



## Fungos micorrízicos e agregação de um Latossolo Vermelho sob sequências de culturas em sistema de semeadura direta.

**Adolfo Valente Marcelo<sup>(1)</sup>; Carolina Fernandes<sup>(2)</sup>; Priscila Viviane Truber<sup>(3)</sup>, José Eduardo Corá<sup>(2)</sup>**

<sup>(1)</sup> Professor Doutor de Agronomia; Centro Universitário de Rio Preto (UNIRP), São José do Rio Preto, São Paulo; E-mail: adolfovalente@yahoo.com.br. <sup>(2)</sup> Professora Assistente Doutora do Departamento de Solos e Adubos; UNESP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Câmpus de Jaboticabal; Jaboticabal, São Paulo; E-mail: carol@fcav.unesp.br; <sup>(3)</sup> Bióloga, Mestre em Agronomia (Ciência do Solo); E-mail: priscilaviviane@gmail.com. <sup>(4)</sup> Professor Adjunto do Departamento de Solos e Adubos; UNESP/Jaboticabal; Jaboticabal, São Paulo; E-mail: cora@fcav.unesp.br.

**RESUMO:** A atividade biológica pode incrementar a agregação do solo dependendo da sequência de culturas em semeadura direta (SSD). O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de sequências de culturas na comunidade dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) na agregação de um Latossolo Vermelho cultivado por nove anos sob SSD. Os tratamentos constituíram-se da combinação de três sequências de culturas de verão com sete culturas de entressafra, totalizando 21 parcelas por bloco experimental. As sequências de culturas de verão foram: monocultura de milho (MM), monocultura de soja (SS), e rotação soja-milho (SM). As culturas de entressafra foram: milho, sorgo granífero, girassol, crotalária, guandu, nabo forrageiro e milheto, semeadas em fevereiro-março, repetindo-se a cada ano agrícola, a mesma cultura de entressafra na mesma parcela. Nove anos após ciclos de verão e de entressafra na área experimental (Outubro de 2011), amostras de solo foram coletadas na camada de 0-0,10 m, para estudos de comprimento de micélio externo total (CMET), números de esporos (ESP) e quantidades de glomalina facilmente extraída (GFE) e de glomalina total (GT), como atributos biológicos do solo, e índice de estabilidade de agregados (IEA) e diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP), como atributos da agregação do solo. O cultivo de milho no verão favorece o aumento do comprimento do micélio externo total no solo e do número de esporos, proporciona maior produção da glomalina total e incrementa a agregação do solo. A gramínea milheto cultivada na entressafra favorece o aumento do comprimento do micélio externo total no solo.

**Termos de indexação:** hifas, esporos, glomalina.

### INTRODUÇÃO

As melhorias proporcionadas pelo sistema de semeadura direta (SSD) favorecem à maior atividade dos microrganismos do solo, como a

comunidade dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), organismos biotróficos obrigatórios, que por simbiose mutualística, expandem a ação do sistema radicular das plantas, proporcionando maior absorção de água e de nutrientes (Silva et al., 2004). A presença de plantas com dependência micorrízica estimula o estabelecimento desses fungos no solo (Miranda & Miranda, 2000) e estes fungos podem favorecer os processos de agregação dos solos por ação dos micélios dos FMAs que envolvem as partículas de solo, proporcionando maior estabilidade aos agregados do solo (Rillig & Mummey, 2006). Ainda, as hifas dos FMAs podem envolver as partículas unitárias de solo, possibilitando a formação de novos agregados no solo (Caravaca et al., 2002). Outro benefício da presença dos FMAs no solo está ligado à formação e estabilização dos agregados do solo, que se dão por meio da ação química de uma glicoproteína produzida pelos fungos, a glomalina (Rillig & Mummey, 2006), considerada uma molécula que atua na estabilização dos agregados do solo, pelas suas propriedades cimentantes (Purin et al., 2006).

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito prolongado de sequências de culturas na comunidade dos FMAs na agregação de um Latossolo Vermelho cultivado por nove anos sob SSD.

### MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental é localizada em Jaboticabal, SP, com altitude local é de 595 m, com latitude de 21°15'22' S e longitude 48°18'58" W. O solo é Latossolo Vermelho eutrófico, textura argilosa, relevo suave ondulado. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, com precipitação pluvial média anual de 1425 mm, concentrada no período de outubro a março, com temperatura média anual de 22 °C e umidade relativa do ar de 70%.

Em setembro de 2002, foi implantado um



experimento em SSD visando avaliar o efeito de seqüências de culturas nos atributos do solo, com delineamento experimental em faixas, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de três seqüências de culturas de verão com sete culturas de inverno, totalizando 21 parcelas por bloco experimental. As seqüências de culturas de verão foram: monocultura de milho (*Zea mays* L.) (MM); monocultura de soja (*Glycine max* L. Merrill) (SS); e rotação soja-milho (SM), com cultivos intercalados de soja e milho ano a ano. As culturas de inverno foram: milho, sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), girassol (*Helianthus annuus* L.), crotalária (*Crotalaria juncea* L.), guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e milheto (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke), semeadas em fevereiro-março (safrinha), repetindo-se a cada ano a mesma cultura nos locais. Milho, sorgo e girassol, cultivados no inverno, foram conduzidos até a colheita dos grãos, enquanto que crotalária, guandu, nabo forrageiro e milheto foram roçados por ocasião do pleno florescimento. A área útil da parcela experimental correspondeu a 200 m<sup>2</sup>. Em outubro de 2011, antecedendo a semeadura das culturas de verão do ano agrícola 2011/2012, com auxílio de enxadão, amostras deformadas de solo foram coletadas em três pontos por parcela, na camada de 0-10 cm. Nas amostras, foram determinados: comprimento do micélio externo total (CMET) (Melloni & Cardoso, 1999; Newman, 1966); número de esporos dos FMAs (ESP) por meio da técnica de peneiramento úmido (Colozzi Filho & Balota, 1994); quantidades de glomalina facilmente extraível (GFE) e de glomalina total (GT) (Rillig et al., 2003; Bradford, 1976); índice de estabilidade de agregados (IEA) e diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo (Nimmo & Perkins, 2002).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (Teste F), seguindo o delineamento em faixas, com três repetições. A comparação das médias foi realizada por meio do teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os maiores valores de CMET foram encontrados nos solos cultivados com a monocultura milho (MM) no verão e milho ou milheto na entressafra e com a rotação soja/milho (SM) no verão e milheto na entressafra (**Tabela 1**). O menor CMET foi

observado quando se utilizou a rotação SM no verão e crotalária na entressafra. (**Tabela 1**).

**Tabela 1** - Comprimento de micélio externo total (CMET, em m g<sup>-1</sup> solo), na camada 0,0-0,1 m de profundidade em função das seqüências de culturas de verão e das culturas de entressafra, após o cultivo das culturas de entressafra, nove anos após a implantação do sistema de semeadura direta.

Culturas de entressafra	Seqüências de verão <sup>(1)</sup>		
	(SM)	(MM)	(SS)
Milho	4,04 Cc	6,57 Aa	5,51 Ab
Girassol	3,51 CDb	4,7: Ba	3,19 CDb
Nabo	5,49 ABa	3,61 BCDb	2,26 Dc
Milheto	5,84 Aa	6,67 Aa	3,83 BCb
Guandu	2,42 DEb	2,51 Db	4,49 ABa
Sorgo	4,43 BCa	4,0: BCa	4,82 Aba
Crotalária	1,86 Eb	3,11 CDa	2,82 CDa

<sup>(1)</sup>: SM: rotação soja/milho; MM: monocultura de milho; SS: monocultura de soja no verão. Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na coluna e minúscula na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Esses resultados evidenciam que as gramíneas (milho e milheto) favoreceram o aumento do CMET no solo. Tal fato é relacionado à maior abundância do sistema radicular e pela presença de grandes quantidades de raízes finas nessas culturas, que possibilitam mais facilmente a colonização dessas raízes pelas hifas dos fungos, expandindo a área de exploração radicular (Borie et al., 2006).

Observou-se maior número de esporos (ESP) no solo cultivado com a monocultura milho (MM) do que com a rotação soja/milho (SM) e valor intermediário na monocultura soja (SS), independentemente da cultura de entressafra utilizada (**Tabela 2**). Esses resultados reafirmam a maior eficiência da gramínea (milho) na multiplicação dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), quando comparada à leguminosa (soja), relacionada ao maior volume de raízes e de solo explorado pelo milho, o qual possui sistema radicular fasciculado. No caso da soja, cujo sistema radicular é pivotante, a menor oferta de raízes aos fungos micorrízicos resulta no menor desenvolvimento dos fungos e, conseqüentemente, na menor quantidade de esporos no solo.

As seqüências de culturas não influenciaram a quantidade de glomalina facilmente extraível (GFE) determinada na camada 0-0,1 m do solo (**Tabela 2**). Porém, observou-se que a monocultura de milho no verão (MM) proporcionou maior



produção da glomalina total (GT) entre as culturas de verão. As diferenças nos valores da GT observadas nesse experimento foram decorrentes das quantidades de proteínas presentes nos agregados do solo como um todo (GT), e não somente em sua superfície, como é o caso da avaliação da GFE.

**Tabela 2** – Comprimento de micélio externo total (CMET), número de esporos (ESP) e quantidades de glomalina facilmente extraível (GFE) e de glomalina total (GT) na camada 0-0,1 m de profundidade, após o cultivo das culturas de entressafra, nove anos após a implantação do sistema de semeadura direta.

Fontes de variação	CMET m g <sup>-1</sup>	ESP nº/50 ml	GFE mg g <sup>-1</sup>	GT
Sequências verão (V) <sup>(1)</sup>				
(SM)	3,94	1,95 b	1,03	3,23 b
(MM)	4,47	3,38 a	1,09	3,77 a
(SS)	3,85	2,00 ab	1,04	3,44 b
Teste F	9,18*	8,52*	0,41 <sup>NS</sup>	16,8*
CV (%)	12,4	33,2	20,1	8,72
Culturas de entressafra (E)				
Milho	5,37	2,56	1,04	3,46
Girassol	3,81	3,11	1,02	3,30
Nabo	3,78	2,11	1,03	3,33
Milheto	5,45	1,89	1,07	3,64
Guandu	3,14	1,78	1,07	3,55
Sorgo	4,45	4,00	1,06	3,57
Crotalária	2,60	1,67	1,07	2,51
Teste F	38,1**	2,40 <sup>NS</sup>	0,96 <sup>NS</sup>	2,53 <sup>NS</sup>
CV (%)	12,4	33,2	20,1	8,72
F (V x E)	25,6**	1,63 <sup>NS</sup>	0,77 <sup>NS</sup>	1,13 <sup>NS</sup>
CV (%)	9,79	31,3	8,20	5,76

<sup>(1)</sup>: SM: rotação soja/milho; MM: monocultura de milho; SS: monocultura de soja no verão. NS = não significativo, \* = significativo a 5 % e \*\* = significativo a 1 %. Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Uma vez que na rotação SM a cultura de verão que antecedeu a amostragem do solo também foi o milho, os valores da GT foram menores que àqueles observados na sequência MM. Este fato indica que a utilização da gramínea em monocultivo favorece a maior produção da glomalina, comparando-se à gramínea em rotação com leguminosa, evidenciando efeito cumulativo ao longo dos anos de cultivo.

As sequências de culturas não influenciaram os valores de IEA (**Tabela 3**). Entretanto, observaram-se maiores valores de DMP do solo sob a monocultura MM e a rotação SM. Esses resultados demonstram o efeito positivo do sistema radicular da cultura do milho na agregação do solo, lembrando-

se que na rotação SM, o milho foi a cultura de verão que antecedeu a amostragem do solo. O papel das raízes na formação dos agregados, especialmente das gramíneas, têm-se mostrado muito importante.

**Tabela 3** - Índice de estabilidade de agregados do solo (IEA) e diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados, na camada 0,0-0,1 m de profundidade, após o cultivo das culturas de entressafra, nove anos após a implantação do sistema de semeadura direta.

Fontes de variação <sup>(1)</sup>	IEA %	DMP mm
Sequências de verão (V)		
SM	60,38	3,78 a
MM	63,09	3,70 a
SS	59,76	3,15 b
Teste F	3,64 <sup>NS</sup>	27,5 **
CV (%)	6,97	8,40
Culturas de entressafra (E)		
Milho	61,00	3,52 ab
Girassol	61,55	3,59 ab
Nabo	58,77	3,42 ab
Milheto	61,66	3,57 ab
Guandu	60,88	3,25 b
Sorgo	62,44	3,96 a
Crotalária	61,22	3,50 ab
Teste F	0,41 <sup>NS</sup>	2,46 <sup>NS</sup>
CV (%)	8,72	11,7
F (V x E)	0,87 <sup>NS</sup>	1,27 <sup>NS</sup>
CV (%)	6,88	9,00

<sup>(1)</sup>: SM: rotação soja/milho; MM: monocultura de milho; SS: monocultura de soja no verão. NS = não significativo, \* = significativo a 5 % e \*\* = significativo a 1 %. Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Esses efeitos benéficos podem ser atribuídos ao seu sistema radicular, que pode atuar promovendo a aproximação das partículas de solo, às renovações do sistema radicular e a distribuição dos exsudatos, que estimulam a atividade microbiana, cujos subprodutos afetam a formação e a estabilização dos agregados (Silva & Mielniczuk, 1997). Quanto às culturas de entressafra, o sorgo foi aquela que proporcionou a formação de agregados com maior DMP e o guandu com menor DMP (**Tabela 3**). Apesar de serem avaliadas diferentes culturas de entressafra, a utilização do sistema de semeadura direta proporcionou o mesmo manejo físico durante os anos agrícolas, inclusive, com o mesmo número de operações no campo, o que explica a pequena variação entre os valores de DMP (de 3,25 a 3,96 mm). Porém, esses valores encontrados nas parcelas cultivadas na

entressafra com guandu (DMP = 3,25 mm) e sorgo (DMP = 3,96 mm) decorreram, provavelmente, das diferenças de utilização das culturas de entressafra, com fins de adubação verde para o guandu e de produção de grãos para o sorgo. Para o guandu, a cultura foi triturada por ocasião do pleno florescimento, em que na região em questão, esse estágio é atingido em cerca de 50-60 dias após a semeadura. Para o sorgo, cujos resíduos foram triturados após a colheita dos grãos, a maturação fisiológica e a colheita ocorrem cerca de 110 dias após a semeadura. Consequentemente, após nove anos de ciclo dessas culturas na entressafra, a maior permanência das plantas de sorgo em desenvolvimento no campo favoreceu a formação de agregados maiores no solo, quando comparadas ao guandu.

Embora nesse experimento não tenham sido observadas diferenças significativas nos valores de IEA, sabe-se que as hifas fúngicas podem melhorar a estabilidade de agregados pela reorientação das partículas de argila devido à ligação dessas partículas com polissacarídeos extracelulares (Wang et al., 2010). Segundo Bronick e Lal (2005), as hifas enredam microagregados para formar macroagregados, sugerindo que o aumento da agregação ocorre com o aumento da densidade de hifas no solo (Wang et al., 2010).

### CONCLUSÕES

A cultura milho no verão favorece maiores comprimentos do micélio externo total no solo e do número de esporos, proporciona maior produção da glomalina total e incrementa a agregação do solo.

O cultivo de milheto na entressafra favorece maiores valores no comprimento do micélio externo total no solo.

### REFERÊNCIAS

- BORIE, F.; RUBIO, R.; ROUANET, J. L.; MORALES, A.; BORIE, G. & ROJAS. Effect of tillage systems on soil characteristics, glomalin and mycorrhizal propagules in a Chilean Ultisol. *Soil Till. Res.*, 88: 253-261, 2006.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.*, 72: 248-254, 1976.
- BRONICK, C. J. & LAL, R. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124: 3-22, 2005.
- CARAVACA, F.; HERNÁNDEZ, T.; GARCÍA, C. & ROLDÁN, A. Improvement of rhizosphere aggregate stability of afforested semiarid plant species subjected to mycorrhizal inoculation and compost addition. *Geoderma*, 108: 133-144, 2002.
- COLOZZI FILHO, A. & BALOTA, E. Micorrizas arbusculares. In: HUNGRIA, M. & ARAÚJO, R.S., eds. Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. p.383-418.
- MELLONI, R. & CARDOSO, E. J. B. N. Quantificação de micélio extrarradicular de fungos micorrízicos arbusculares em plantas cítricas e endófitos. I. Método empregado. *R. Bras. Ci. Solo*, 23: 53-58, 1999.
- MIRANDA, J. C. C. & MIRANDA, L. N. Micorriza arbuscular. In: VARGAS, M. A. & HUNGRIA, M., eds. Biologia dos Cerrados. Brasília: Embrapa-CPAC, 1997. p.69-123.
- NEWMAN, E. I. A method for estimating the total length of root in a sample. *J. Appl. Ecol.*, 3: 139-145, 1966.
- NIMMO, J. R. & PERKINS, K. S. Aggregate stability and size distribution. In: DANE, J. H. & TOPP, G. C., eds. Methods of soil analysis. Part 4. Madison, Soil Science Society of America, 2002. p.317-328. (SSSA Book Series, 5)
- NOGUEIRA, M. A. & CARDOSO, E. J. B. N. Produção de micélio externo por fungos micorrízicos arbusculares e crescimento da soja em função de doses de fósforo. *R. Bras. Ci. Solo*, 24: 329-338, 2000.
- PURIN, S.; KLAUBERG FILHO, O. & STÜRMER, S. L. Mycorrhizae activity and diversity in conventional and organic apple orchards from Brazil. *Soil Biol. Biochem.*, 38: 1831-1839, 2006.
- RILLIG, M. C. & MUMMEY, D. L. Mycorrhizas and soil structure. *New Phytol.*, 171: 41-56, 2006.
- RILLIG, M. C.; RAMSEY, P. W.; MORRIS, S. & PAUL, E. A. Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal soil protein, responds to land-use change. *Plant Soil*, 253: 293-299, 2003.
- SILVA, I. F. & MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de planta na formação e estabilização de agregados do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 21: 113-117, 1997.
- SILVA, M. A.; CAVALCANTE, U. M. T.; SILVA, F.S.B.; SOARES, S. A. G. & MAIA, L. C. Crescimento de mudas de maracujazeiro-doce (*Passiflora alata* Curtis) associados a fungos micorrízicos arbusculares (Glomeromycota). *Acta Bot. Bras.*, 18: 981-985, 2004.
- WANG, Y.; XU, J.; SHEN, J.; LUO, Y.; SCHEU, S. & KE, X. Tillage, residue burning and crop rotation alter soil fungal community and water-stable aggregation in arable fields. *Soil Till. Res.*, 107: 71-79, 2011.