

Propágulos e formação de micorriza em taludes de rodovia, no sul de Minas Gerais, Brasil

Rogério Melloni¹, Marco Túlio de Faria¹, Laís de Oliveira Carneiro¹, Gustavo Magno dos Reis Ferreira², Eliane Guimarães Pereira Melloni¹, Maria Inês Nogueira Alvarenga¹

¹ Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Recursos Naturais, Av. BPS, 1303, Pinheirinho, CEP 37500-903, Itajubá-MG, Brasil. Caixa Postal 50. E-mail: rogerio.melloni@gmail.com; marcotuliofaga@yahoo.com.br; lais.olicar@gmail.com; eliane.melloni@gmail.com; minesalvarenga@gmail.com

² Universidade Federal de Lavras, Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola, Campus Universitário, CEP 37200-000, Lavras-MG, Brasil. Caixa Postal 3037. E-mail: gustavo_mrf@yahoo.com.br

RESUMO

Áreas de taludes sofrem impactos em função do corte do solo em profundidade, dificultando sua revegetação. Entretanto, mesmo com limitações físicas e químicas da qualidade do solo, é observado o crescimento e/ou sobrevivência de espécies vegetais. Os solos de talude, além da baixa fertilidade, ainda são, normalmente, erodidos. Para esses casos, os microrganismos, como os fungos micorrízicos arbusculares, podem contribuir para aumentar a disponibilidade de nutrientes para as plantas e agregação do solo, auxiliando, assim, os processos de revegetação dessas áreas. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi caracterizar física e quimicamente seis taludes de corte revegetados naturalmente, em um trecho da rodovia MGC-383, sul de Minas Gerais, em duas profundidades (0-20 e 20-50 cm), relacionando-os com a presença de propágulos de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), por meio da densidade e diversidade de esporos, comprimento de micélio extrarradicular total, porcentagem e intensidade de colonização radicular, utilizando estatística descritiva e multivariada. Os resultados mostraram alta densidade de propágulos de FMAs, com baixa diversidade de espécies, apresentando dominância das espécies *Acaulospora mellea*, *Acaulospora scrobiculata* e *Paraglomus brasilianum*. As plantas mostram-se altamente micotróficas com mais de 74% de colonização micorrizica, demonstrando que a micorrização foi um mecanismo utilizado pelas plantas durante o processo natural de revegetação.

Palavras-chave: áreas degradadas, fungos micorrízicos arbusculares, micotrofismo

Propagules and mycorrhizal formation in road slopes, in southern Minas Gerais state, Brazil

ABSTRACT

Slope areas are impacted due to the cutting at depth of the soil, making it difficult to revegetate. However, even with physical and chemical limitations in soil quality, growth and/or survival of plant species have been observed. Slope soils, besides the low fertility, are still usually eroded. For these cases, microorganisms, such as arbuscular mycorrhizal fungi, can contribute to increase availability of nutrients for plants and soil aggregation, thereby aiding the process of revegetation of these areas. In this sense, the objective of this study was to characterize physically and chemically six cutting slope revegetated naturally on a stretch of road MGC-383, in southern Minas Gerais state, in two depths (0-20 and 20-50 cm), relating them to the presence of propagules from arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) by the density and diversity of spores, total extraradical mycelium length, percentage and intensity of root colonization, using descriptive and multivariate statistics. The results showed high density of propagules of AMF, with low diversity of species, presenting dominance of species *Acaulospora mellea*, *Acaulospora scrobiculata* and *Paraglomus brasilianum*. The plants were highly mycotrophic, with mycorrhizal colonization up to 74%. The occurrence of AMF propagules and mycorrhiza formation showed that mycorrhiza can be a mechanism adopted for plants during the natural revegetation process of road slopes.

Key words: degraded areas, arbuscular mycorrhizal fungi, mycotrophism

Introdução

Os taludes são classificados como qualquer superfície de fronteira entre o ar e a rocha, vertical ou inclinada, podendo ser construídos por meio da extração ou por deposição de solo no local (Azevedo & Marques, 2006). A retirada da cobertura vegetal e da camada superficial do solo para a construção de estradas pode gerar uma série de impactos nos seus atributos (Lima et al., 2014), comprometendo a estabilização e recuperação dessas áreas (Cardoso et al., 2009).

A qualidade do solo em áreas degradadas, incluindo as de taludes, é governada, não somente pelos atributos químicos e físicos, mas também por atributos biológicos, incluindo a vegetação, os microrganismos e seus processos (Melloni et al., 2008).

Nesse sentido, apesar da ausência de estudos relacionados ao papel de microrganismos no sucesso de revegetação de taludes, vários deles demonstram a importância da associação das plantas com microrganismos, como fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), que auxiliam diretamente o crescimento e adaptação das plantas em ambientes impactados (Melloni et al., 2003; Nadeem et al., 2014), permitindo maior capacidade e velocidade na recuperação da diversidade e atividade biológica do solo (Rubin & Stürmer, 2015).

Em taludes, dependendo de sua inclinação e característica do solo, os processos erosivos podem ser acentuados pela ação da água da chuva e dos ventos. Melo et al. (2013) demonstraram que espécies vegetais rasteiras e de pequeno porte são importantes em processos de revestimento e proteção dos taludes, enquanto espécies arbóreas são importantes contra rupturas. Entretanto, uma série de fatores ambientais, edáficos, climáticos e cartesianos devem ser analisados, pois implicam em técnicas diferenciadas (Lima et al., 2014).

A utilização de microrganismos na recuperação de áreas degradadas representa uma diminuição da utilização de fertilizantes químicos, em função, principalmente, da sua capacidade de fixação, quelação, produção de ácidos orgânicos, sideróforos, hidrofobinas e glomalina, melhorando a biodisponibilidade de nutrientes e estruturação do solo (Rashid et al., 2016). No entanto, é recomendável a utilização de espécies nessas áreas que favoreçam a associação com bactérias fixadoras de nitrogênio (Zhang et al., 2014), o que beneficiaria, também, a formação de propágulos de FMAs (Silva et al., 2014) e glomalina, proteína produzida por esses fungos que contribui para a agregação do solo (Miller & Jastrow, 2000).

Rubin & Stürmer (2015) demonstraram que estudos sobre propágulos de FMAs, os quais envolvem esporos, micélio extra-radicular e pedaços de raízes colonizadas, são importantes em áreas de recuperação, pois, além de serem bons indicadores de qualidade ambiental (Carneiro et al., 2012), facilitam o crescimento das espécies vegetais e atuam, conforme já discutido, na agregação dos solos, fundamentais nas etapas iniciais do processo de revegetação (Melloni et al., 2013).

O conhecimento das relações entre os microrganismos e as plantas, bem como, o fornecimento ou a mobilização de nutrientes em áreas degradadas é fundamental para o sucesso

do projeto de recuperação (Rashid et al., 2016). Em áreas de talude, por se tratar de uma região degradada, a presença de propágulos de FMAs e formação de micorriza podem auxiliar nos processos de revegetação e recuperação. Assim, o objetivo desse trabalho foi caracterizar física e quimicamente seis taludes de corte revegetados naturalmente, em um trecho da rodovia MGC-383, sul de Minas Gerais, em duas profundidades (0-20 e 20-50 cm), relacionando-os com a presença de propágulos de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e sua capacidade de formar micorriza com espécies vegetais naturalmente presentes nesses ambientes.

Material e Métodos

A área de estudo está localizada entre os municípios de Itajubá e Maria da Fé – MG, em um trecho da rodovia MGC-383, que integra o circuito Caminhos do Sul de Minas. A topografia é montanhosa, o clima na classificação de Koppen é Cwb, a temperatura média é de 25 °C e a precipitação pluvial de 1410 mm ano⁻¹, com verões quentes e chuvosos. Foram selecionados seis taludes (Figura 1), em função da cobertura vegetal (revegetação natural), declividade e posição na referida rodovia (Tabela 1). As espécies vegetais representativas dessas áreas são braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.) e capim gordura (*Melinis minutiflora* P. Beauv.), de ocorrência natural.

Cada talude foi subdividido em três seções verticais, compondo as três repetições. Foram retiradas amostras em duas profundidades, A = 0 a 20 cm e B = de 20 a 50 cm, sendo cada amostra composta por três subamostras, totalizando 18 amostras de solo por talude. Para a retirada das amostras de solo, foi utilizada enxada desinfestada com álcool etílico a 70 %, sendo as amostras acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas imediatamente para análises químicas, físicas e microbiológicas.

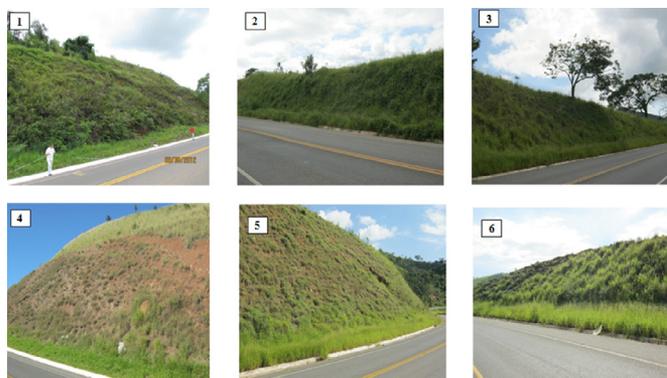


Figura 1. Taludes 1 a 6 definidos para estudo, em um trecho da rodovia MGC-383

Tabela 1. Coordenadas e declividade dos taludes 1 a 6, em um trecho da rodovia MGC-383

Taludes	N/S	E/W	Declividade (%)
1	22° 22' 25,46814"	45° 22' 52,96143"	74,33
2	22° 22' 25,09048"	45° 22' 53,29102"	85,33
3	22° 22' 31,73035"	45° 22' 18,82050"	81,32
4	22° 22' 31,35269"	45° 23' 18,64197"	87,94
5	22° 22' 10,01862"	45° 24' 32,11304"	83,16
6	22° 22' 10,23148"	45° 24' 31,90704"	77,84

Os atributos microbiológicos analisados foram porcentagem (Giovanetti & Mosse, 1980) e intensidade de colonização micorrízica (Bethlenfalvay et al., 1981), comprimento de micélio extra-radicular total do solo (Melloni & Cardoso, 1999), densidade de esporos (Gerdemann & Nicolson, 1963) e diversidade de FMAs pelas descrições morfológicas dos esporos presentes no manual do INVAM (Morton et al., 1993), com cálculo do índice de diversidade de Shannon-Weaver (H').

Com os valores de cada atributo microbiológico obtido nas amostras, aplicou-se estatística descritiva, calculando-se a média aritmética para cada talude e profundidade. Posteriormente, com as médias de todos os atributos analisados, aplicou-se análise multivariada por componentes principais (PCA) por meio do *software* PC-ORD 3.12.

As análises químicas e físicas das amostras do solo encontram-se nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

Resultados e Discussão

Os valores de comprimento do micélio extraradicular total (Tabela 4) podem ser considerados elevados, mas similares aos encontrados por Melloni et al. (2003), em estudos de solos de áreas degradadas por mineração de bauxita quando revegetados com gramíneas, e aos observados por Rubin & Stürmer (2015), em cerca de 40 m g⁻¹ de solo. Esses valores elevados de MET podem ser reflexo do baixo teor de P (Almeida & Sanchez, 2015), nos solos dos taludes estudados (Tabela 2) os quais podem estimular o crescimento micelial, como um mecanismo

para garantir a ocorrência da simbiose (Sharif & Claassen, 2011).

Estudos apontam que o micélio fúngico apresenta relação direta com o desenvolvimento das plantas e o sucesso da revegetação, melhorando a agregação do solo, absorção de nutrientes e de água pelas raízes e contribui para melhorar a resistência das plantas a estresses diversos (Folli-Pereira et al., 2012; Rashid et al., 2016). Essas importantes funções podem ter contribuído para o sucesso da revegetação natural observada na área de estudo.

Pode-se observar, ainda, uma alta densidade de esporos, quando comparado a outros estudos (Melloni et al., 2003; Sarkar et al., 2014), sendo essa característica comum em áreas degradadas justamente pelas condições estressantes a que os agentes microbiológicos são expostos (Sarkar et al., 2014).

Quanto à diversidade desses esporos, observou-se baixa variação e valor (entre 1,0-1,2), o que pode caracterizar uma seleção natural para sobrevivência das espécies nesses ambientes não favoráveis, com domínio de espécies *r* estrategistas, de rápido crescimento e esporulação, e alta capacidade adaptativa (Fontaine et al., 2003).

No presente estudo, foram identificados esporos das espécies *Acaulospora mellea*, *Acaulospora scrobiculata* e *Paraglomus brasilianum* em todos os taludes (Figura 2). No geral, menor densidade de esporos de *P. brasilianum* foi obtida nas amostras, enquanto que *A. mellea* e *A. scrobiculata* representaram mais de 70 % do total obtido. Houve uma semelhança na distribuição dos micro-organismos entre as profundidades e

Tabela 2. Características químicas dos solos nas profundidades A (0-20 cm) e B (20-50 cm) dos taludes estudados. (Médias das 3 seções verticais)

Talude*	pH**	K	P	Ca	Mg	SB	t	T	V	m	M.O. dag kg ⁻¹
		mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³					%		
1A	6,03	159,30	8,90	4,07	1,17	5,64	5,68	8,79	63,90	0,78	4,05
1B	5,97	120,00	4,70	1,57	0,67	2,54	2,71	5,69	43,30	8,49	2,20
2A	4,77	32,00	4,18	0,63	0,17	0,88	1,92	9,72	9,16	56,71	3,33
2B	5,00	114,67	6,99	1,27	0,53	2,09	2,39	7,36	27,80	16,92	3,03
3A	4,87	66,00	3,66	0,43	0,17	0,77	1,87	10,26	7,54	58,80	3,19
3B	4,53	64,67	6,18	1,17	0,43	1,76	2,43	7,09	25,32	29,30	2,24
4A	5,03	36,67	1,23	0,27	0,23	0,59	1,16	3,83	15,85	49,78	1,08
4B	4,80	42,00	1,81	0,33	0,20	0,64	1,34	4,81	14,24	52,18	2,00
5A	4,90	107,33	2,70	0,80	0,53	1,61	1,94	6,68	24,22	16,81	3,01
5B	5,10	52,00	2,10	0,60	0,37	1,10	1,83	6,96	15,72	39,29	2,38
6A	4,73	58,67	2,01	0,30	0,70	1,15	1,88	5,26	22,47	39,07	1,76
6B	4,87	56,67	1,81	0,43	1,27	1,84	2,64	5,64	32,47	32,57	1,83

* Taludes de 1 a 6 e profundidades A (0-20 cm) e B (20-50 cm). ** pH em água, relação 2:1; K e P, extraídos por Mehlich-1; Ca²⁺ e Mg²⁺, extraídos por KCl 1 mol L⁻¹ e M.O.: matéria orgânica do solo, oxidada com dicromato de potássio, em meio ácido

Tabela 3. Composição granulométrica, agregados e classe textural das amostras de solo nas profundidades A (0-20 cm) e B (20-50 cm) dos taludes estudados. (Médias das 3 seções verticais)

Talude	Argila	Areia	Silte	DMG	DMP	Classe textural
	dag kg ⁻¹		mm			
1A	31,1	48,8	20,1	3,4	4,4	Franco argilo arenosa
1B	31,9	49,0	19,1	3,4	4,3	
2A	34,0	52,4	13,6	4,4	4,8	Franco argilo arenosa
2B	31,1	50,8	18,1	1,0	2,6	
3A	41,7	44,5	13,8	3,5	4,5	Argila
3B	47,7	32,7	19,6	1,9	3,8	
4A	29,8	62,0	8,2	0,2	0,5	Franco argilo arenosa
4B	29,6	61,8	8,6	1,0	2,9	
5A	46,9	26,7	26,4	3,3	4,4	Argila
5B	50,5	27,2	22,2	1,0	2,9	
6A	32,9	60,6	6,5	0,7	2,4	Franco argilo arenosa
6B	31,9	60,8	7,3	3,0	4,2	

* Taludes de 1 a 6 e profundidades A (0-20 cm) e B (20-50 cm). Classe textural conforme triângulo textural adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Tabela 4. Médias dos resultados das análises microbiológicas – micélio extrarradiclar total (MET), número de esporos, diversidade de Shannon-Weaver (H') e porcentagem e intensidade de colonização micorrízica nos diferentes taludes e profundidades

Talude* / Profundidade	MET	Densidade de esporos	H'	Colonização micorrízica	Intensidade de colonização micorrízica
	m g ⁻¹ de solo	nº 50 mL solo ⁻¹		%	%
Talude 1 A	32,5	275,7	1,1	69,8	68,9
Talude 1 B	34,2	305,0	1,0	53,0	53,9
Talude 2 A	27,7	815,2	1,2	72,1	73,9
Talude 2 B	28,2	795,0	1,2	71,9	73,9
Talude 3 A	44,9	247,9	1,1	64,4	70,6
Talude 3 B	40,8	223,7	1,1	72,0	74,4
Talude 4 A	45,6	353,8	1,1	63,4	64,4
Talude 4 B	44,6	282,6	1,1	66,1	68,9
Talude 5 A	24,8	432,2	1,1	65,6	70,0
Talude 5 B	22,7	516,6	1,1	68,0	68,9
Talude 6 A	26,7	329,2	1,0	61,9	63,9
Talude 6 B	25,2	336,6	1,0	65,4	66,7

* Taludes de 1 a 6 e profundidades A (0-20 cm) e B (20-50 cm)

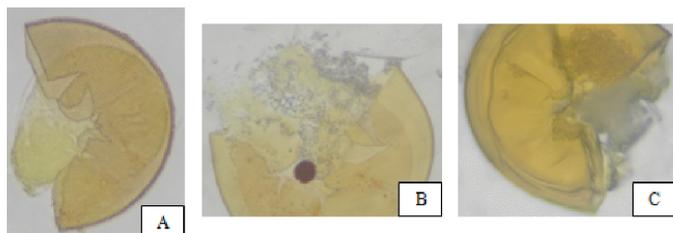


Figura 2. Esporos de fungos micorrízicos arbusculares coletados nas amostras de solo dos taludes estudados. Espécies: A – *Acaulospora scrobiculata*; B – *Acaulospora mellea*; C – *Paraglomus brasilianum*

entre os taludes, concordando com a distribuição visual regular das espécies vegetais entre os taludes (Figura 1).

A dominância das espécies encontradas pode ser atribuída a diversos fatores do ambiente, como características físicas e químicas do solo, características morfofisiológicas das plantas, compatibilidade entre os hospedeiros e as espécies de FMA, dispersão dos fungos, quantidade de espécies descritas, entre outros (Stürmer & Siqueira 2011; Assis et al., 2014). Especificamente para o presente estudo, a condição ácida dos solos (pH entre 4,53 e 6,03, e saturação por Al chegando a 58 %) pode ter sido responsável por essa seleção, concordando com as observações de Correia et al. (2004) em estudos de composição das comunidades de FMAs em áreas de Cerrado. Além disso, a existência de baixa diversidade vegetal (braquiária e capim gordura) pode também ter contribuído para essa baixa diversidade de FMAs (Klironomos et al., 2000), indicando que as áreas ainda estão em processo de estabilização.

Em ambientes com baixa fertilidade, principalmente com baixos valores de P, há um aumento da dependência micorrízica (DM) pelas plantas, podendo chegar a valores de 100 % de DM (Moreira & Siqueira, 2006). Os valores de porcentagem e intensidade de colonização micorrízica situaram-se em torno de 60 a 70 %, demonstrando a presença de plantas com alto grau de colonização e, conseqüentemente, dependentes da associação micorrízica (Figura 3).

O resultado da análise multivariada pode ser visto pelos autovetores (Tabela 5) e Figura 4. Por meio desse, pode-se explicar o comportamento da distribuição dos propágulos e formação de micorriza entre os taludes e profundidades amostradas de solo.

Pela Tabela 5, verifica-se que os atributos químicos (pH, K, P, Ca, Mg, Al, SB, CTC efetiva, V, m e M.O.) tiveram

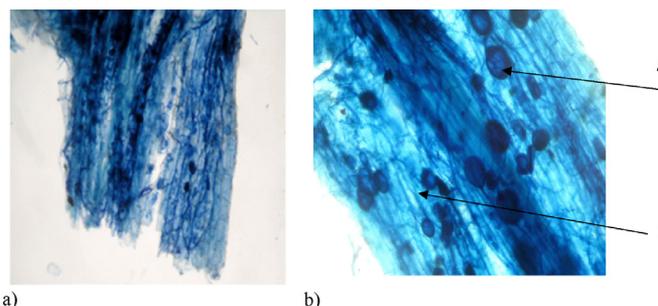


Figura 3. Alta porcentagem de colonização micorrízica de gramíneas amostradas nos taludes estudados (a), evidenciando as estruturas de fungos micorrízicos arbusculares (b): A - vesículas e B - Hifas intrarradiculares

Tabela 5. Autovetores extraídos dos componentes principais (CP)

Autovetor	Componente principal		
	1	2	3
MET	0,101	-0,082	0,244
PCOL	-0,015	0,272	0,264
DIVER	-0,014	0,240	0,392
INTCOL	0,032	0,316	0,211
NESP	0,014	0,223	0,116
pH	-0,256	-0,141	-0,022
K	-0,309	-0,037	-0,028
P	-0,266	0,110	0,219
Ca	-0,310	-0,012	0,141
Mg	-0,212	-0,174	-0,008
Al	0,254	0,165	0,034
H+Al	0,102	0,356	0,013
SB	-0,317	-0,058	0,103
T (CTC efetiva)	-0,306	-0,023	0,133
T2 (CTC pH 7)	-0,114	0,339	0,087
V	-0,299	-0,164	0,043
m	0,293	0,103	0,115
M.O.	-0,221	0,274	0,104
P-Rem	0,113	-0,243	0,241
Argila	0,017	0,222	-0,436
Areia	0,090	-0,227	0,417
Silte	-0,197	0,187	-0,310
DMG	-0,154	0,176	-0,030
DMP	-0,162	0,197	-0,090

MET (micélio extrarradiclar total), PCOL (porcentagem de colonização), DIVER (diversidade de esporos), INTCOL (intensidade de colonização), NESP (número de esporos), DMG (diâmetro médio geométrico), DMP (diâmetro médio ponderado). Valores acima do módulo 0,150 foram sublinhados para fins de orientação somente.

forte relação com o eixo 1 (CP1), os componentes texturais (argila, areia e silte) com o eixo 3 (CP3), os agregados (DMG e DMP) com os eixos 1 e 2, e todos os microbiológicos (MET, colonização micorrízica, número e diversidade de

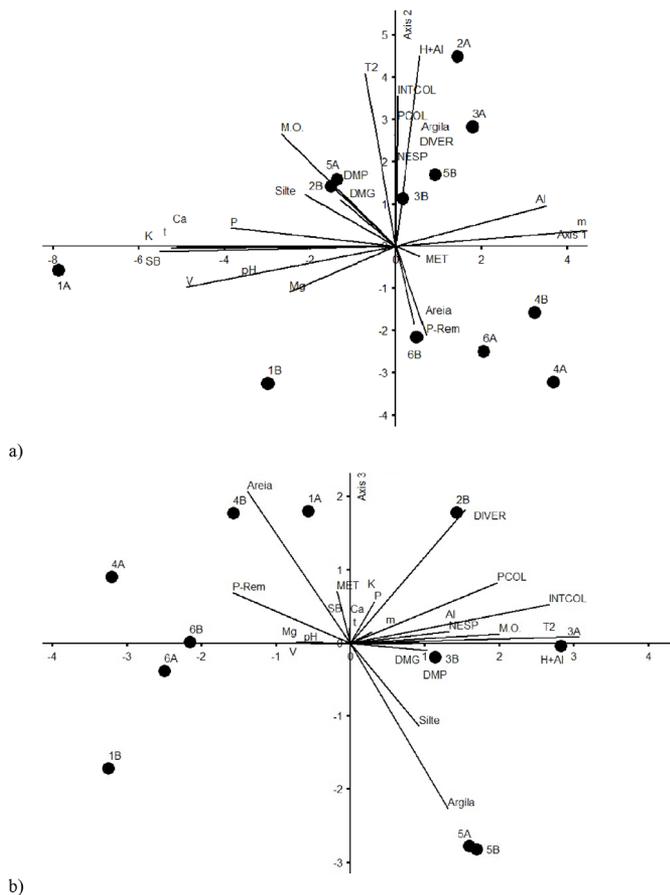


Figura 4. Componentes principais: a) CP1 x CP2 e b) CP2 x CP3 das médias dos atributos químicos, de textura, de diâmetro médio ponderado (DMP) e geométrico (DMG) de agregados e microbiológicos obtidos nas amostras de solo das profundidades A (0-20 cm) e B (20-50 cm), dos seis taludes de estudo. Atributos químicos: pH, MO (matéria orgânica), SB (soma de bases), V (saturação por bases), m (saturação por alumínio), t (CTC efetiva), T2 (CTC a pH 7), teores de Al, P, Ca, K, Mg, P, P-Rem (P remanescente). Atributos microbiológicos: PCOL (porcentagem de colonização), INTCOL (intensidade de colonização), NESP (número de esporos), MET (micélio extrarradicular total), DIVER (diversidade de esporos). Taludes de 1 a 6 e profundidades A (0-20 cm) e B (20-50 cm)

esporos) com os eixos 2 e 3 (CP2 e CP3). Os componentes principais 1, 2 e 3 compuseram 73,9 % da variância total dos dados, sendo o CP1 com 38,1 %, o CP2 com 24,8 % e o CP3 com 10,9 %. Os autovetores apresentados correspondem aos três principais componentes e podem ser considerados como uma medida da relativa importância de cada atributo em relação às componentes principais, sendo os sinais, positivos ou negativos, indicações de relações diretamente e inversamente proporcionais, respectivamente. No caso em questão, os coeficientes dos atributos ou seus pesos acima de 0,1500, independentemente se positivos ou negativos, foram destacados para fins de orientação somente. Dessa forma, foi possível estabelecer a grandeza das relações dos atributos com os eixos dos componentes principais.

Foi observada relação oposta entre fertilidade e atributos microbiológicos, nas profundidades A e B (Figura 1a). Paralelamente, os taludes 2, 3, 4, 5 e 6, apesar de apresentarem melhor qualidade física (Figura 1b), com os maiores valores de DMG e DMP (Tabela 2), apresentaram maior relação com os atributos microbiológicos intensidade e porcentagem de

colonização, número e diversidade de esporos, conforme figura 1a e menor fertilidade nos atributos relacionados ao alumínio do solo (Al, H+Al, m). No entanto, com relação ao MET, houve relação positiva com as amostras de solo dos taludes 4 e 6, e relação inversa com a matéria orgânica (Figura 1a).

Apesar da relação confirmada de hifas de FMAs e glomalina com a agregação e estabilidade da estrutura de solos (Rillig, 2004; Bedini et al., 2009; Rashid et al., 2016), nesse caso, a agregação das amostras de solo esteve relacionada com a matéria orgânica e não com o atributo comprimento de micélio. Esse resultado é importante, pois a agregação dos solos e, diretamente, sua resistência a processos erosivos (Melloni et al., 2013), está fortemente ligada à incorporação de matéria orgânica pela revegetação presente nesses ambientes. Assim, plantas como gramíneas (no caso, braquiária e capim gordura), presentes em todos os taludes avaliados, caracterizados pela baixa fertilidade do solo e suscetibilidade à erosão, possuem alto poder de reciclagem de matéria orgânica e papel importante na agregação desses sistemas e formação de propágulos de FMAs. Nesse sentido, a formação de micorriza nessas condições surge como um meio natural para sobrevivência das plantas e, paralelamente, para o sucesso da revegetação e conservação dos solos de taludes de rodovias.

Conclusões

Propágulos de fungos micorrízicos arbusculares, compostos por esporos e micélio extrarradicular total, estão presentes em todos os taludes, com densidade inversa à fertilidade do solo.

Os taludes de rodovia estudados, revegetados naturalmente, apresentam plantas fortemente micotróficas, com colonização entre 53 e 74 %, e baixa diversidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares, na seguinte ordem decrescente: *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora mellea* e *Paraglomus brasilianum*.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), pelo apoio.

Literatura Citada

- Almeida, R.O.P.O.; Sanchez, L.E. Indicadores da qualidade do substrato para monitoramento de áreas de mineração revegetadas. *Foresta e Ambiente*, v.22, n.2, p.153-163, 2015. <<http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.072714>>.
- Assis, P.C.R.; Saggin-Júnior, O.J.; Paulino, H.B.; Stürmer, S.L.; Siqueira, J.O.; Carneiro, M.A.C. Fungos micorrízicos arbusculares em campos de murundus após a conversão para sistemas agrícolas no cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, n.6, p.1703-1711, 2014. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000600005>>.
- Azevedo, I.C.D.; Marques, E.A.G. Introdução à mecânica das rochas. Viçosa: UFV, 2006. 363p.

- Bedini, S.; Pellegrino, E.; Avio, L.; Pellegrini, S.; Bazzoffi, P.; Argeese, E.; Giovannetti, M. Changes in soil aggregation and glomalin-related soil protein content as affected by the arbuscular mycorrhizal fungal species *Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*. *Soil Biology and Biochemistry*, v.41, n.7, p.1491-1496, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.04.005>>.
- Bethlenfalvay, G.J.; Pacovsky, R. S.; Brown, M. S. Measurement of mycorrhizal infection in soybeans. *Science Society of American Journal*, v.45, n.5, p.871-875, 1981. <<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1981.03615995004500050009x>>.
- Cardoso, E.L.; Silva, M.L.N.; Moreira, F.M.S.; Curi, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, n.6, p.631-637, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009000600012>>.
- Carneiro, R.F.V.; Junior, F.M.C.; Pereira, L.F.; Araújo, A.S.F.; Silva, G.A. Fungos micorrízicos arbusculares como indicadores da recuperação de áreas degradadas no Nordeste do Brasil. *Revista Ciência Agronômica*, v.43, n.4, p.648-657, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902012000400005>>.
- Correia, C.R.M.A.; Reatto, A.; Martins, E.S.; Silva, E.M.; Caldas, L.S.; Fagg, J.F. Micorriza Arbuscular: Um bioindicador da fertilidade dos solos e da distribuição de árvores no Bioma Cerrado. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 169p. (Boletim de Desenvolvimento de Pesquisa, 132). <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/569103/micorriza-arbuscular-um-bioindicador-da-fertilidade-dos-solos-e-da-distribuicao-de-arvores-no-bioma-cerrado>>. 11 Nov. 2015.
- Folli-Pereira, M.S.; Meira-Haddad, L.S.; Bazzolli, D.M.S.; Kasuya, M.C.M. Micorriza arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v.36, n.6, p.1663-1679, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000600001>>.
- Fontaine, S.; Mariotti, A.; Abbadie, L. The priming effect of organic matter: a question of microbial competition? *Soil Biology and Biochemistry*, v.35, n.6, p.837-843, 2003. <[http://dx.doi.org/10.1016/S0038-0717\(03\)00123-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0038-0717(03)00123-8)>.
- Gerdemann, J.W.; Nicolson, T.H. Spores of mycorrhizas endogamous species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transaction of the British Mycological Society*, v.46, n.2, p.235-244, 1963. <[http://dx.doi.org/10.1016/S0007-1536\(63\)80079-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0)>.
- Giovanetti, M.; Mosse, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytology*, v.84, n.3, p.489-500, 1980. <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x>>.
- Klironomos, J.N.; McCune, J.; Hart, M.; Neville, J. The influence of arbuscular mycorrhizae on the relationship between plant diversity and productivity. *Ecology Letters*. v.3, n.2, p.137-141, 2000. <<http://dx.doi.org/10.1046/j.1461-0248.2000.00131.x>>.
- Lima, A.P.L.; Damato, J.; Souza, C.M. Avaliação de um consórcio gramínea-leguminosa na revegetação de um talude e sua influência na temperatura e umidade do solo. *Revista Verde*, v.9, n.1, p.249-253, 2014. <<http://oaji.net/articles/2015/2238-1440851037.pdf>>. 12 Nov. 2015.
- Melloni, R.; Cardoso, E.J.B.N. Quantificação de micélio extrarradicular de fungos micorrízicos arbusculares em plantas cítricas. I. Método empregado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, n.1, p.53-58, 1999. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831999000100007>>.
- Melloni, R.; Melloni, E.G.P.; Alvarenga, M.I.N.; Vieira, F.B.M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.6, p.2461-2470, 2008. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000600023>>.
- Melloni, R.; Melloni, E.G.P.; Vieira, L.L. Uso da terra e a qualidade microbiana de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v.37, n.6, p.1678-1688, 2013. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000600024>>.
- Melloni, R.; Siqueira, J.O.; Moreira, F.M.S. Fungos micorrízicos arbusculares em solos de área de mineração de bauxita em reabilitação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.38, n.2, p.267-276, 2003. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2003000200014>>.
- Melo, F.L.; Simão, J.B.P.; Caiado, M.A.C.; Rangel, O.J.P. Vegetação como instrumento de proteção e recuperação de taludes. *Revista Verde*, v.8, n.5, p.116-124, 2013. <<http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/1991>>. 12 Nov. 2015.
- Miller, R.M.; Jastrow, J.D. Mycorrhizal fungi influence soil structure. In: Kapulnik, Y.; Douds Jr., D.D. (Ed.). *Arbuscular mycorrhizas: physiology and function*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000. p.3-18. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-0776-3_1>.
- Moreira, F.M.S.; Siqueira, J.O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2.ed. Lavras: Universidade Federal Lavras, 2006. 729p.
- Morton, J.B. Problems and solutions for the integration of glomaleon taxonomy, systematic biology and the study of endomycorrhizal phenomena. *Mycorrhiza*, v.2, n.3, p.97-109, 1993. <<http://dx.doi.org/10.1007/BF00203855>>. 05 Nov. 2015.
- Nadeem, S.M.; Ahmad, M.; Zahir, Z.A.; Javaid, A.; Ashraf, M. The role of mycorrhizae and plant growth promoting bacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnology Advances*, v.32, n.2, p.429-448, 2014. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.12.005>>.
- Rashid, M.I.; Mujawar, L.H.; Shahzad, T.; Almeelbi, T.; Ismail, I.M.I.; Oves, M. Bacteria and fungi can contribute to nutrients bioavailability and aggregate formation in degraded soil. *Microbiological Research*, v.183, p.24-41, 2016. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.micres.2015.11.007>>.
- Rillig, M.C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin and soil quality. *Canadian Journal of Soil Science*, v.84, n.4, p.355-363, 2004. <<http://dx.doi.org/10.4141/S04-003>>.

- Rubin, J.G.J.; Stürmer, S.L. Potencial de inóculo micorrízico e importância do comprimento do micélio para a agregação de solos de ambiente fluvial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.39, n.1, p.56-68, 2015. <<http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbcs20150466>>.
- Sarkar, U.; Choudhary, B.K.; Sharma, B.K. Vascular arbuscular mycorrhizal (VAM) spore diversity and density across the soil of degraded forest and rubber plantation in Tripura, India. *American Eurasian Journal Agriculture and Environmental Sciences*, v.14, n.10, p.1080-1088, 2014. <<http://dx.doi.org/10.5829/idosi.aejaes.2014.14.10.12432>>.
- Sharif, M.; Claassen, N. Action mechanisms of arbuscular mycorrhizal fungi in phosphorus uptake by *Capsicum annum* L. *Pedosphere*, v.21, n.4, p.502-511, 2011. <[http://dx.doi.org/10.1016/S1002-0160\(11\)60152-5](http://dx.doi.org/10.1016/S1002-0160(11)60152-5)>.
- Silva, C.F.; Araújo, J.L.S.; Silva, E.M.R.; Pereira, M.G.; Schiavo, J.A.; Freitas, M.S. M.; Saggin-Junior, O.J.; Martin, M.A. Comunidade de fungos micorrízicos arbusculares: Diversidade, composição e glomalina em áreas revegetadas com sesbania. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, n.2, p.423-431, 2014. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000200007>>.
- Stürmer, S.L.; Siqueira, J.O. Species richness and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi across distinct land uses in Western Brazilian Amazon. *Mycorrhiza*, v.21, n.4, p.255-267, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1007/s00572-010-0330-6>>.
- Zhang, Y.; Cao, C.; Peng, M.; Xu, X.; Xiang, P.; Yu, Q.; Sun, T. Diversity of nitrogen-fixing, ammonia-oxidizing, and denitrifying bacteria in biological soil crust of a revegetation area in Horqin Sandy Land, Northeast China. *Ecological Engineering*, v.71, p.71-79, 2014. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.07.032>>.