 0,5\%$) – grupo 2, e duas apresentaram frequência de ocorrência variando de 40 a 60% e número de esporos entre 1 e 2% - grupo 3. Seis espécies formadoras de esporos agregados ou em esporocarpos formaram dois grupos distintos, em função do número de esporos acentuadamente mais alto (Fig.3). *Glomus coremioides*, *G. taiwanensis*, *G. clavissporum* e *G. microaggregatum* apresentaram baixa frequência de ocorrência (4-8%) e esporos perfazendo cerca de 4 a 8% da comunidade total (grupo 4), *G. liquidambaris* e *G. sinuosum* foram as espécies com maior representatividade, em termos de distribuição e abundância (grupo 5).

Diversos fatores podem prejudicar o estabelecimento da associação MA, desde os relacionados ao ambiente propriamente dito, como propriedades químicas e físicas do solo e climáticos, como os diretamente relacionados com os participantes micorrízicos, os quais podem apresentar diferentes graus de afinidade (Smith & Read 1997). Estudos comprovam que a planta hospedeira (fitobionte) seleciona e determina os micobiontes através de sinalizadores moleculares presentes nos exsudados radicais, cuja função esteja ligada à ativação de propágulos, interferindo na infecção da raiz e no estabelecimento da associação MA (Gianinnazzi-Pearson *et al.* 1989; Vierheilig *et al.* 2003). Possivelmente, algumas dessas substâncias favoreceram a germinação de esporos de *Glomus macrocarpum* e *G. sinuosum*, as quais podem ter se estabelecido dentro das raízes e esporulado em momento oportuno. No entanto, não se pode afirmar que este tenha sido um fator determinante na composição de espécies de FMA, uma vez que não se avaliou a presença e a influência destes compostos sobre o estabelecimento da associação MA, nem se determinou quais espécies estavam efetivamente associadas às raízes das comunidades vegetais. Outra possibilidade é que as espécies dominantes tenham se instalado nas raízes e suprimido a colonização radical de outras espécies por meio de alterações no padrão de exsudação da planta hospedeira, como evidenciado por Pinior *et al.* (1999), Vierheilig & Piché (2002) e Vierheilig *et al.* (2003).

Espécies consideradas raras ou de baixa frequência, tendo como base dados de abundância de esporos, podem estar no ambiente em outras formas como hifas, raízes colonizadas e células auxiliares e a ausência de esporos não indica, necessariamente, ausência de colonização radical e, conseqüentemente, não participação na associação simbiótica.

Diferenças na esporogênese e morfologia dos esporos (cor, tamanho, estrutura e espessura das paredes) podem ter contribuído para o sucesso de espécies como *Glomus macrocarpum* e *G. sinuosum*. Ambas as espécies são esporocárpicas, e o número de esporos formados em cada esporocarpo, é geralmente grande. *G. sinuosum* apresenta perídio envolvendo o esporocarpo, que dificulta a dispersão dos esporos, o que pode explicar sua distribuição mais limitada. Além disso, velocidade de germinação, crescimento do tubo de germinação e formação de unidades de infecção são características importantes no processo de

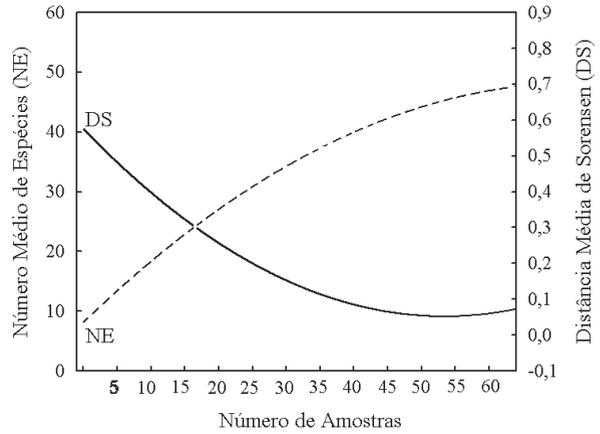


Figura 1. Número acumulado de espécies de FMA e distância média de Sorensen em 65 amostras de solo coletadas no Parque Cinquentenário, localizado no município de Maringá, PR.

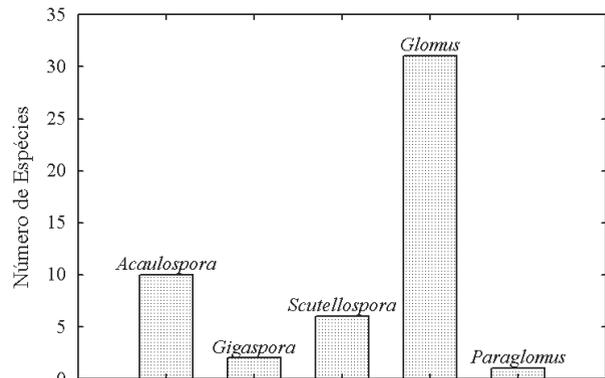


Figura 2. Número total de espécies de FMA segundo agrupamento taxonômico, em nível de gênero.

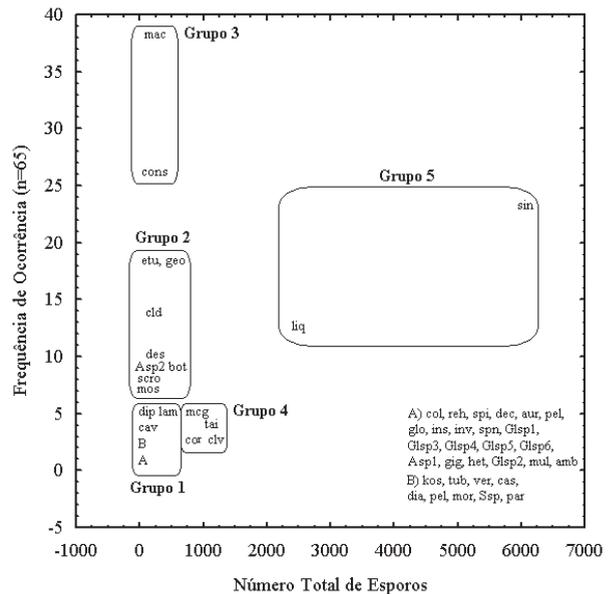


Figura 3. Agrupamentos das espécies de FMA coletadas no Parque Cinquentenário (Maringá, PR), segundo dados de abundância e frequência estruturados a partir da curva de dominância por espécie ranqueada.

competição interespecífica. Espécies formadoras de esporocarpos complexos, como *G. sinuosum*, *G. clavisporum* e *G. liquidambaris*, são conhecidas como pouco agressivas no processo infectivo, por apresentarem esporos com dormência prolongada (Weber *et al.* 2004). Por outro lado, é possível que nos sítios em que estas espécies ocorrem exista dominância competitiva das mesmas por causa das diferenças no número de propágulos infectivos.

Riqueza e número de esporos foram positivamente correlacionados, evidenciando a necessidade do recolhimento dos esporos para a discriminação taxonômica das comunidades de FMA. Por outro lado, equabilidade foi negativamente relacionada com o número de esporos (Tab.5), e isto é decorrente da presença de uma ou mais espécies esporocárpicas, as quais contribuem de forma desigual para a formação das comunidades de FMA, devido à elevada produção de esporos.

Propriedades químicas do solo também influenciaram a estruturação das comunidades dos FMA. Teor de fósforo foi negativamente relacionado com número de esporos, fato frequentemente observado (Daft & Nicolson 1972; Hayman *et al.* 1975; Porter *et al.* 1987a, b; Douds & Schenck 1990; Carrenho 1998). Ferro e cobre mostraram-se positivamente relacionados com a diversidade de espécies (Tab.5). Estes micro-nutrientes atuam diretamente sobre os propágulos infectivos, interferindo na micorrização, pois dependendo da concentração no solo podem atuar como fungistáticos (Hepper 1979). Os dados sugerem que *G. sinuosum* (espécie dominante) foi afetada negativamente por estes elementos. É possível que a acentuada redução observada no número de esporos desta espécie tenha possibilitado a infecção radical por outras espécies, garantindo que estas completassem o ciclo reprodutivo e aumentassem sua competitividade dentro da comunidade. Potássio, macro-elemento participante do processo fotossintético (Malavolta *et al.* 1967), parece ter favorecido a proliferação de maior número de espécies de FMA, o que ocasionou aumento da equabilidade nas comunidades investigadas. É sabido que 10 a 15%, dos compostos orgânicos produzidos pelas plantas são disponibilizados para os micobiontes, exigindo destas, aumento da atividade fotossintética (Levy & Krikun 1980). Desse modo, a maior oferta desses nutrientes na região rizosférica possibilita que a planta suporte este dreno, oferecendo assim, condições favoráveis para maior número de espécies de FMA.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Sr. Júlio Belini pela ajuda na coleta do material em campo. O primeiro autor também agradece à Capes, pela concessão da bolsa de Mestrado.

Referências bibliográficas

Aidar, M.P.M.; Carrenho, R. & Joly, C.A. 2004. **Aspects of arbuscular mycorrhizal fungi in an Atlantic Forest chronosequence, Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (Petar), SP.** <http://www.>

- biotaneotropica.org.br/v4n2/pt/abstract?article+BN02504022004 (acesso em 12/08/2008).
- Alves, L.J. 2004. **Efeito da fragmentação florestal sobre as comunidades de fungos micorrízicos arbusculares da floresta Atlântica do extremo sul da Bahia.** Dissertação de Mestrado. Salvador, Universidade Federal da Bahia.
- Anderson, R.C. & Liberta, A.E. 1992. Influence of supplemental inorganic nutrients on growth, survivorship, and mycorrhizal relationships of *Schizachyrium scoparium* (Poaceae) growth in fumigated and unfumigated soil. **American Journal of Botany** 79: 406-414.
- Anderson, R.C.; Liberta, A.E. & Dickman, L.A. 1984. Interaction of vascular plants and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi across a soil moisture-nutrient gradient. **Oecologia** 64: 111-117.
- Barea, J.M. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhizae as modifiers of soil fertility. **Advances in Soil Science** 15: 1-39.
- Bethlenfalvy, G.J. & Barea, J.M. 1994. Mycorrhizae in sustainable agriculture. 1. Effects on seed yield and soil aggregation. **American Journal of Alternative Agriculture** 9:157-161.
- Bethlenfalvy, G.J. & Schuepp, H. 1994. Arbuscular mycorrhizae and agriculture: Effects on seed yield and soil aggregation. **American Journal of Alternative Agriculture** 9: 157-161.
- Bovi, M.L.A.; Tucci, M.L.S.; Spiering, S.H.; Godoy, JR, G. & Lambais, M.R. 1998. Biomass accumulation and arbuscular mycorrhizal colonization in pejiabaye (*Bactris gasipaes* Kunth) as a function of NPK fertilization. **Acta Horticulturae** 513: 153-168.
- Burrows, R.L. & Pflieger, F.L. 2002. Arbuscular mycorrhizal fungi respond to increasing plant diversity. **Canadian Journal of Botany** 80(2): 120-130.
- Carrenho, R. 1998. **Influência de diferentes espécies de plantas hospedeiras e fatores edáficos no desenvolvimento de fungos micorrízicos arbusculares (FMA).** Rio Claro, Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista.
- Carrenho, R. & Santos, F.E.F. 2006. Reflexos da degradação ambiental do Horto Florestal de Maringá nas comunidades de fungos micorrízicos arbusculares. In: Anais do X Congresso Brasileiro de Arborização Urbana, Maringá, PR. *Cd-rom*.
- Carrenho, R.; Gomes-da-Costa, S.M.; Balota, E.L. & Colozzi-Filho, A. 2010. Fungos micorrízicos arbusculares em agrossistemas brasileiros. Pp. 215-250. In: Siqueira, J.O.; de Souza, F.A.; Cardoso, E.J.B.N. & Tsai, S.M. (Eds.) **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil.** Lavras, Editora UFLA.
- Campos, B.C.; Reinert, D.J.; Nicolodi, R. & Cassol, L.C. 1999. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 23: 386-391.
- Daft, M.J.; Nicolson, T.H. Effect of *Endogone* mycorrhiza on plant growth. 1972. IV. Quantitative relationships between the growth of the host and development of the endophyte in tomato and maize. **New Phytologist** 71: 287-295.
- Dickson, S.; Schweiger, P.; Smith, F.; Soderstrom, B. & Smith, S. 2003. Paired arbuscules in the Arum-type arbuscular mycorrhizal symbiosis with *Linum usitatissimum*. **Canadian Journal of Botany** 81: 457-463.
- Douds, D.D. & Schenck, N.C. 1990. Relationship of colonization and sporulation by VA mycorrhizal fungi to plant nutrient and carbohydrate contents. **New Phytologist** 116: 621-627.
- Félix, R.L.A.; Salcedo, I.H. & Fraga, V.S. 2007. Propágulos de fungos micorrízicos arbusculares em solos deficientes em fósforo sob diferentes usos, da região semi-árida no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 31: 257-268.
- Gerdemann, J.W. & Nicolson, T.H. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet-sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Research** 46: 235-244.
- Gianinnazzi-Pearson, V.; Branzati, B. & Gianinnazzi, S. 1989. In vitro enhancement of spore germination and early hyphal growth of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus by host root exudates ad plant flavonoids. **Symbiosis** 7: 243-255.
- Giovannetti, M. & Mosse, B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist** 84: 489-500.
- Gomes, S.P. & Trufem, S.F.B. 1998. Fungos micorrízicos arbusculares da Ilha dos Eucaliptos, Represa do Guarapiranga, São Paulo, SP. **Acta Botanica Brasilica** 13(3): 393-401.

- Habte, M. & Soedarjo, M. 1995. Limitation of vesicular-arbuscular mycorrhizal activity in *Leucaena leucocephala* by Ca insufficiency in an acid Mn-rich soil. *Mycorrhiza* 5: 387-394.
- Hayman, D.S.; Johnson, A.M.; Ruddlesdin, I.I. 1975. The influence of phosphate and crop species on *Endogone* spores and vesicular-arbuscular mycorrhiza under field conditions. *Plant and Soil* 43: 489-495.
- Hepper, C.M. 1979. **Nutritional and biochemical studies of the fungi involved in vesicular-arbuscular mycorrhiza**. Ph.D. Thesis, University of London.
- Hepper, C.M. & O'Shea, J. 1984. Vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in lettuce (*Lactuca sativa*) in relation to calcium supply. *Plant and Soil* 82: 61-68.
- Instituto Agrônomico do Paraná (IAPAR) 1978. **Cartas Climáticas básicas do Estado do Paraná**. Londrina, IAPAR.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 1990. **Mapa da vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- Jenkins, W.R. 1964. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter* 48: 692.
- Jesus, E.C.; Schiavo, J.A. & Faria, S.M. 2005. Dependência de micorrizas para a nodulação de leguminosas arbóreas tropicais. *Revista Árvore* 29(4): 545-552.
- Joner, E.J. & Jakobsen, I. 1995. Growth and extra cellular phosphatase activity of arbuscular mycorrhizal hyphae as influenced by soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry* 27:1153-1159.
- Kennedy, A.C. & Smith, K.L. 1995. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. *Plant and Soil* 170: 75-86.
- Levy, J. & Krikun, J. 1980. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhiza on *Citrus jambhiri* water relations. *New Phytologist* 85: 25-31.
- Linderman, R.G. 1988. Mycorrhizal interactions with the rhizosphere microflora: the mycorrhizosphere effect. *Phytopathology* 78: 366-371.
- Lippert, M.A.M. 2009. **Interações de fitobiontes e expressão da diversidade de fungos micorrízicos arbusculares nativos do Parque Cinquentenário (Maringá, PR) em cultivo-armadilha**. Dissertação de Mestrado. Maringá, Universidade Estadual de Maringá.
- Lopes, E.S. & Oliveira, E. 1980. Efeito de espécies de micorrizas vesicular-arbusculares em siratro (*Macroptilium atropurpureum*). *Bragantia* 39: 241-245.
- Ludwig, J.A. & Reynolds, J.F. 1988. **Statistical ecology: a primer on methods and computing**. New York, John Wiley.
- Malavolta, E.; Haag, H.P.; Mello, F.A.F. & Brasil Sobrinho, M.O.C. 1967. **Nutrição mineral de algumas culturas tropicais**. São Paulo, Ed. Pioneira.
- Malhi, Y.J.; Roberts, T.; Betts, R.A.; Killeen, T.J.; Li, W. & Nobre, C.A. 2008. Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science* 319: 169-172.
- Malhó, R. 1999. Coding information in plant cells: the multiple roles of Ca²⁺ as a second messenger. *Plant Biology* 1: 487-498.
- Mangan, S.A.; Eom, A.H.; Adler, G.H.; Yavitt, J.B. & Herre, E.A. 2004. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi across a fragmented forest in Panama: insular spore communities differ from mainland communities. *Oecologia* 141: 687-700.
- McCune, B. & Mefford M.J. 1999. **PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data**. Version 5.0. Gleneden Beach, MjM Software.
- Miller, R.M. & Kling, M. 2000. The importance of integration and scale in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil* 226: 295-309.
- Morton, J.B.; Bentivenga, S.P. & Wheeler, W.W. 1993. Germ plasm in the International Collection of Arbuscular and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM) and procedures for culture development, documentation and storage. *Mycotaxon* 48: 491-528.
- Paula, P.F. & Ferreira, M.E.M.C. 2005. Levantamento fitogeográfico preliminar no Parque do Cinquentenário em Maringá-PR. **Geografia Revista do Departamento de Geociências** 14(1): 73-86.
- Phillips, J.M. & Hayman, D.S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society* 55: 158-161.
- Pinior, A.; Wyss, U.; Piché, Y. & Vierheilig, H. 1999. Plants colonized by AM fungi regulate further root colonization by AM fungi through altered root exudation. *Canadian Journal of Botany* 77: 891-897.
- Porter, W.M.; Robson, A.D.; Abbott, L.K. 1987a. Field survey of the distribution of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in relation to soil pH. *Journal of Applied Ecology* 24: 659-662.
- Porter, W.M.; Robson, A.D.; Abbott, L.K. 1987b. Factors controlling the distribution of VA mycorrhizal fungi in relation to soil pH. *Journal of Applied Ecology* 24: 663-672.
- Santos, I.S. 2001. **Fungos micorrízicos arbusculares em ambientes de mata Atlântica e de eucaliptos na região de Entre Rios, Bahia**. Salvador, Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia.
- Schiavo, J.A. 2005. **Revegetação de áreas degradadas pela extração de argila, com espécies micorrizadas de *Acacia mangium*, *Sesbania virgata* e *Eucalyptus camaldulensis***. Tese de Doutorado. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.
- Sieverding, E. 1991. Function of mycorrhizas. Pp.57-70. In: Smith, S.E. & Read, D.J. (Eds.). **Vesicular- arbuscular mycorrhizae management in tropical agrosystems**. Eschborn, Technical Cooperation Federal of German.
- Silveira, M.L.A.; Aleoni, L.R.F.; Camargo, O.A. & Casagrande, J.C. 2005. Adsorption in oxidic soils after removal of organic matter and iron oxides. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 33: 3581-3592.
- Smith, S. & Read, D.J. 1997. **Mycorrhizal symbiosis**. London, Academic Press.
- StatSoft, Inc. **Statistica** (data analysis software system), version 7.1. www.statsoft.com. 2005.
- Trindade, A.V.; Lins, G.M.L. & Maia, I.C.S. 2003. Substratos e fungo micorrízico arbuscular em mudas micropropagadas de bananeira na fase de aclimação. *Revista Brasileira de Fruticultura* 25(1): 137-142.
- Trufem, S.F.B. 1990. Aspectos ecológicos de fungos micorrízicos vesicular-arbusculares em rizosferas de plantas da mata tropical úmida da Ilha do Cardoso, SP, Brasil do Cardoso, SP, Brasil. *Acta Botanica Brasílica* 4: 31-45.
- van der Heijden, M.G.A.; Klironomos, J.N.; Ursic, M.; Moutoglis, P.; Streitwolf-Engel, R.; Boller, T.; Wiemken, A. & Sanders, I.R. 1998. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* 396: 69-72.
- Vierheilig, H. & Piché, Y. 2002. Signalling in arbuscular mycorrhiza: facts and hypotheses. Pp. 23-39. In: Buslig, B. & Manthey, J. (Eds.). **Flavonoids in cell functions**. New York, Kluwer.
- Vierheilig, H.; Lerat, S. & Piché, Y. 2003. Systemic inhibition of arbuscular mycorrhiza development by root exudates of cucumber plants colonized by *Glomus mosseae*. *Mycorrhiza* 13: 167-170.
- Weber, O.B.; Souza, C.C.M. & Gondin, D.M.F. Inoculação de fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada em mudas de cajueiro-anão-precoce. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39(5): 477-483.
- Zangaro, W.; Nisizaki, S.M.A.; Domingos, J.C.B. & Nakano, E.M. 2003. Mycorrhizal response and successional status in 80 woody species from south Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 19: 315-324.