

Capacidade infectiva de fungos micorrízicos arbusculares em áreas reflorestadas após mineração de bauxita no Pará⁽¹⁾

Ana Lucy Caproni⁽²⁾, Avílio Antônio Franco⁽³⁾, Ricardo Luis Louro Berbara⁽²⁾, José Rodolfo Dantas de Oliveira Granha⁽⁴⁾, Eliane Maria da Silva Ribeiro⁽³⁾ e Orivaldo José Saggin Júnior⁽³⁾

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade infectiva das espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e relacioná-la com o número mais provável (NMP) de propágulos infectivos e número de esporos extraídos diretamente do campo. Amostras de solo foram coletadas em áreas degradadas pela mineração de bauxita com cobertura de 2, 6, 12 e 16 anos após revegetação e em uma área de floresta primária, em Porto Trombetas, PA. Os esporos de FMA foram extraídos e identificados taxonomicamente por suas características morfológicas. A maioria das espécies apresentou comportamento diferente nas áreas em estudo. *Glomus macrocarpum* foi a que apresentou infectividade mais rápida e alto potencial infectivo, nos solos das cinco áreas estudadas. Esta espécie também apresentou alto NMP de propágulos e alto número de esporos em todas as áreas estudadas. A capacidade infectiva das espécies não está relacionada com a densidade de propágulos. As espécies de FMA possuem diferentes graus de tolerância às condições de solo e se comportaram de maneira diferente de acordo com a idade da revegetação.

Termos para indexação: propágulo, esporo, densidade, Amazônia.

Infective capacity of arbuscular mycorrhizal fungi in reforested areas after bauxite mining in the Pará State, Brazil

Abstract – The objective of this work was to evaluate the infective capacity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) species and relate it to the most probable number (MPN) of infective propagules and number of spores extracted directly from the field. Soil samples were taken from areas degraded by bauxite mining, 2, 6, 12 and 16 years after reforestation and from an area of primary forest. The spores were extracted and morphologically identified. Most of the species had different behavior for the areas of study. *Glomus macrocarpum* showed fast infectivity in soils with high infective potential, independently of the soil origin. This species also showed high MPN values of infective propagules and high number of spores in all areas. The infective capacity of the species did not relate to the density of infective propagules. AMF species have different degrees of tolerance to the soil conditions and they behaved in different ways, according to the age of the revegetation.

Index terms: propagule, spores, density, Amazonia.

⁽¹⁾ Aceito para publicação em 31 de março de 2003.

⁽²⁾ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Dep. de Solos, BR 465, km 7, CEP 23890-970 Seropédica, RJ. E-mail: alcaproni2002@hotmail.com, berbara@ufrj.br

⁽³⁾ Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia, Caixa Postal 74505, CEP 23890-000 Seropédica, RJ. E-mail: avilio@cnpab.embrapa.br, eliane@cnpab.embrapa.br, saggin@cnpab.embrapa.br

⁽⁴⁾ UFRRJ. Bolsista da Capes. E-mail: rodolfogranha@yahoo.com.br

Introdução

Os levantamentos da diversidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) no solo devem ser realizados para se potencializar a simbiose micorrízica (Sieverding, 1991). Além da identificação das espécies, uma importante tarefa em estudos ecológicos é a determinação precisa da sua capacidade infectiva (CI) e do número mais provável de

propágulos infectivos (NMP) no solo. Essas variáveis nos fornecem informações sobre a diversidade ativa de FMA no solo, ou seja, sobre a capacidade de desenvolver a simbiose, e a rapidez com que a colonização se estabelece. A contagem direta de esporos indica a diversidade potencial da população de FMA, ativa e inativa (dormente ou já em senescência). Os dois bioensaios, quando abordados conjuntamente, conforme no presente trabalho, fornecem informações sobre a densidade de propágulos de cada espécie e a agilidade em colonizar (capacidade infectiva) as raízes (Allen, 1991; Santos et al., 2000).

A técnica modificada do NMP por espécie é útil na comparação de áreas degradadas por mineração e revegetadas, pois, além de fornecer uma estimativa dos propágulos infectivos por espécie, permite uma avaliação mais ampla da atividade das espécies de FMA. Os bioensaios portanto têm sido usados para mostrar diferenças entre solos quanto à infectividade da população de FMA (Abbott & Robson, 1991).

A medida da eficiência da população de FMA do solo, na colonização de raízes, é necessária no planejamento de uma estratégia de manutenção, melhora ou reposição com fungos mais eficientes. Entretanto, as técnicas de coleta e contagem de esporos do solo e do NMP consomem muito tempo e têm limitações. Ambos os métodos refletem somente a estimativa da infectividade dos FMA existentes no solo. As condições do bioensaio devem permitir que a colonização das raízes ocorra na mesma proporção que ocorre no campo (Plenchette et al., 1989).

Espécies de fungos que formam micorrizas arbusculares podem diferir na eficiência em aumentar a absorção de P e favorecer o crescimento da planta. As razões para essas diferenças parecem estar relacionadas à taxa e ao tempo de formação da simbiose bem como à quantidade de infecções desenvolvidas por espécie. Assim, a eficiência dos FMA em aumentar a absorção de P usualmente está relacionada com a infectividade, que está associada com o potencial de inóculo próximo à raiz bem como à habilidade dos fungos de se propagarem dentro da raiz (Abbott & Robson, 1981; Tommerup, 1994; Nehl et al., 1998). O principal fator que contribui para a efetividade de um FMA em determinada plan-

ta hospedeira é a habilidade do fungo em infectar rápida e extensivamente (Abbott & Robson, 1981).

O tempo requerido para cada espécie infectar raízes de plantas e os efeitos sobre o seu crescimento ainda não são bem conhecidos. Algumas espécies de FMA infectam as raízes das plantas mais rapidamente que outras e seus níveis de infecção final variam consideravelmente (Abbott et al., 1995). Contudo, nos solos, muitas espécies de fungos micorrízicos indígenas não são endófitos efetivos, e a efetividade de uma espécie pode variar com o hospedeiro (Abbott et al., 1995). Deve-se considerar que uma espécie de FMA compete, com mais sucesso que outra, com outro fungo por um mesmo local de infecção na raiz (Wilson & Trinick, 1982).

A maioria das pesquisas tem mostrado que a adaptação do fungo ao tipo de solo e condições edafoclimáticas é mais determinante que a especificidade fungo-espécie vegetal (Sieverding, 1991). Por essa razão, a avaliação da capacidade infectiva dos propágulos existentes nas áreas revegetadas remanescentes da mineração de bauxita, com diferentes tempos de plantio, poderá ser usada como indicador de eficiência da colonização micorrízica dos mesmos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade infectiva de espécies de FMA e relacioná-la com o número mais provável de propágulos infectivos e número de esporos extraídos diretamente do campo.

Material e Métodos

O levantamento da população de FMA foi realizado em Porto Trombetas, PA, tomando-se por base a capacidade infectiva de cada uma das espécies de FMA nativos, o número mais provável (NMP) de propágulos infectivos e o número de esporos extraídos diretamente do solo. Foram coletadas dez subamostras de solo para formar cada uma das quatro amostras compostas das áreas degradadas pela mineração de bauxita e revegetadas com espécies nativas da região. As subamostras foram coletadas, a uma profundidade de 0-20 cm, em solo sob cobertura de 2, 6 e 12 anos de idade após revegetação com reposição do horizonte superficial orgânico, uma área revegetada diretamente sobre o solo estéril (sem o horizonte superficial orgânico) com 16 anos de idade e uma área de floresta primária.

A região apresenta uma associação de Latossolo e Podzol. Mediante estudos de campo, fotointerpretação e laboratório, as unidades pedológicas são Latossolo Amarelo, com textura argilosa; Argissolo Vermelho-Amarelo, com textura média para argilosa; Podzólico concrecionário, com concreções de ferro amarelo; Neossolo quartzarênicos; Neossolos flúvicos e Gleissolos. Os solos apresentam um horizonte latossólico B, textura argilosa, e são ácidos, profundos, bem drenados, plásticos e pegajosos. São solos de baixa fertilidade natural, baixa capacidade de troca de cátions e baixos níveis de saturação de bases (Ferraz, 1993).

A análise química dos solos não mostra diferenças quanto aos níveis de nutrientes entre as diferentes idades de plantios (Tabela 1).

Para a determinação da capacidade infectiva (CI) das espécies de FMA foi realizado, em casa de vegetação, um bioensaio, conforme Thonson et al. (1994). Usou-se como planta-isca a *Brachiaria decumbens*, cujas sementes, previamente desinfestadas em hipoclorito de sódio a 1%, durante 1 minuto, foram semeadas em copos de plástico com capacidade para 300 mL, contendo 280 mL de material de solo coletado em cada área. Posteriormente, com o sistema radicular previamente lavado em água corrente, para eliminação do material aderido externamente, as plântulas foram transplantadas para vasos com 800 mL de solo esterilizado, aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a semeadura, a fim de determinar o tempo de colonização das espécies de FMA. O solo foi esterilizado em autoclave a 121°C em dois períodos de uma hora cada, em dias alternados.

O bioensaio constou da combinação das cinco áreas de coleta e dos cinco tempos de exposição radicular das plântulas aos propágulos infectivos presentes (Gravina, 1998), com três repetições, perfazendo um total de 75 vasos, conduzidos por um período de seis meses. A irrigação foi feita com água previamente fervida para evitar contaminação. Na época da coleta, suspendeu-se a irrigação até a morte das plantas, e o solo foi retirado dos potes, destorroado, homogeneizado e uma amostra foi retirada de cada pote para extração e identificação dos esporos.

De cada amostra de solo substrato, retirou-se 100 mL,

para extrações dos esporos, seguindo as técnicas de peneiramento úmido (Gerdemann & Nicolson, 1963) e centrifugação em solução de sacarose (Daniels & Skipper, 1982), utilizando peneiras com malha de 38 µm. Após a extração, os esporos foram agrupados e colocados em lâminas com álcool polivinil em lactoglicerol (PVLG) e quebrados delicadamente, sob a lamínula, para exposição das paredes internas. Na mesma lâmina, um segundo grupo de esporos foi montado com PVLG + reagente de Melzer (1:1) sob outra lamínula. Os resultados da reação de cor ao reagente de Melzer ajudam a caracterizar melhor as paredes dos esporos. Os esporos foram então identificados por espécie, segundo Schenck & Perez (1988) e descrições morfológicas existentes na coleção INVAM (West Virginia University, 2000). A interpretação das características taxonômicas foi feita mediante observações em microscópio óptico.

As espécies de fungos foram classificadas de acordo com o tempo necessário para promover a infecção radicular da *B. decumbens*, e considerou-se como tendo capacidade infectiva muito rápida, aquelas que infectaram em até sete dias de exposição ao inóculo; rápida, as que infectaram até 14 dias de exposição; moderada, até 21 dias de exposição; lenta, até 28 dias e muito lenta, até 35 dias.

Nas comparações, os resultados do experimento de CI foram interpretados em conjunto com os resultados de densidade populacional de cada espécie nativa de FMA, obtidos no experimento de NMP e do número de esporos extraídos diretamente do solo (Caproni, 2001).

Resultados e Discussão

Os resultados indicam que algumas espécies de FMA foram detectadas aos 7 e aos 21 dias, como exemplo *Archeospora leptoticha*, nas amostras de solo proveniente da revegetação aos 6 anos de idade (Tabela 2). Essa espécie pode ser considerada de infecção muito rápida. Entretanto, a sua ausência aos 14, 28 e 35 dias está, provavelmente, vinculada ao baixo NMP.

Tabela 1. Análise química das amostras de solos, das áreas em estudo, coletadas no mês de abril/1999.

Áreas	N ----- (g/dm ³)	C org. ----- (g/dm ³)	pH	Al ³⁺ ----- (cmol/100 mL)	Ca ²⁺ ----- (cmol/100 mL)	Mg ²⁺ ----- (cmol/100 mL)	P ----- (g/dm ³)	K ----- (g/dm ³)
Solo estéril (sem plantio)	0,16	1,43	4,3	0,4	- ⁽¹⁾	-	2	27
Solo estéril reflorestado há 16 anos	0,18	2,02	4,1	1,4	0,7	0,7	2	56
Floresta primária	0,04	1,73	3,8	1,9	-	-	2	27
Reflorestamento há 2 anos	0,18	1,44	4,1	1,1	0,5	0,7	1	23
Reflorestamento há 4 anos	0,08	2,27	4,1	1,2	0,8	0,9	3	32
Reflorestamento há 6 anos	0,15	2,24	4,5	0,5	2,3	1,0	2	67
Reflorestamento há 12 anos	0,17	2,08	4,2	1,1	0,7	0,6	2	53

⁽¹⁾Não detectado.

Acaulospora foveata, *Glomus claroideum*, *G. geosporum*, *G. macrocarpum* e *G. microcarpum* infectaram desde o primeiro período de exposição (Tabela 2). *Glomus macrocarpum* foi mais rápida e competitiva que as demais espécies, infectando até no

penúltimo período de exposição, além de ser a espécie com maior número de propágulos e esporos. *Acaulospora foveata* apresentou germinação muito rápida (MR), infectando a planta até o terceiro período de exposição (21 dias). Como esta espécie não

Tabela 2. Densidade de propágulos infectivos (NMP), número de esporos por espécie obtido por contagem direta (NE) e capacidade infectiva dos FMA nativos em áreas revegetadas após a mineração de bauxita, com reposição do horizonte superficial orgânico, com 2, 6, 12 e 16 anos de idade⁽¹⁾.

Espécies de FMA	NMP	NE	Capacidade infectiva				
			MR	R	M	L	ML
Dois anos							
<i>Acaulospora foveata</i>	3,0	-	+	+	+	-	-
<i>A. tuberculata</i>	1,3	160	-	+	-	-	-
<i>Entrophospora colombiana</i>	0,4	0	-	-	+	-	-
<i>Glomus claroideum</i>	9,1	485	+	+	-	-	+
<i>Glomus</i> sp.1	0,2	0	-	-	-	-	+
<i>G. geosporum</i>	0,0	0	+	+	-	-	-
<i>G. macrocarpum</i>	13.963	521	+	+	+	+	-
<i>G. microcarpum</i>	36,3	0	+	+	-	-	+
<i>Scutellospora</i> sp.1	0	0	-	-	-	-	+
<i>S. heterogama</i>	0	0	-	-	-	-	+
Seis anos							
<i>Archeospora leptoticha</i>	36,3	0	+	-	+	-	-
<i>Acaulospora mellea</i>	6,9	118	+	+	+	+	-
<i>A. tuberculata</i>	0,2	0	+	-	+	-	-
<i>Glomus etunicatum</i>	1.334	57	+	+	+	-	+
<i>G. geosporum</i>	110,5	9	+	-	-	-	-
<i>G. glomerulatum</i>	447,1	0	+	+	+	+	+
<i>G. macrocarpum</i>	18.425	2.819	+	+	+	+	+
<i>G. magnicaule</i>	0	9	+	-	-	-	-
<i>G. reticulatum</i>	1,7	0	+	-	-	-	-
<i>Paraglomus occultum</i>	0,5	0	-	+	+	+	+
<i>Scutellospora</i> sp.1	0,2	0	-	-	-	+	+
12 anos							
<i>Archeospora leptoticha</i>	0,7	22	+	-	-	-	+
<i>Acaulospora mellea</i>	20,9	39	-	+	+	+	+
<i>A. morrowiae</i>	0,2	0	-	-	+	+	+
<i>A. tuberculata</i>	1,3	67	+	-	-	-	+
<i>Glomus claroideum</i>	0	0	-	-	+	-	-
<i>G. etunicatum</i>	255	25	-	+	+	+	+
<i>G. formosanum</i>	48	185	+	+	+	+	+
<i>G. geosporum</i>	63,2	0	-	+	-	-	-
<i>G. macrocarpum</i>	4.951	1.710	+	+	+	+	+
<i>G. microcarpum</i>	0,5	32	-	+	-	-	-
<i>G. nanolumen</i>	2,3	637	+	+	+	+	-
<i>G. reticulatum</i>	601	841	+	+	+	+	+
<i>Paraglomus occultum</i>	0,2	0	-	-	-	-	+
16 anos							
<i>Archeospora leptoticha</i>	12	0	+	+	+	+	-
<i>Acaulospora mellea</i>	601	120	-	+	+	+	+
<i>A. tuberculata</i>	7	330	-	-	-	+	-
<i>Glomus etunicatum</i>	2.691	34	+	+	+	+	+
<i>G. formosanum</i>	3,9	342	-	-	-	-	+
<i>G. geosporum</i>	252,7	0	+	-	-	-	+
<i>G. gigantea</i>	0	0	-	-	-	+	-
<i>G. glomerulatum</i>	447	93	+	-	-	+	+
<i>G. macrocarpum</i>	13.964	5.339	+	+	+	+	+
<i>Paraglomus occultum</i>	0	0	-	+	-	-	-
<i>Gigaspora margarita</i>	0	0	-	+	-	-	-
<i>Scutellospora erythropa</i>	0	0	-	+	-	-	-

⁽¹⁾Esporos em 100 mL de solo (+: presente; -: ausente); MR: infecção muito rápida (até sete dias de exposição ao solo inóculo); R: infecção rápida (até 14 dias de exposição ao solo inóculo); M: infecção moderada (até 21 dias de exposição ao solo inóculo); L: infecção lenta (até 28 dias de exposição ao solo inóculo); ML: infecção muito lenta (até 35 dias de exposição ao solo inóculo).

chegou a infectar durante o quarto e o quinto período, pode-se sugerir que seu potencial competitivo foi inferior ao de *G. macrocarpum*. As demais espécies se comportaram de forma moderada a muito lenta em seu processo de infecção. Algumas espécies não foram encontradas no bioensaio do NMP porque, provavelmente, seus propágulos foram destruídos durante os processos de preparo do solo ou permaneceram dormentes.

Archeospora leptoticha, *Acaulospora mellea*, *A. tuberculata*, *Glomus etunicatum*, *G. geosporum*, *G. glomerulatum*, *G. macrocarpum*, *G. magnicaule* e *G. reticulatum* apresentaram infecção muito rápida, mas apenas as espécies com número de propágulos muito alto permaneceram infectando em todos os períodos de exposição da raiz, considerando-se espécies com alta infectividade (Tabela 2). Gravina (1998) observou que *A. mellea*, *G. macrocarpum* e *G. etunicatum* infectaram as plantas de sorgo desde o primeiro período de exposição, mostrando seus altos potenciais de infecção, e relacionou este fato ao alto NMP de propágulos infectivos encontrados. *Scutellospora* sp.1 apresentou infecção lenta, com aparecimento somente nas raízes das plantas-iscas expostas por 28 e 35 dias após a germinação das sementes.

Glomus formosanum, *G. macrocarpum* e *G. reticulatum* apresentaram infecção muito rápida e permaneceram infectando durante todos os períodos de exposição da planta-isca ao solo inóculo (Tabela 2). *Glomus nanolumem* também infectou em quase todos os períodos de exposição. *Archeospora leptoticha* e *Acaulospora tuberculata* apresentaram infecção muito rápida mas não permaneceram infectivas nos demais períodos de exposição, exceto aos 35 dias. *Acaulospora mellea* e *G. etunicatum* apresentaram infecção rápida e permaneceram infectando até o final do experimento. Por sua vez, *Glomus microcarpum* se mostrou com infecção rápida. *Acaulospora morrowiae* apresentou infecção moderada e permaneceu infectiva até o último período de exposição, enquanto *G. claroideum* também apresentou infecção moderada. *Paraglomus occultum* apresentou um comportamento diferenciado neste solo em relação ao de seis anos de revegetação. Aos seis anos apresentou infecção rápida e no solo de 12 anos, infecção muito lenta. Este comportamento pode estar relacionado com a pre-

sença de outras espécies com germinação mais rápida ou com número de espécies com altos índices de propágulos, tornando assim difícil a competição de uma espécie com baixo índice de propágulos. *Archeospora leptoticha* e *Acaulospora tuberculata* se mostraram com infecção muito rápida e muito lenta.

Archeospora leptoticha, *Glomus etunicatum* e *G. macrocarpum* apresentaram infecção muito rápida, o que revela um bom potencial de infectividade em quase todos os períodos de exposição da planta-isca ao solo inóculo, diferentemente das demais espécies presentes (Tabela 2). *Glomus geosporum* e *G. glomerulatum* apresentaram infecção no primeiro período de exposição e apareceram novamente nos últimos períodos de exposição da planta ao solo. *Acaulospora mellea*, *Paraglomus occultum*, *Gigaspora margarita* e *Scutellospora erythropora* apresentaram infecção rápida, e *A. mellea* infectou até nos períodos de exposição mais longos da planta ao solo. *Paraglomus occultum*, *G. margarita* e *S. erythropora* não haviam sido detectados anteriormente, no bioensaio NMP ou no método de extração direta dos esporos. *Acaulospora tuberculata* e *Gigaspora gigantea* se apresentaram com lenta infecção.

Acaulospora mellea, *Gigaspora margarita*, *Glomus claroideum*, *G. formosanum*, *G. geosporum*, *G. macrocarpum*, *Glomus* sp.1, *G. reticulatum* e *Scutellospora* sp.1 apresentaram infecção muito rápida, mas somente *A. mellea*, *Gigaspora margarita*, *Glomus macrocarpum* e *G. reticulatum* continuaram infectando ao longo do desenvolvimento das plantas (Tabela 3). *G. etunicatum* apresentou infecção rápida, até o período mais longo de exposição da planta. *Archeospora leptoticha* apresentou infecção em tempo moderado e permaneceu infectiva até o período mais longo de exposição das plantas-iscas. *A. foveata* apresentou infecção lenta enquanto *G. geosporum* e *S. heterogama* apresentaram um tempo de infecção muito lento. As espécies de FMA que esporulam rapidamente em potes de cultivo podem ser mais agressivas como colonizadoras de raízes ou se adaptam melhor às variações das condições ambientais do solo que as outras (Brundrett et al., 1999).

Tabela 3. Densidade de propágulos infectivos (NMP), número de esporos por espécie através de contagem direta (NE) e capacidade infectiva dos FMA nativos em uma área de floresta primária⁽¹⁾.

Espécies de FMA	NMP	NE	Capacidade infectiva				
			MR	R	M	L	ML
<i>Archeospora leptoticha</i>	48	4	-	-	+	+	+
<i>Acaulospora foveata</i>	0,4	20	-	-	-	+	+
<i>A. mellea</i>	0	13	+	+	+	+	-
<i>A. tuberculata</i>	1,7	0	-	-	-	-	+
<i>Gigaspora margarita</i>	0,2	3	+	+	+	+	+
<i>Glomus claroideum</i>	0,2	2	+	-	-	-	-
<i>G. etunicatum</i>	600	24	-	+	+	+	+
<i>G. formosanum</i>	7	17	+	-	-	-	+
<i>G. geosporum</i>	793	19	-	-	-	-	+
<i>G. glomerulatum</i>	793	0	+	-	-	-	+
<i>G. macrocarpum</i>	4.951	503	+	+	+	+	+
<i>Glomus</i> sp.1	12	0	+	-	-	-	+
<i>G. reticulatum</i>	2.691	16	+	+	+	+	+
<i>Scutellospora</i> sp.1	0	0	+	-	-	-	-
<i>S. heterogama</i>	0,2	2	-	-	-	-	+

⁽¹⁾Esporos em 100 mL de solo (+: presente; -: ausente); MR: infecção muito rápida (até sete dias de exposição ao solo inóculo); R: infecção rápida (até 14 dias de exposição ao solo inóculo); M: infecção moderada (até 21 dias de exposição ao solo inóculo); L: infecção lenta (até 28 dias de exposição ao solo inóculo); ML: infecção muito lenta (até 35 dias de exposição ao solo inóculo).

A maioria das espécies apresentou comportamento distinto para cada solo oriundo das áreas em estudo à exceção de *Glomus macrocarpum* que apresentou infectividade muito rápida nos cinco solos analisados (Tabela 4). Esta espécie também infectou as raízes das plantas de *B. decumbens* desde a primeira semana de exposição ao substrato, apresentando alto potencial infectivo, independentemente do solo de origem. Ela apresentou alto NMP de propágulos infectivos e alto número de esporos em todas as áreas em estudo. Thonson et al. (1994) e Nehl et al. (1998) relacionam maior rapidez de infecção nas raízes das plantas com maior densidade de propágulos no solo, o que sugere uma alta capacidade de produção de propágulos desta espécie. Seu uso em programas de inoculação, para as condições ambientais do estudo, deve ser levado em consideração.

Archeospora leptoticha, *Glomus geosporum*, *G. glomerulatum* e *G. reticulatum* apresentaram infectividade muito rápida mas estiveram presentes

Tabela 4. Capacidade infectiva dos FMA nativos das amostras dos solos coletadas em abril/1999, em áreas revegetadas após a mineração de bauxita, com reposição da camada superficial orgânica com 2, 6 e 12 anos de idade; em área revegetada sem adição da camada superficial orgânica com 16 anos de idade e em floresta primária, em Porto Trombetas, PA⁽¹⁾.

Espécies	MR	R	M	L	ML
<i>Archeospora leptoticha</i>	+++	+	+++	++	+++
<i>Acaulospora foveata</i>	+	+	+	+	+
<i>A. mellea</i>	++	++++	++++	++++	++
<i>A. morrowiae</i>	-	-	+	+	+
<i>A. tuberculata</i>	+	+	+	+	+
<i>Glomus claroideum</i>	++	+	+	-	+
<i>G. etunicatum</i>	++	++++	++++	+++	++++
<i>G. formosanum</i>	++	+	+	+	+++
<i>G. geosporum</i>	+++	++	-	-	++
<i>G. glomerulatum</i>	+++	+	+	++	+++
<i>G. macrocarpum</i>	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
<i>G. nanolumem</i>	+	+	+	+	-
<i>G. reticulatum</i>	+++	++	++	++	++
<i>Glomus</i> sp.1	+	-	-	-	++
<i>Paraglomus occultum</i>	-	++	+	+	++
<i>Gigaspora margarita</i>	+	++	+	+	+
<i>G. gigantea</i>	-	-	-	+	-
<i>Scutellospora</i> sp.1	+	-	-	+	++
<i>S. erythropha</i>	-	+	-	-	-
<i>S. heterogama</i>	-	-	-	-	++
<i>S. verrucosa</i>	-	-	+	-	-

⁽¹⁾Esporos em 100 mL de solo (+: presente; -: ausente); MR: infecção muito rápida (até sete dias de exposição ao solo inóculo); R: infecção rápida (até 14 dias de exposição ao solo inóculo); M: infecção moderada (até 21 dias de exposição ao solo inóculo); L: infecção lenta (até 28 dias de exposição ao solo inóculo); ML: infecção muito lenta (até 35 dias de exposição ao solo inóculo); +: presença de esporos em uma das áreas em estudo; ++: presença de esporos em duas áreas em estudo; +++: presença de esporos em três áreas em estudo; ++++: presença de esporos em quatro áreas em estudo; +++++: presença de esporos em cinco áreas em estudo.

em três áreas de estudo. *Acaulospora mellea*, *Glomus claroideum*, *G. etunicatum* e *G. formosanum* apresentaram infectividade muito rápida mas estiveram presentes em duas áreas de estudo. *Acaulospora foveata*, *A. tuberculata*, *Glomus nanolumen*, *Glomus* sp.1, *Gigaspora margarita* e *Scutellospora* sp.1 apresentaram infecção muito rápida e estiveram presentes em uma área de estudo.

Nem todas as espécies apresentaram alta densidade de propágulos (Tabela 4), demonstrando que a capacidade infectiva das espécies não está relacionada com a densidade de propágulos infectivos. Resultados semelhantes foram relatados por Santos et al. (2000). Quando se considera a presença ou ausência das espécies nas áreas em estudo (2, 4, 6, 12 anos de idade e floresta primária), *S. erythropa* infectou as plantas somente no segundo período de exposição e somente em uma área (Tabela 2), indicando propágulos pouco infectivos ou dormentes. *Acaulospora morrowiae* apresentou infectividade moderada com presença em apenas uma área. *Gigaspora gigantea* apresentou infectividade lenta (em uma área) e *S. heterogama*, infectividade muito lenta (em duas áreas).

As espécies de FMA têm diferentes tolerâncias e se comportam de maneiras distintas conforme as condições ambientais (Klironomos et al., 1993). Um exemplo é *G. margarita* que não apresentou boa capacidade infectiva quando observada por Santos et al. (2000). Neste trabalho, esta espécie foi encontrada no solo de duas áreas, apresentando infectividade muito rápida no solo proveniente da floresta primária e rápida no solo de revegetação aos 16 anos de idade, demonstrando grande dependência ambiental (Paula & Siqueira, 1990). Estes autores comentam que *G. margarita*, em condições adequadas, pode germinar entre dois e quatro dias e produzir grande quantidade de micélio.

As espécies que não conseguiram infectar as raízes das plantas de *B. decumbens* nos primeiros períodos de exposição, provavelmente poderiam estar dormentes e, conseqüentemente, apresentaram taxa de germinação baixa. Devem também ser considerados os efeitos do ambiente de casa de vegetação durante o período do experimento sobre estes simbioses. Sabe-se que a umidade do substrato promovida pelas irrigações diárias (Al-Agely & Reeves,

1995), temperatura ambiente (Haugen & Smith, 1992), pH e fósforo (Green et al., 1976) podem ter também influenciado os processos de germinação e colonização, conforme Miranda & Harris (1994) e Miranda & Miranda (1997). Estes autores sugerem que o crescimento inicial das hifas é controlado principalmente por fatores externos.

Da mesma forma, as espécies que apresentaram períodos de infecção de moderado a muito lento podem estar relacionadas com períodos de dormência. Bowen (1987) cita a dormência de espécies de FMA como principal fator de redução da velocidade de infecção. Segundo este autor, o fenômeno de dormência é importante na germinação de FMA ao prevenir esporos de germinar imediatamente após sua formação em torno das raízes. Estes resultados confirmam que FMA são dependentes do ambiente quanto ao desenvolvimento do processo simbiótico conforme discutido por Juge et al. (2002).

Conclusões

1. A capacidade infectiva dos fungos micorrízicos arbusculares não está relacionada com a densidade de propágulos ou número de esporos.

2. *Glomus macrocarpum* é a espécie que apresenta infectividade mais rápida, indicando alto potencial infectivo nas condições experimentais.

3. A capacidade infectiva de algumas espécies de fungo micorrízico arbuscular, como *G. macrocarpum*, independe das condições do substrato, enquanto em outras espécies, como *G. geosporum*, há dependência.

Agradecimentos

À Faperj, ao CNPq, à Mineração Rio do Norte, pelo apoio financeiro e à Dra. Sandra B. Trufem, pela valiosa colaboração na taxonomia dos esporos de FMA.

Referências

ABBOTT, L. K.; ROBSON, A. D. Factors influencing the occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizas. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 35, p. 121-150, 1991.

ABBOTT, L. K.; ROBSON, A. D. Infectivity and effectiveness of five endomycorrhizal fungi: competition with indigenous fungi in field soils. **Australian Journal**

- of **Agricultural Research**, Victoria, v. 32, p. 621-630, 1981.
- ABBOTT, L. K.; ROBSON, A. D.; SCHELTEMA, M. A. Managing soils to enhance mycorrhizal benefits in Mediterranean agriculture. **Critical Reviews in Biotechnology**, Boca Raton, v. 15, n. 3/4, p. 213-228, 1995.
- AL-AGELY, A. K.; REEVES, F. B. Inland sand dune mycorrhizae: effects of soil depth, moisture, and pH on colonization of *Oryzopsis hymenoides*. **Mycologia**, New York, v. 87, n. 1, p. 54-60, 1995.
- ALLEN, M. F. **The ecology of mycorrhizae**. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, 1991. 184 p.
- BOWEN, G. D. The biology and physiology of infection and its development. In: SAFIR, G. R. (Ed.). **Ecophysiology of VA mycorrhizal plants**. Boca Raton: CRC Press, 1987. p. 27-57.
- BRUNDRETT, M. C.; ABBOTT, L. K.; JASPER, D. A. Glomalean mycorrhizal fungi from tropical Australia – I: comparison of the effectiveness and specificity of different isolation procedures. **Mycorrhiza**, Berlin, v. 8, p. 305-314, 1999.
- CAPRONI, A. L. **Fungos micorrízicos arbusculares em áreas reflorestadas remanescentes da mineração de bauxita em Porto Trombetas, PA**. 2001. 205 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2001.
- DANIELS, B. A.; SKIPPER, H. D. Methods for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil. In: SCHENCK, N. C. (Ed.). **Methods and principles of mycorrhizal research**. St. Paul: American Phytopathological Society, 1982. p. 29-35.
- FERRAZ, J. B. Soil factors influencing the reforestation on mining sites in Amazonia. In: LIETH, H.; LOHMAN, M. (Ed.). **Restoration of tropical forest ecosystems**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1993. p. 47-52.
- 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**, Cambridge, Inglaterra, v. 46, p. 235-244, 1963.
- GRAVINA, G. A. **Densidade de propágulos infectivos e capacidade infectiva de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), em solo sob leguminosas herbáceas perenes**. 1998. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1998.
- GREEN, N. E.; GRAHAM, S. O.; SCHENK, N. C. The influence of pH on the germination of vesicular-arbuscular spores. **Mycological Research**, Cambridge, Inglaterra, v. 68, p. 929-934, 1976.
- HAUGEN, L. M.; SMITH, S. E. The effect of high temperature and fallow period on infection of mung bean and cashew roots by the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 145, p. 71-80, 1992.
- JUGE, C.; SAMSON, J.; BASTIEN, C.; VIERHEILIG, H.; COUGHLAN, A.; PICHE, Y. Breaking dormancy in spores of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*: a critical cold-storage period. **Mycorrhiza**, Berlin, v. 12, n. 1, p. 37-42, 2002.
- KLIRONOMOS, J. N.; MOUTOGOLIS, P.; KENDRICK, B.; WIDDEN, P. A comparison of spatial heterogeneity of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in two maple-forest soils. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 71, p. 1472-1480, 1993.
- MIRANDA, J. C. C.; HARRIS, P. J. The effect of soil phosphorus on the external mycelium growth of arbuscular mycorrhizal fungi at the early stages of mycorrhiza formation. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 166, p. 271-280, 1994.
- MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N. Micorriza arbuscular. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Ed.). **Biologia dos solos dos cerrados**. Brasília: Embrapa-CPAC, 1997. p. 67-123.
- NEHL, D. B.; ALLEN, S. J.; BROWN, J. F. Slow arbuscular mycorrhizal colonization of field-grown cotton caused by environmental conditions in the soil. **Mycorrhiza**, Berlin, v. 8, p. 159-167, 1998.
- PAULA, M. A.; SIQUEIRA, J. O. Stimulation of hyphal growth of the VA mycorrhizal fungus *Gigaspora margarita* suspension-cultured *Pueraria phaseoloides* cells and cell products. **New Phytologist**, Oxford, v. 115, p. 69-75, 1990.
- PLENCHETTE, C.; PERRIN, R.; DUVERT, P. The concept of soil infectivity and a method for its determination as applied to endomycorrhizas. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 67, p. 112-115, 1989.
- SANTOS, A. L.; SOUZA, F. A. de; BERBARA, R. L. L.; GUERRA, J. G. M. Estabelecimento e capacidade infectiva

- de *Gigaspora margarita* e *Glomus clarum* em solo sob erosão. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 127-139, 2000.
- SCHENCK, N. C.; PEREZ, Y. **A manual of identification of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi**. 2nd ed. Gainesville: University of Florida, 1988. 241 p.
- SIEVERDING, E. **Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems**. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), 1991. 371 p.
- THONSON, T. E.; MANIAN, S.; UDAYIAN, K. The effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal exposure period on their colonization and spore production in tomato seedlings (*Lycopersicon esculentum* Mill.), and on host biomass. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 51, p. 287-292, 1994.
- TOMMERUP, I. C. Methods for the study of the population biology of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. In: NORRIS, J. R.; READ, D. J.; VARMA, A. K. (Ed.). **Methods in microbiology**: techniques for study of mycorrhiza. San Diego: Academic, 1994. p. 483-512.
- WEST VIRGINIA UNIVERSITY (Morgantown, Estados Unidos). **INVAM**: international culture collection of arbuscular vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. Disponível em: <<http://invam.caf.wvu.edu>>. Acesso em: jul. 2000.
- WILSON, M. J.; TRINICK, J. M. Factors affecting the estimation of numbers of infective propagules of vesicular arbuscular fungi by the most probable number method. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 21, p. 73-81, 1982.