

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**AGREGAÇÃO DO SOLO E OCORRÊNCIA DE FUNGOS
MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM SISTEMAS DE
ROTAÇÃO DE CULTURAS**

Priscila Viviane Truber

Bióloga

2013

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**AGREGAÇÃO DO SOLO E OCORRÊNCIA DE FUNGOS
MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM SISTEMAS DE
ROTAÇÃO DE CULTURAS**

Priscila Viviane Truber

Orientadora: Profa. Dra. Carolina Fernandes

**Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp,
Campus de Jaboticabal, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Mestre em Agronomia (Ciência do Solo)**

2013

T865a Truber, Priscila Viviane
Agregação do solo e ocorrência de fungos micorrízicos
arbusculares em sistemas de rotação de culturas / Priscila Viviane
Truber. -- Jaboticabal, 2013
iii, 75 f. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013
Orientadora: Carolina Fernandes
Banca examinadora: Maria Helena Moraes, José Eduardo Corá
Bibliografia

1. Agregação do solo. 2. Glomalina. 3. Sistema de semeadura
direta. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias.

CDU 631.425

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da
Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de
Jaboticabal.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: AGREGAÇÃO DO SOLO E OCORRÊNCIA DE FUNGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES EM SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS

AUTORA: PRISCILA VIVIANE TRUBER

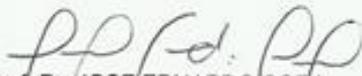
ORIENTADORA: Profa. Dra. CAROLINA FERNANDES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA
(CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:



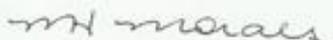
Profa. Dra. CAROLINA FERNANDES

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



Prof. Dr. JOSE EDUARDO CORA

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



Profa. Dra. MARIA HELENA MORAES

Departamento de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu

Data da realização: 28 de fevereiro de 2013.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

PRISCILA VIVIANE TRUBER – Nascida dia 11 de abril de 1987, na cidade de Rolim de Moura, RO, cursou o ensino médio no Colégio José Ferreira de Mello, em São Jerônimo da Serra, PR, no período de 2002 a 2004. Em março de 2006, ingressou no curso de Graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual do Norte do Paraná – UENP, Campus de Cornélio Procópio. Foi bolsista de iniciação científica pelo programa PIBIC/CNPq de fevereiro de 2008 a julho de 2009. Em fevereiro de 2010, graduou-se Licenciada em Ciências Biológicas. No período de junho de 2010 a março de 2011 trabalhou como Bióloga na empresa Instituto Agrônômico do Paraná – IAPAR. Em março de 2011, iniciou o curso de mestrado na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Jaboticabal, SP, em que foi bolsista CNPq. Em fevereiro de 2013, submeteu-se à banca de avaliação da dissertação de mestrado e foi aprovada como Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

“Deus me conceda falar com propriedade e pensar de forma correspondente aos dons que me foram dados, porque ele é o guia da sabedoria e o orientador dos sábios.”

Sabedoria, 7: 15

*Aos meus pais, **Magali e Euzébio**, como pequeno gesto de retribuição ao amor e dedicação que sempre tiveram e têm para comigo.*

Dedico.

*Ao meu namorado **Luis**, pela compreensão, amor, apoio, incentivo, carinho e companheirismo durante esta jornada.*

Ofereço.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar forças para lutar pelos meus ideais, pelas bênçãos que recebi e por guiar meus caminhos com discernimento e sabedoria ao longo de mais esta etapa.

Aos meus pais, Magali e Euzébio, que tanto amo, pela base familiar, amor, confiança, educação e pelo imenso incentivo dedicados, diante os obstáculos enfrentados e das conquistas alcançadas.

Aos meus irmãos, Giuliano e Alyne, pelo carinho.

Ao meu namorado Luis, que se fez presente em todos os momentos dessa jornada. Dando-me apoio, carinho, conforto, compartilhando dos meus momentos difíceis e de minhas vitórias. Sei que não foi fácil. *Amor muito obrigado de coração!!!*

À Elisa, por ter sido minha segunda mãe, pela amizade, ensinamentos e conselhos.

Aos meus familiares: avós, tios e primos que torcem e rezam por mim.

À minha orientadora Profa. Dra. Carolina Fernandes, pelos ensinamentos, pela amizade e pelos valiosos conselhos, à ela minha admiração.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) pela excelente formação e pela estrutura oferecida para a realização do curso de mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

A Paulo Rodrigues por ter cedido as duas áreas agrícolas e a infra-estrutura necessária para a condução dos experimentos com cana-de-açúcar.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo apoio financeiro utilizado para a implantação do experimento com cana-de-açúcar.

À Fundação para o Desenvolvimento da Unesp – FUNDUNESP, pelo apoio financeiro necessário para a compra dos materiais utilizados nas análises deste trabalho.

À PROPe – UNESP, pelo apoio financeiro necessário para a compra de materiais utilizados nas análises laboratoriais.

Ao professor José Eduardo Corá, por ter cedido a área do seu experimento, proporcionando condições para que uma parte desse trabalho fosse realizada.

Ao professor Ely Nahas e professora Fabíola Vitti Moro, por ter cedido o laboratório para a realização de algumas de minhas análises biológicas.

Ao professor José Carlos Barbosa, por todos os esclarecimentos quanto aos procedimentos estatísticos das análises dos dados do presente trabalho.

Ao amigo Roniram, pela imensa ajuda nas análises realizadas e pela amizade.

Ao Tiago Fieno, pelo auxílio durante a condução dos experimentos, pela ajuda nas coletas e nos ensinamentos de laboratório.

Aos estagiários que me auxiliaram em algumas análises, Juliana Decina e Ícaro Schiavon.

Ao Adolfo Valente Marcelo pela ajuda com as análises estatísticas.

Aos funcionários do Departamento de Solos e Adubos, Célia, Maria Inês, Luís, Dejair, Claudia, Ademir, Gomes e Anderson.

Ao Marcelo e aos funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção da Faculdade de Ciências Agrária e Veterinárias - FCAV, pelo auxílio durante a condução e coleta dos experimentos que resultou o presente estudo.

Aos funcionários da seção de Pós-Graduação e da Biblioteca da Unesp – Campus de Jaboticabal, pelo atendimento e auxílio.

A todos os meus amigos pessoais, que sempre estiveram ao meu lado.

Enfim, a todos, que de alguma forma, contribuíram para que esse acontecimento se concretizasse.

MUITO OBRIGADO!!!

SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
INTRODUÇÃO.....	1
REVISÃO DE LITERATURA	3
REFERÊNCIAS.....	13
CAPÍTULO 2 - FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E ESTABILIDADE DE AGREGADOS DECORRENTES DO USO DE DIFERENTES CULTURAS	20
RESUMO	20
SUMMARY.....	21
INTRODUÇÃO.....	21
MATERIAL E MÉTODOS	23
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
CONCLUSÕES.....	32
LITERATURA CITADA.....	32
CAPÍTULO 3 - ATRIBUTOS FÍSICOS E FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB SEQUÊNCIAS DE CULTURAS EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA	42
RESUMO	42
SUMMARY.....	43
INTRODUÇÃO.....	43
MATERIAL E MÉTODOS	45
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
CONCLUSÕES.....	53
LITERATURA CITADA.....	54
CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62

AGREGAÇÃO DO SOLO E OCORRÊNCIA DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS

RESUMO – O manejo adequado das atividades agrícolas pode levar a melhorias nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, com redução da degradação do solo e do meio ambiente. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da utilização de diferentes culturas nos atributos físicos do solo e na comunidade dos fungos micorrízicos arbusculares, em dois experimentos de longa duração, denominados experimento 1 e experimento 2. Os dois experimentos vêm sendo conduzidos em áreas localizadas no município de Jaboticabal, estado de São Paulo. O experimento 1 foi instalado em duas áreas com solos distintos, em outubro de 2008, visando avaliar o efeito da utilização de diferentes culturas no período de reforma do canavial. Os solos dessas áreas caracterizam diferentes ambientes de produção para a cana-de-açúcar, Latossolo Vermelho eutroférico textura muito argilosa, e Latossolo Vermelho ácrico textura argilosa. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram os cultivos de: soja, soja/pousio/soja, soja/milheto/soja e soja/crotalária/soja. O experimento 2 foi instalado em setembro de 2002, sob delineamento experimental em blocos casualizados com três repetições e esquema em faixas, visando avaliar o efeito de diferentes sequências de culturas de verão (monocultura de milho, monocultura de soja e rotação soja/milho) e culturas de entressafra (milho, sorgo granífero, girassol, crotalária, guandu, nabo forrageiro e milho) em sistema de semeadura direta nos atributos do Latossolo Vermelho textura argilosa. No experimento 1 não foram observadas diferenças nos teores de glomalina após a utilização das diferentes culturas no período de reforma do canavial. Maior comprimento de micélio externo total foi encontrado onde houve os cultivos de soja/milheto/soja e soja/crotalária/soja. Foram observadas diferenças entre os solos avaliados para os atributos, glomalina facilmente extraível, glomalina total e índice de estabilidade de agregados do solo, tendo o Latossolo Vermelho eutroférico apresentado características mais favoráveis que o Latossolo Vermelho ácrico. No experimento 2, maior quantidade de glomalina total foi verificada onde houve o cultivo da sequência de cultura de verão, monocultura do milho. Não foram observadas diferenças nos valores de índice de estabilidade de agregados após a utilização das diferentes culturas de entressafra. Maior diâmetro médio ponderado dos agregados foi verificado após as sequências de verão que utilizaram o milho. As diferentes culturas utilizadas, tanto no experimento 1 quanto no experimento 2, afetaram de maneira diferenciada os atributos físicos do solo e a comunidade dos fungos micorrízicos arbusculares.

Palavras-chave: agregação do solo, glomalina, reforma do canavial, sistema de semeadura direta

SOIL AGGREGATION AND OCCURRENCE OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN CROP ROTATION SYSTEMS

ABSTRACT – Proper management of agricultural activities can lead to improvements in the physical, chemical and biological soil, reducing soil degradation and the environment. This study aimed to evaluate the effect of using different crops in soil physical properties and the community of arbuscular mycorrhizal fungi in two long-term experiments, called experiment 1 and experiment 2. Both experiments have been conducted in areas located in Jaboticabal, state of São Paulo. Experiment 1 was installed in two areas with different soils, in October 2008, to evaluate the effect of using different cultures in the reform period of the cane fields. The soils of these areas featuring different production environments for cane sugar, eutroferric red Latosol (Oxisol), and Acric Latosol (Acric Oxisol), the experimental design was a randomized block with four treatments and five replications. The treatments were the crops: soybean, soybean/fallow/soybean, soybean/millet/soybean and soybean/sun hemp/soybean. Experiment 2 was installed in September 2002, in a randomized block experimental design with three replications and schema tracks, to evaluate the effect of different sequence of summer crops (corn monoculture, soybean monoculture and rotation soybean/corn) and between harvests crops (corn, grain sorghum, sunflower, sun hemp, pigeonpea, oilseed radish and millet) in the no-tillage system attributes Oxisol. In experiment 1 there were differences in levels of glomalin after use of the different cultures in the reform period the sugarcane. Greater length of total external mycelium was found where crops were soybean/millet/soybean and soybean/sun hemp/soybean. Differences were observed between soils evaluated for attributes, easily extractable glomalin, total glomalin and aggregate stability index, and the eutroferric Red Latosol more favorable characteristics than the Acric Latosol. In experiment 2, the greater amount glomalin total was checked were there growing the following summer crop, monoculture of corn. There were no differences in index values of stability of soil aggregates after the use of different cultures between harvests. Highest average diameter of aggregates was observed during the summer sequences used as corn. Different cultures used both in experiment 1 and in experiment 2, differentially affected the soil physical and Mycorrhizal fungi.

Keywords: soil aggregation, glomalin, reform of sugarcane, no tillage

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

INTRODUÇÃO

Os sistemas de manejo conservacionista, como aqueles que adotam o menor revolvimento do solo, a rotação de culturas e a utilização de plantas como cobertura, são práticas agrícolas importantes para a manutenção e o funcionamento da simbiose micorrízica. Conseqüentemente, essas práticas podem favorecer a redução da degradação do solo e do meio ambiente e o aumento da produtividade das culturas. A importância de se estudar solos sob diferentes coberturas vegetais reside em se avaliar os efeitos, positivos e, ou, negativos, do manejo das culturas e do preparo do solo sobre o ambiente edáfico e também sobre os microrganismos. É importante proporcionar condições adequadas para o estabelecimento dos fungos micorrízicos no solo, pois estes proporcionam benefícios às plantas hospedeiras, favorecendo o seu melhor desenvolvimento, através da absorção de nutrientes do solo, além de aumentar a tolerância das plantas a estresse biótico e abiótico.

O solo bem agregado é imprescindível para a sustentabilidade da agricultura, uma vez que está relacionado com a retenção de água, aeração do solo, suprimento de nutrientes, penetração e desenvolvimento radicular, bem como, com os microrganismos do solo. A agregação do solo ocorre com a aproximação das partículas do solo e depois com a sua estabilização, que pode acontecer por processos químicos, físicos e biológicos no solo.

Os fungos micorrízicos contribuem para a estabilidade dos agregados, não só pela ação física do micélio fúngico, mas também por meio da ação química, com a produção de uma glicoproteína denominada glomalina, que possui efeito cimentante, unindo as partículas de solo, conseqüentemente, formando agregados estáveis.

Assim, deve-se optar por sistemas com menor revolvimento do solo e que proporcionem maior estoque de material orgânico no perfil do solo. Um solo com boa qualidade física proporciona condições ambientais para o desenvolvimento de microrganismos, como os fungos micorrízicos, que atuam na ciclagem de nutrientes, bem como na melhoria da estruturação dos solos, estimulando a sua agregação.

Diante desse contexto, a hipótese deste trabalho foi que a utilização de diferentes espécies vegetais promove melhorias na comunidade dos fungos micorrízicos arbusculares e nos atributos físicos do solo. Assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da utilização de diferentes culturas nos atributos físicos do solo e na comunidade dos fungos micorrízicos em dois experimentos de longa duração.

REVISÃO DE LITERATURA

Manejo do solo e das culturas na agregação do solo

Segundo Souza, Carneiro e Paulino (2005), atividades agrícolas intensas e o manejo inadequado podem levar a ocorrência de alterações nos atributos físicos e biológicos do solo e do meio ambiente, conseqüentemente, à degradação dos solos e queda na produtividade das culturas. O estado de agregação é importante para o funcionamento do solo, proporcionando proteção física da matéria orgânica e dos microrganismos (HELGASON; WALLEY; GERMIDA, 2010), e para a produção agrícola, disponibilizando ar, água e nutrientes às plantas.

A agregação do solo é um fenômeno que ocorre em duas etapas, sendo a primeira relacionada com a aproximação das partículas e a segunda com a sua estabilização, resultado de processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo. Existem vários fatores que contribuem para a formação e estabilização dos agregados nos solos, são eles: diferentes culturas, presença de matéria orgânica no solo, microrganismos, minhocas, variação de teores de umidade e temperatura, óxidos de ferro e alumínio e cátions trocáveis (CARPENEDO, 1985). Os agregados são compostos de partículas primárias (argila, silte e areia) e matéria orgânica que se aderem umas as outras (KEMPER; ROSENEAU, 1986). Segundo Tisdall e Oades (1979), a formação e a estabilização de macro (> 0,25 mm) e microagregados (< 0,25mm) dependem de fatores abióticos (processos físicos relacionados com umedecimento, secagem, congelamento, descongelamento e compactação) e bióticos (participação mecânica das raízes de plantas e hifas fúngicas, manejo do solo, substâncias húmicas produzidas pelos organismos do solo).

Os macroagregados são responsáveis, principalmente, pela manutenção da aeração do solo, bem como pelas trocas gasosas e pela infiltração de água no perfil (VIEIRA, 2010). Segundo Mendes et al., (2003) os microagregados do solo estão fortemente ligados à capacidade de retenção de água. Calonego e Rosolem (2008), em estudos sobre a estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas, ressaltaram que, os macroagregados estáveis são considerados

resistentes, e que conseqüentemente, podem aumentar a capacidade do solo de receber algum tipo de impacto sem sofrer deformações irreversíveis.

O manejo do solo tem grande importância em sua qualidade, visto que afeta direta ou indiretamente seus atributos físicos, químicos e biológicos. Assim, a estrutura do solo, que possui característica instável, pode ser modificada pelos sistemas de manejo, ou seja, práticas como aquelas que adotam o revolvimento do solo, podem causar a perda de sua estrutura original. Deste modo, a conversão de ecossistemas naturais em áreas agrícolas é conhecida por causar grandes perdas de C orgânico do solo, além de provocar interferência nos processos de agregação e estabilização de agregados (SPOHN; GIANI, 2011). O sistema intensivo de uso e manejo do solo pode alterar seus atributos físicos, ocasionando degradação e perda da qualidade, que por sua vez acarreta em prejuízos para a sua sustentabilidade (SOUZA; CARNEIRO; PAULINO, 2005).

Práticas conservacionistas, como o plantio direto, que revolve menos o solo e recebem um maior aporte de resíduos orgânicos, têm-se mostrado eficiente em aumentar a estabilidade de agregados do solo (CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990). De acordo com Campos et al. (1999), solos com cobertura vegetal impedem ou diminuem a ação direta das gotas de chuva, mantêm mais uniforme a umidade e a temperatura, favorecem o desenvolvimento do sistema radicular e a atividade microbiana e contribuem para a criação de um ambiente mais favorável à agregação. Além disso, a matéria orgânica proveniente do crescimento radicular e do aporte de resíduos na superfície do solo tem papel fundamental na melhoria dos atributos físicos do solo. Segundo Barreto et al. (2008), dependendo do sistema de uso agrícola adotado, o teor de matéria orgânica dos solos pode ser alterado com maior ou menor intensidade, sendo, portanto, um dos atributos mais sensíveis às mudanças provocadas pelo manejo do solo. São vários os estudos que evidenciam o papel benéfico da matéria orgânica nos processos de formação dos agregados do solo (PASSARIN et al., 2007; BRANCALIAO; MORAES, 2008; ABIVEN; MENASSERI; CHENU, 2009; VEIGA; REINERT; REICHERT, 2009).

A vegetação também é um fator importante na formação dos agregados, devido a ação mecânica das raízes, bem como da excreção de substâncias com ação cimentante. Salton et al. (2008) ressaltam a importância da participação das

raízes na formação e estabilidade dos agregados do solo e destacam a rizosfera, como sendo o local de intensa agregação, aliada à ação de hifas de fungos micorrízicos, que aumentam a estabilidade dos agregados. As gramíneas atuam de maneira direta na contribuição da formação dos agregados, pois seu sistema radicular por ser denso promove a aproximação das partículas do solo, além disso, apresenta boa capacidade de regeneração, que faz com que gere produção de matéria seca e boa qualidade de material orgânico (CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990; SILVA; MIELNICZUK, 1997). De acordo com os autores, essas características favorecem a ação dos microrganismos do solo, ademais, sua parte aérea protege a superfície do solo contra o impacto das gotas da chuva. O poder de agregação das gramíneas na estabilidade dos agregados foi confirmado por Wendling et al. (2005), os quais verificaram que a espécie de gramínea tifton, constitui-se em uma nova opção para a formação e estabilidade dos agregados.

Segundo Bertol et al. (2001), um dos principais responsáveis pela perda da qualidade estrutural do solo é a degradação de seus atributos físicos, sendo que essas alterações podem influenciar o desenvolvimento das plantas. Muitos fatores físicos, químicos e biológicos contribuem para a agregação do solo, contudo entre os biológicos, os fungos micorrízicos arbusculares têm importância fundamental. Vários estudos indicam que o principal mecanismo de estabilização dos solos se dá pelo enredamento físico de partículas do solo por redes de hifas dos fungos micorrízicos arbusculares (THOMAS; FRANSON; BETHLENFALVAY, 1993; ANDRADE et al., 1998; BEARDEN; PETERSEN, 2000).

Manejo do solo e das culturas na comunidade dos fungos micorrízicos arbusculares – FMAs

Os fungos que formam as micorrizas arbusculares pertencem ao filo Glomeromycota, que engloba exclusivamente fungos asseptados e que colonizam as raízes de plantas de quase todos os gêneros (SIQUEIRA et al., 2007). De acordo com estes autores, estes fungos são caracterizados pela formação de estrutura simbiótica nas raízes, com colonização intracelular, formação de arbúsculos e micélio extrarradicular que crescem solo adentro além da rizosfera. Os fungos

micorrízicos arbusculares (FMAS) são microrganismos importantes do sistema solo-planta, uma vez que a própria diversidade desses fungos está ligada à diversidade e à produtividade de comunidades vegetais (SOUZA; SILVA; BERBARA, 2008). Esses fungos formam simbiose mutualística com a maioria das plantas vascularizadas, aproximadamente 75% das Angiospermas e Gimnospermas, além de alguns representantes das Briófitas e Pteridófitas (SILVEIRA, 1992).

A associação micorrízica tem importância tanto ecológica como agrícola, devido a sua abrangência, comum na maioria das espécies de plantas, o que a caracteriza como simbiose universal. Este fato é devido a sua ocorrência generalizada e aos efeitos benéficos proporcionados as plantas hospedeiras, como o seu melhor desenvolvimento, que é atribuído, principalmente, à maior capacidade de absorção de nutrientes do solo, principalmente aqueles de baixa mobilidade (NOGUEIRA; CARDOSO, 2000). Além disso, de acordo com estes autores, estes fungos podem também aumentar a tolerância das plantas a estresse biótico e abiótico. De acordo com Siqueira et al. (2007), os FMAs melhoram a nutrição e a tolerância das plantas a estresses ambientais e facilitam a cobertura vegetal, além disso, favorecem a atividade fotossintética e o aporte de material orgânico, aumentam a decomposição e a ciclagem de carbono e nutrientes. Essa associação tem papel chave na manutenção do funcionamento dos ecossistemas naturais e na sustentabilidade dos agrossistemas.

Os sistemas de manejo do solo e das culturas podem alterar a comunidade dos FMAs, selecionando ou até eliminando do solo espécies desses fungos, com reflexos sobre a diversidade da comunidade nativa e a micorrização de cultivos posteriores (CARRENHO et al., 2010). Existem diversos fatores que influenciam tanto positivamente quanto negativamente a atividade dos FMAs, dentre eles estão os sistemas de uso e manejo do solo. Além disso, existem outros fatores que os influenciam, são eles: textura e agregação do solo, espécie, variedade e sistema radicular das plantas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

O revolvimento do solo promove fragmentação da rede de hifas de FMAs do solo, que, ao serem rompidas, têm seu conteúdo extravasado, inviabilizando-as como propágulos e diminuindo o seu potencial infectivo (CARRENHO et al., 2010). Devido a este motivo, é de fundamental importância que sejam utilizados sistemas

de manejo conservacionista, que visam o não revolvimento do solo. Ademais é fundamental a utilização de rotação e/ou sucessão de culturas, pois, estas práticas podem favorecer o estabelecimento da associação micorrízica e o efeito desta nas plantas, bem como, favorecer a multiplicação dos FMAs no solo (MIRANDA; MIRANDA, 1997). Desta forma, como a maioria dos solos degradados perde seu estado natural de agregação, essa simbiose tem relevância, constituindo importante propriedade para a recuperação desses solos (SIQUEIRA et al., 2007). Cardoso et al. (2010) ressaltam que para se obter benefícios da simbiose micorrízica ou dos processos biológicos benéficos na micorrizosfera, ênfase deve ser dada às práticas agrícolas que promovam a ocorrência dos organismos do solo, incluindo os FMAs.

Devido a maior ocorrência de FMAs na camada arável do solo, por ser onde se encontra a maior porção de raízes das plantas, o manejo tem influência direta na comunidade fúngica. Desta forma, aqueles sistemas de uso e manejo dos solos, que alteram seus atributos físicos e químicos, influenciam diretamente na dinâmica das comunidades de esporos desses fungos.

A rotação de culturas pode mudar o habitat dos microrganismos, devido à extração dos nutrientes pelas plantas, à profundidade das raízes e à quantidade de resíduos que permanecem no solo e seus diferentes componentes (BALOTA et al., 2004). O plantio direto também pode alterar a quantidade de estruturas dos FMAs no solo. Quando utilizadas em um sistema de rotação, essas plantas aumentam a população dos FMAs nativos no solo e beneficiam os cultivos subsequentes (MIRANDA et al., 2001). Estes autores avaliando os efeitos dos fungos micorrízicos em culturas anuais e forrageiras verificaram que a rotação de culturas favoreceu a multiplicação destes fungos no solo, além de ter estimulado a formação de micorriza, ampliou seus efeitos nas plantas. Bever (2002) ressalta que a planta hospedeira pode ser um dos principais fatores que regula a composição e a estrutura das comunidades de fungos micorrízicos, pois cada fase de seu desenvolvimento, como germinação de esporos, crescimento das hifas, colonização radicular e esporulação, é influenciada pelas raízes das plantas. Portanto, para que haja benefícios da simbiose micorrízica é necessário aumentar e diversificar a população desses fungos no solo (MIRANDA; MIRANDA, 1997). A simbiose micorrízica se aumentada gradativamente com o cultivo de plantas que apresentem diferentes graus de

dependência micorrízica, conseqüentemente, podem alterar a quantidade de estruturas dos FMAs no solo (MIRANDA et al., 2001). Sendo assim, é importante utilizar plantas que dependam da micorriza arbuscular nos sistemas de rotação. A combinação do cultivo mínimo com plantas com alto grau de micotrofismo, empregadas em cobertura, contribui para manter elevada densidade de hifas, elevado potencial de inóculo, estabilização do solo e, assim, manter a sustentabilidade na produção (KABIR, 2005). Cardoso et al. (2010) afirmam que embora possa haver baixa especificidade entre os fungos micorrízicos e as plantas hospedeiras, as espécies de plantas estimulam diferentemente a sua quantidade e sua ocorrência no solo.

De acordo com Bethlenfalvay e Linderman (1992), a manutenção de uma comunidade diversificada de FMAs na rizosfera das plantas é importante para a sustentabilidade dos agrossistemas. O manejo conservacionista do solo e das culturas tais como o preparo do solo sem revolvimento e a rotação de culturas é uma alternativa apropriada para manter ou aumentar a diversidade de espécies, o número de esporos no solo e o potencial de inóculo natural de fungos micorrízicos a campo. Portanto, o aumento na atividade microbiana do solo pode contribuir para o aumento da estabilidade dos agregados, fato este que tem contribuído para aumentar o interesse no estudo de microrganismos, como os FMAs, para a melhoria da estrutura dos solos agrícolas.

Além do papel que as micorrizas exercem em melhorar a absorção de nutrientes, elas exercem fundamental papel na manutenção da estrutura do solo (RYAN; GRAHAM, 2002), porém, ainda é uma área que tem sido pouco explorada no Brasil.

Fungos micorrízicos arbusculares e a agregação do solo: Ação do micélio extrarradicular

O desenvolvimento e a ramificação do micélio externo variam de acordo com a presença ou ausência de plantas hospedeiras. Além da capacidade específica de absorção de nutrientes, o micélio externo representa uma extensão do sistema de absorção da planta, fazendo uma conexão entre a planta e o solo, além da zona de

alcance das raízes (SIQUEIRA et al., 2007). De acordo com Bethelenfalvay e Linderman (1992) o micélio conecta as raízes e solo ou mesmo raízes de diferentes plantas ou espécies vegetais, estabelecendo ligações múltiplas que ocasionam nova dinâmica na aquisição de nutrientes e até mesmo sobre os atributos físicos do solo.

O micélio participa da conservação do solo através da promoção da agregação de partículas (MILLER; REINHARDT; JASTROW, 1995). Ele contribui na agregação do solo em quatro etapas. Na primeira etapa, as hifas criam uma espécie de estrutura de sustentação que une as partículas através do efeito físico (TISDALL; OADES, 1979; GUPTA; GERMIDA, 1988). Na segunda etapa, as partículas são mantidas unidas pelas hifas, de tal modo que são formados os microagregados (GUPTA; GERMIDA, 1988). Na terceira etapa, os microagregados são fisicamente unidos pelas hifas e raízes, criando assim uma estrutura macroagregada que poderá ainda ser estabilizada pela cimentação com polissacarídeos e outros componentes orgânicos, como a matéria orgânica (GUPTA; GERMIDA, 1988). E por fim na quarta etapa, as hifas são responsáveis por drenar o carbono das plantas diretamente para o solo (MILLER; JASTROW, 1990). Este acesso direto influencia a formação de agregados, através do papel do carbono no solo na formação do material orgânico necessário para cimentar as partículas do solo (CARDOSO et al., 2010). Sendo assim, os fungos micorrízicos podem ser considerados canais de drenagem do C da atmosfera para o solo, via planta, por terem acesso direto a fontes de C da planta (BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006).

São poucos os trabalhos sobre a ação do micélio na agregação do solo. Nóbrega et al. (2001) trabalharam com dois solos: um Latossolo Vermelho distrófico e um Latossolo Vermelho distroférico, avaliando os efeitos do uso do solo, doses de fósforo, espécie cultivada e inoculação de fungos micorrízicos sobre a estabilidade de agregados do solo. Os autores verificaram que a adição de suas menores doses de fósforo ao solo (20 e 30 mg kg⁻¹ de P) promoveu o aumento do diâmetro médio ponderado dos agregados e a colonização das raízes, o que reflete o efeito da proliferação do micélio sobre a agregação do solo. Em um experimento de longa duração, com o objetivo de avaliar o efeito de sistemas de plantio direto e convencional, associados ou não com a calagem (PC inc: preparo convencional com calcário incorporado; PC sem: preparo convencional sem calcário; PD inc: plantio

direto com calcário incorporado; PD sup: plantio direto com calcário superficial; PD sem: plantio direto sem calcário) em um Latossolo Bruno, cultivado com soja, Albuquerque et al. (2005) observaram que, em sistema de plantio direto, a estabilidade de agregados foi positivamente relacionada com o comprimento de hifas e com o teor de carbono orgânico, o comprimento de micélio foi significativamente maior na camada superficial do solo sob PD sup (30 mg^{-1} solo) e sob PD sem (33 mg^{-1} solo). Estudando o efeito da inoculação micorrízica na melhoria da estabilidade de agregados, Caravaca et al. (2006) observaram um aumento significativo na estabilidade dos agregados, seis meses após a inoculação de um combinado de espécies de fungos micorrízicos e materiais orgânicos. Esses autores apontaram que a ação das hifas de fungos micorrízicos e raízes de plantas, envolvendo as partículas de solo, aliada a ação cimentante dos polissacarídeos são os responsáveis pela maior estabilidade dos agregados.

Segundo Read (1989) nos solos arenosos, especialmente, a ação do micélio é importante para manter os macroagregados unidos, possibilitando sua imobilização e posterior ligação das partículas intermediada por componentes orgânicos. Porém, estes agregados podem ser degradados à medida que são formados, devido à rápida decomposição das hifas e do uso de práticas que reduzam o crescimento radicular e conseqüentemente o crescimento do micélio (TISDALL; OADES, 1982).

No solo, as hifas podem atingir até 50 m por grama de agregado, contribuindo, assim, de modo significativo para a sua estabilização (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Segundo Berbara, Souza e Fonseca (2006), essa função é importante, porque a estruturação do solo favorece a capacidade de mobilização de nutrientes, o conteúdo de água, a penetração de raízes e reduz o potencial erosivo dos solos.

Além da participação dos fungos micorrízicos para a estabilidade dos agregados, através da ação física proporcionada pelo micélio, há uma ação química envolvida no processo, através da glomalina (RILLIG; MUMMEY, 2006). Wright et al. (1996) observaram uma substância produzida pelos FMAs, conhecida como glomalina. Desde então, esta substância tem sido analisada por inúmeros pesquisadores, principalmente nos Estados Unidos.

Ação da glomalina

Além de possuírem ação agregante, as hifas produzem um tipo específico de proteína no solo, denominada de glomalina (PURIN, 2005). Glomalina é um termo geral utilizado para descrever esta glicoproteína, que é insolúvel em água e imunorreativa, componente da parede das hifas dos FMAs, que se acumulam no solo após o processo de decomposição das hifas por microrganismos edáficos (DRIVER; HOLBEN; RILLIG, 2005). Além disso, ela é uma substância de natureza glicoproteica e hidrofóbica (RILLIG; MUMMEY, 2006). A repelência a água influencia na proteção contra a erosão dos solos, por isso essa glicoproteína, é semelhante às hidrofobinas produzidas por fungos filamentosos, que pode contribuir para a estabilidade estrutural dos solos (MORALES et al., 2005). A glomalina contribui de modo similar às raízes e à cobertura vegetal, no processo de agregação de partículas do solo, sendo o efeito neste processo mais efetivo do que a trama micelial (RILLIG et al., 2002). De acordo com Rillig (2004), a glomalina induz ligações com partículas de argila aumentando a estabilidade de microagregados do solo, contribuindo, assim, para a recuperação física do solo.

A descoberta da glomalina foi relatada por Wright et al. (1996), que observaram a atuação dessa proteína, proporcionando agregação ao solo e estabilidade dos agregados, pois atua como um agente ligante orgânico, no processo de cimentação das partículas, criando um selamento entre elas. A relação linear da glomalina com a estabilidade de agregados indica a influência deste subproduto das hifas no processo de estabilidade e hidrofobicidade de partículas do solo (WRIGHT; ANDERSON, 2000). Porém, em solos com elevados teores de carbonato de cálcio (71%), a contribuição da glomalina no processo de agregação de partículas é pequena, visto que nesses solos os principais agentes cimentantes são carbonatos (RILLIG; MAESTRE; LAMIT, 2003).

Sua função primordial é auxiliar na proteção das hifas fúngicas contra a dessecação, sendo liberadas no solo quando as hifas perdem a capacidade de transportar nutrientes para o hospedeiro, a partir daí contribuindo na agregação das partículas minerais e orgânicas presentes no solo (DRIVER; HOLBEN; RILLIG, 2005). A produção de micélio externo está positivamente relacionada com a

glomalina, sendo as hifas externas, esporos e raízes colonizadas responsáveis por sua síntese (TRESEDER; MACK; CROSS, 2004; WRIGHT et al., 1996). Segundo Driver, Holben e Rillig (2005) cerca de aproximadamente 80% da glomalina encontra-se aderida a parede das hifas.

Rillig et al. (1999), ressaltam que a glomalina pode atuar como um importante colaborador no sequestro de carbono, visto sua participação no processo de formação e estabilização dos agregados. Ela pode absorver naturalmente o carbono, mantendo-o no solo, beneficiando a fertilização do solo devido à sua característica de adesão, de modo a agregar as partículas do solo, possibilitando a penetração de água, oxigênio e raízes (RILLIG; WRIGHT; EVINER, 2002; RILLIG, 2004). Para Rillig, Maestre e Lamit (2003), em função de seus benefícios para o solo e para o meio ambiente, é importante aumentar o teor de glomalina no solo, o que pode ser feito por meio de práticas agrícolas que beneficiem o estabelecimento da micorriza arbuscular. Wright e Anderson (2000), avaliando sistemas agrícolas sob rotação de culturas, buscando as melhores formas de manejo para promover a produção de glomalina e, conseqüentemente, evitar perdas de solo por erosão, observaram que, com rotação de culturas (trigo, milho e painço) e ausência de revolvimento do solo por 8 anos, a quantidade de glomalina total foi de $2,9 \text{ mg g}^{-1}$ solo. Entretanto, com o monocultivo de tritcale e revolvimento do solo por um período de 6 anos, houve redução no teor desta glicoproteína para $1,5 \text{ mg g}^{-1}$ solo.

Estima-se que sua resistência no solo seja longa (6-42 anos), tempo para sua completa mineralização, período este bem superior a permanência das hifas no solo (5-6 dias) (RILLIG et al., 2001; STEINBERG; RILLIG, 2003). A glomalina além de ser insolúvel em água, pode ser extraída em altas temperaturas, o que não ocorre com outras proteínas, isso sugere que ela seja uma molécula extremamente estável (WRIGHT; UPADHYAYA, 1998).

A quantificação da glomalina pode consistir em um bom indicador de mudanças causadas pelo uso do solo e por isso, poderia se tornar um bom indicador da sua recuperação por atender integralmente os fatores e por ser correlacionada com importantes atributos do solo (RILLIG; MAESTRE; LAMIT, 2003).

A glomalina facilmente extraível (GFE) representa o material formado recentemente no solo, além disso, é mais susceptível a atividades de decomposição,

por estar concentrada predominantemente na superfície dos agregados. Por outro lado, a glomalina total (GT) representa a quantidade total de proteína no solo, tanto na superfície como no interior dos agregados. Genericamente, essas duas frações de glomalina: facilmente extraível (GFE) e a glomalina total (GT), podem ser determinadas por métodos bioquímicos e imunorreativos (WRIGHT; UPADHYAYA, 1998).

Segundo Wright e Upadhyaya (1996; 1998) existem algumas estimativas de que a produção de glomalina pode variar de 1-15 mg g⁻¹ solo. Em áreas revegetadas com plantas micorrizadas, a produção pode chegar a 3,65 mg g⁻¹ solo (CARAVACA et al., 2005). De acordo com Rillig et al. (2003), os valores de glomalina facilmente extraível e total ficam em torno de 0,5 e 3 mg g⁻¹ solo, respectivamente, em áreas agrícolas. Já quando observados valores de glomalina em solos de floresta, Rillig et al. (2001) conseguiram extrair > 60 mg g⁻¹ solo. Os principais fatores que estão envolvidos no controle da produção de glomalina no solo ainda não são claros, contudo, a combinação de concentração de nutrientes, clima, tipo do hospedeiro e diversidade de FMAs influencia a deposição dessas proteínas no solo (RILLIG et al., 2001).

Segundo Rillig e Steinberg (2002), o estado de agregação do solo influencia a produção de glomalina, segundo os autores em solos com menor grau de agregação, há maior produção de proteína e menor formação de hifas. O que pode ser explicado pelo fato de ocorrer economia na produção de micélio para que ocorra a síntese de glomalina, que consiste em alto gasto energético para o micobionte (DRIVER; HOLBEN; RILLIG, 2005).

REFERÊNCIAS

- ABIVEN, S.; MENASSERI, S.; CHENU, C. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability: A literature analysis. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 41, p. 1-12, 2009.
- ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C.; PASSOS, J. Avaliação de sistemas de preparo e calagem em um Latossolo Bruno alumínico. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 29, n. 6, p. 963-975, 2005.

ANDRADE, G.; MIHARA, K. L.; LINDERMAN, R. G.; BETHLENFALVAY, G. J. Soil aggregation status and rhizobacteria in the mycorrhizosphere. **Plant and Soil**, v. 202, n. 1, p. 89-96, 1998.

BALOTA, E. L.; KANASHIRO, M.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; DICK, R. P. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agro-ecosystems. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 35, n. 4, p. 300-306, 2004.

BARRETO, A. C.; FREIRE, M. B. G. S.; NACIF, P. G. S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. J.; INÁCIO, E. S. B. Fracionamento físico e químico do carbono total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1471-1478, 2008.

BEARDEN, B. N.; PETERSEN, L. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on soil structure and aggregate stability of a vertisol. **Plant and Soil**, v. 218, p. 173-183, 2000.

BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A. C. III – Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, **Nutrição mineral de plantas**. 432p, ISBN 85-86504-02-5, 2006.

BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 3, p. 555-560, 2001.

BETHLENFALVAY, G. J.; LINDERMAN, R. G. (Eds) Mycorrhizae in Sustainable Agriculture. ASA Special Publication n. 54, Madison, Wisconsin, USA, 81p.1992.

BEVER, J. D. Host-specificity of AM fungal populations growth rates can generate feedback on plant growth. **Plant and Soil**, v. 244, p. 281-290, 2002.

BRANCALIAO, S. R.; MORAES, M. H. Alterações de alguns atributos físicos e das frações húmicas de um nitossolo vermelho na sucessão milho-soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 393-404, 2008.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1399-1407, 2008.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; CASSOL, L. C. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 383-391, 1999.

CARAVACA, F.; ALGUACIL, M. M.; AZCON, R.; ROLDAN, A. Formation of stable aggregate in rhizosphere soil of *Juniperus oxycedrus*: Effect of AM fungi and organic amendments. **Applied Soil Ecology**, v. 33, p. 30-81, 2006.

CARAVACA, F.; ALGUALCIL, M. M.; BAREA, J. M.; ROLDÁN, A. Survival of inocula and native AMF fungi species associated with shrubs in a degraded Mediterranean ecosystem. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 37, p. 227-233, 2005.

CARDOSO, E. J. B. N.; CARDOSO, I. M.; NOGUEIRA, M. A.; BARETTA, C. R. D. M.; PAULA, A. M. Micorrizas arbusculares na aquisição de nutrientes pelas plantas. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. 1. ed. Lavras: UFLA, 2010. cap. 6, p. 153-214.

CARPENEDO, V. **Qualidade e estabilidade de agregados de latossolo roxo submetidos a diferentes manejos**. 1985. Tese (Doutorado) Unisinos-Rj, Porto Alegre-Rs, 1985.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 14, p. 99-105, 1990.

CARENHO, R.; GOMES-DA-COSTA, S. M.; BALOTA, E. L.; COLOZZI FILHO, A. Fungos micorrízicos arbusculares em agrossistemas brasileiros. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. 1. Ed. Lavras: UFLA, 2010. cap. 7, p. 215-249.

DRIVER, J. D.; HOLBEN, W. E.; RILLIG, M. C. Characterization of glomalin as hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 37, p. 101-106, 2005.

GUPTA, V. V. S. R.; GERMIDA, J. J. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 20, n. 6, p. 777-786, 1988.

HELGASON, B. L.; WALLEY, F. L.; GERMIDA, J. J. No-till soil management increases microbial biomass and alters community profiles in soil aggregates. **Applied Soil Ecology**, v. 46, n. 3, p. 390-397, 2010.

KABIR, Z. Tillage or no-tillage: Impact on mycorrhizae. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 85, p. 23-29, 2005.

KEMPER, W. D.; ROSENEAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*, 1. Physical and mineralogical methods. 2.ed. Madison, America Society of Agronomy. 425-442, 1986.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Propriedades biológicas em agregados de um latossolo vermelho-escuro sob plantio convencional e direto no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 435-443, 2003.

MILLER, R. M.; JASTROW, J. D. Hierarchy of root and mycorrhizal fungal interactions with soil aggregation. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 22, n. 5, p. 579-584, 1990.

MILLER, R. M.; REINHARDT, D. R.; JASTROW, J.D. External hyphal production of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in pasture and tallgrass prairie communities. **Oecologia**, v. 103, p. 17-23, 1995.

MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N. Micorriza arbuscular. In: VARGAS, M. A.; HUNGRIA, M. **Biologia dos Cerrados**. Brasília: EMBRAPA-CPAC, 1997, p. 69-123.

MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N.; VILELA, L.; VARGAS, M. A.; CARVALHO, A. M. **Manejo da micorriza arbuscular por meio da rotação de culturas nos sistemas agrícolas do cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2001. (Comunicado técnico, 42).

MORALES, A.; CASTILLO, C.; RUBIO, R.; GODOY, R.; ROUANET, J. L.; BORIE, F. Niveles de glomalina em suelos de dos ecosistemas del sur de Chile. **Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición vegetal**, v. 5, n. 1, p. 37-45, 2005.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. p. 729.

NÓBREGA, J. C. A.; LIMA, J. M.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; MOTTA, P. E. F. Fosfato e micorriza na estabilidade de agregados em amostras de latossolos cultivados e não cultivados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 11, p. 1425-1435, 2001.

NOGUEIRA, M. A.; CARDOSO, E. B. N. Produção de micélio externo por fungos micorrízicos arbusculares e crescimento da soja em função de doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 329-338, 2000.

PASSARIN, A. L.; RODRIGUEIRO, E. L.; ROBAINA, C. R. P.; MEDINA, C. C. Caracterização de agregados em um latossolo vermelho distroférico típico submetido a diferentes doses de vinhaça. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1255-1260, 2007.

PURIN, S. **Fungos micorrízicos arbusculares: atividade, diversidade e aspectos funcionais em sistemas de produção de maçãs**. 2005. 182 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2005.

READ, D. J. Mycorrhizas and nutrient cycling in sand dune ecosystems. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, p. 89-110, 1989.

RILLIG, M. C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 84, n. 4, p. 355-363, 2004.

RILLIG, M. C.; MAESTRE, F. T.; LAMIT, L. J. Microsite differences in fungal hyphal length, glomalin, and soil aggregate stability in semiarid Mediterranean steppes. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 35, p. 1257-1260, 2003.

RILLIG, M. C.; MUMMEY, D. L. Mycorrhizas and soil structure. **New Phytologist**, v. 171, p. 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 and Soil**, v. 253, n. 2, p. 293-299, 2003.

RILLIG, M. C.; STEINBERG, P. D. Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: a mechanism of habitat modification? **Soil Biology & Biochemistry**, v. 34, p. 1371-1374, 2002.

RILLIG, M. C.; WRIGHT, S. F.; ALLEN, M. F.; FIELD, C. B. Rise in carbon dioxide changes soil structure. **Nature**, v. 400, p. 628, 1999.

RILLIG, M. C.; WRIGHT, S. F.; EVINER, V. T. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. **Plant and Soil**, v. 238, n. 2, p. 325-333, 2002.

RILLIG, M. C.; WRIGHT, S. F.; NICHOLS, K. A.; SCHMIDT, W. F.; TORN, M. S. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. **Plant and Soil**, v. 233, p. 167-177, 2001.

RILLIG, M. C.; WRIGHT, S. F.; SHAW, R.; FIELD, C. B. Artificial climate warming affects arbuscular mycorrhizae but decreases soil aggregate water stability in an annual grassland. **Oikos**, v. 97, p. 52-58, 2002.

RYAN, M. H.; GRAHAM, J. H. Is there a role for arbuscular mycorrhizal fungi in production agriculture? **Plant Soil**, v. 244, p. 263-271, 2002.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32: 11-21, 2008.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 113-117, 1997.

SILVEIRA, A. P. D. Micorrizas. In: CARDOSO, E. J. B. N.; SAITO, S. M.; NEVES, M. C. P. (Ed.) **Microbiologia do Solo**. Campinas: SBCS, p.257-282, 1992.

SIQUEIRA, J. O.; SOARES, C. R. F. S.; SANTOS, J. G.; SCHNEIDER, J.; CARNEIRO, M. A. C. Micorrizas e degradação do solo: caracterização, efeitos e ação recuperadora. In: CERETTA, C. S.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. Ed. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG, SBCS, 2007. p. 219-306.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 11, p. 1135-1139, 2005.

SOUZA, F. A.; SILVA, I. C. L.; BERBARA, R. L. L. Fungos micorrízicos arbusculares: muito mais diversos do que se imaginava. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.;

BRUSSAARD, L. **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Ed. Lavras: UFLA, 2008. cap 15, p. 501-556.

SPOHN, M.; GIANI, L. Impacts of land use change on soil aggregation and aggregate stabilizing compounds as dependent on time. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 43, n. 5, p. 1081-1088, 2011.

STEINBERG, P. D.; RILLIG, M. C. Differential decomposition of arbuscular mycorrhizal fungal hyphae and glomalin. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 35, n. 1, p. 191-194, 2003.

THOMAS, R. S.; FRANSON, R. L.; BETHLENFALVAY, G. J. Separation of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus and root effects on soil aggregation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, n. 1, p. 77-81, 1993.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v. 33, p. 141-163, 1982.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. **Australian Journal of Soil Research**. v. 17, p. 429-441, 1979.

TRESEDER, K. K.; MACK, M. C.; CROSS, A. Relationships among fires, fungi, and soil dynamics in Alaskan boreal forests. **Ecological Applications**, v. 14, p. 1826-1838, 2004.

VEIGA, M.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Aggregate stability as affected by short and long term-tillage systems and nutrient sources of a hapludox in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 767-777, 2009.

VIEIRA, L. L. **Influência de atributos físicos, químicos e microbiológicos na agregação de solos sob diferentes sistemas de uso, em Maria da Fé, MG**. 2010. 61 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Itajubá, 2010.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 487-494, 2005.

WRIGHT, S. F.; ANDERSON, R. L. Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the Central Great Planus. **Biology and Fertility of Soils**, v. 31, p. 249-253, 2000.

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

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

WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. **Soil Science**, v. 161, p. 575-586, 1996.

CAPÍTULO 2 - FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E ESTABILIDADE DE AGREGADOS DECORRENTES DO USO DE DIFERENTES CULTURAS

RESUMO

Os sistemas de manejo que adotam menor revolvimento do solo, rotação de culturas e utilização de plantas de cobertura podem levar a melhorias dos seus atributos biológicos e físicos, com redução da degradação do solo e do meio ambiente. O objetivo do estudo foi avaliar o efeito da utilização de diferentes culturas no período de reforma do canavial na comunidade dos fungos micorrízicos arbusculares e nos atributos físicos de dois Latossolos. O experimento foi conduzido no município de Jaboticabal em um Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) textura muito argilosa (680 g kg⁻¹ de argila) e um Latossolo Vermelho ácrico (LVw) textura argilosa (440 g kg⁻¹ de argila). O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro tratamentos e cinco repetições, caracterizados pela utilização de diferentes culturas no período de reforma do canavial. Os tratamentos foram os cultivos de: soja, soja/pousio/soja, soja/milheto/soja e soja/crotalária/soja. A amostragem de solo foi realizada em junho de 2011. Não foram verificadas diferenças significativas na quantidade de glomalina total após a utilização das diferentes culturas. Maior comprimento de micélio externo total foi observado no solo onde houve os cultivos de soja/milheto/soja e soja/crotalária/soja. Foram observadas diferenças entre os solos avaliados para os atributos glomalina facilmente extraível, glomalina total e índice de estabilidade de agregados do solo, tendo o Latossolo Vermelho eutroférico apresentado características mais favoráveis que o Latossolo Vermelho ácrico. Nenhuma das culturas utilizadas no período de reforma do canavial teve efeitos benéficos no índice de estabilidade de agregados nos dois Latossolos estudados.

Termos de indexação: glomalina, hifas, latossolo vermelho eutroférico, latossolo vermelho ácrico

SUMMARY

ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI AND SOIL AGGREGATE STABILITY ARISING FROM THE USE OF DIFFERENT CULTURES

The management systems that adopt low soil, crop rotation and use of cover crops may lead to improvements in physical and biological attributes of the soil, reducing soil degradation and the environment. The objective of the study was to evaluate the effect of using different cultures during the reform of sugarcane in arbuscular mycorrhizal fungi and the physical attributes of two Oxisols. The experiment was carried out in Jaboticabal (21°14'05" S and 48°17'09" W) in an eutroferric Red Latosol (Oxisol) and Acric Latosol (Acric Oxisol). The experimental design was a randomized block with five replications and four treatments, characterized by different soil uses during the interval between two sugarcane growth periods. The soil uses were the crops of: soybean, soybean/fallow/soybean, soybean/millet/soybean and soybean/sun hemp/soybean. Soil sampling was conducted in June 2011. There were no significant differences in the amount of glomalin total after the use of different cultures. Greater length of total external mycelium was observed in the soil where the crops were soybean/millet/soybean and soybean/sun hemp/soybean. Differences were observed between soils evaluated for attributes easily extractable glomalin, total glomalin and aggregate stability index, and the eutroferric Red Latosol presented more favorable characteristics than the Acric Latosol. None of the crops used in the reform period of the cane fields had beneficial effects in the aggregate stability index in both Oxisols studied.

Index terms: glomalin, hyphae, eutroferric red latosol, acric latosol

INTRODUÇÃO

A adoção de sistemas de manejo conservacionista para o solo têm-se mostrado importante na manutenção e o funcionamento da atividade dos microrganismos no solo. A rotação de culturas pode mudar o habitat dos microrganismos devido à extração dos nutrientes pelas plantas, à profundidade das raízes e à quantidade e qualidade de resíduos que permanecem no solo (Balota et al., 2004). A utilização de rotação e/ou sucessão de culturas favorece o

estabelecimento da simbiose micorrízica e o efeito desta nas plantas, bem como beneficia a multiplicação dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) no solo (Miranda & Miranda, 1997).

Os FMAs, simbioses mutualísticas que vivem em associação com as raízes da maioria das plantas terrestres, são organismos fundamentais no sistema solo/planta, influenciando a fertilidade do solo e a nutrição das plantas (Smith & Read, 2008). Contribuem para a agregação e a estabilidade da estrutura do solo, pela ação combinada das hifas extrarradiculares que exploram o solo, formando uma rede que envolve os agregados, e por uma substância proteica insolúvel chamada glomalina (Bedini et al., 2009), que possui efeito cimentante.

No solo, as hifas podem atingir até 50 m por grama de agregado, contribuindo de maneira significativa para a estabilização dos agregados (Moreira & Siqueira, 2006). Segundo Berbara et al. (2006), essa função que as hifas exercem é muito importante, porque a estruturação do solo favorece a mobilização de nutrientes, o aumento do conteúdo de água, a penetração de raízes e reduz o potencial erosivo dos solos. Ademais, os agregados proporcionam habitat adequado e proteção aos organismos do solo, além de fornecer oxigênio as raízes (Denef et al., 2001; Franzluebbers, 2002a, b). Por sua vez, a glomalina, com suas propriedades adesivas, atua unindo as partículas do solo gerando agregados (Wright & Upadhyaya, 1996; Purin et al., 2006).

Alguns estudos mostram que há significativa relação entre a quantidade de glomalina e os agregados estáveis do solo (Wright & Upadhyaya, 1998; Rillig et al., 2001a; Rillig, 2004). Assim, sistemas que adotam o menor revolvimento do solo e que proporcionem maior estoque de material orgânico na superfície, podem manter uma boa qualidade física do solo, proporcionando ambiente ótimo para o desenvolvimento dos microrganismos, particularmente os fungos micorrízicos, que atuam proporcionando benefícios para as plantas, além de contribuírem na melhoria da estruturação dos solos, estimulando a formação e estabilização dos agregados do solo. Portanto, sistemas de cultivo que promovam benefícios aos FMAs, contribuem para a sustentabilidade do sistema.

A hipótese deste trabalho foi que a utilização de diferentes espécies vegetais promove melhoria nos atributos físicos do solo e na comunidade dos fungos

micorrízicos arbusculares. Portanto, o objetivo do estudo foi avaliar a influência de diferentes culturas no período de reforma do canavial na comunidade dos fungos micorrízicos arbusculares e na agregação de dois Latossolos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em duas áreas com solos distintos, Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) textura muito argilosa (680 g kg⁻¹ de argila, 180 g kg⁻¹ de silte e 140 g kg⁻¹ de areia) e Latossolo Vermelho ácrico (LVw) textura argilosa (440 g kg⁻¹ de argila, 120 g kg⁻¹ de silte e 440 g kg⁻¹ de areia), ambas localizadas no município de Jaboticabal, estado de São Paulo, com latitude 21°14'05" S, longitude 48°17'09" W e altitude média de 615 metros. O clima, segundo classificação Köppen, é do tipo Aw, com temperatura do mês mais quente superior a 22 °C e a do mês mais frio superior a 18 °C, e precipitação média anual de 1.424,6 mm.

Os tratamentos utilizados foram os cultivos de soja/milheto/soja (SMS), soja/crotalária/soja (SCS) e soja/pousio/soja (SPS), foram realizados dois cultivos de soja (*Glycine max*) nos períodos de outubro de 2008 a fevereiro de 2009 e outubro de 2009 a fevereiro de 2010. Entre o primeiro e o segundo cultivo da soja, no período de março a setembro de 2009, o solo foi cultivado com milheto (*Pennisetum americanum*) (SMS) ou crotalária (*Crotalaria juncea*) (SCS) ou permaneceu em pousio (SPS). E em soja (S) realizou-se um cultivo de soja no período de outubro de 2009 a fevereiro de 2010. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro tratamentos e cinco repetições.

Após a utilização das diferentes culturas, durante o período de reforma do canavial, realizou-se o plantio da cana-de-açúcar, em fevereiro de 2010, no sistema mecanizado, utilizando-se a variedade SP 87-365 no Latossolo Vermelho eutroférico (LVef), e a variedade RB 83-5054 no Latossolo Vermelho ácrico (LVw). Demais descrições a respeito da instalação do experimento e condução das culturas encontram-se em Fernandes et al. (2012).

Em junho de 2011, após o primeiro corte da cana-de-açúcar, coletaram-se amostras deformadas de solo, em três pontos por parcela, na camada de 0,0-0,10 m de profundidade. As amostras deformadas de solo, coletadas com o auxílio de trado, foram destinadas para a determinação da glomalina facilmente extraível (GFE),

glomalina total (GT), comprimento do micélio externo total (CMET), esporos (ESP) e índice de estabilidade de agregados do solo (IEA). As amostras deformadas de solo, coletadas com o auxílio de enxadão, foram destinadas a análise do diâmetro médio ponderado dos agregados do solo (DMP).

A extração da glomalina facilmente extraível e glomalina total foram realizadas conforme método proposto por Rillig et al. (2003a) e quantificada pela técnica de Bradford (1976). A extração do micélio externo total foi realizada de acordo com o método proposto por Melloni & Cardoso (1999) e para o cálculo do comprimento do micélio, aplicou-se a equação simplificada de Newman (1966). Os esporos foram extraídos utilizando-se a técnica de peneiramento úmido proposta por Colozzi Filho & Balota (1994). A determinação do IEA e DMP foi realizada segundo método de Nimmo & Perkins (2002). Para a determinação do IEA, utilizaram-se agregados com diâmetros entre 2,0 e 1,0 mm e para a determinação do DMP, utilizaram-se agregados com diâmetro entre 6,3 e 4,0 mm em conjunto de peneiras com abertura de 4,0; 2,0; 1,0; 0,5; 0,25 e 0,125 mm.

As variáveis foram submetidas à análise de variância seguindo o delineamento em blocos casualizados, com cinco repetições e quatro tratamentos e após foi realizado uma análise conjunta de experimentos. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($\alpha < 0,05$). Para os valores de produção de esporos foram utilizadas as transformações $\log(x+5)$. Determinaram-se as correlações entre os atributos avaliados, IEA, DMP e ESP com GFE, GT e MET.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foram observadas diferenças significativas nos teores de glomalina facilmente extraível (GFE) e glomalina total (GT), após a utilização das diferentes culturas no período de reforma do canavial tanto no Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) quanto no Latossolo Vermelho ácrico (LVw) (Quadro 1). Com base nos resultados obtidos, sugere-se que o tempo de condução das culturas no período de reforma do canavial, que foi de 18 meses, provavelmente não foi suficiente para que ocorressem aumentos nos teores das glomalinas no solo. Além disso, antes da implantação das culturas para o período de reforma do canavial, a área era cultivada com o monocultivo da cana-de-açúcar, o que possivelmente pode ter afetado a

comunidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) no local. Siqueira et al. (2007) descrevem que nos Estados Unidos, a monocultura do milho causou mudanças na comunidade dos FMAs nativos, selecionando fungos pouco eficientes para aquela monocultura. Sabe-se que monoculturas que mantêm o cultivo de apenas uma espécie vegetal poderiam propiciar uma comunidade de FMAs menos diversa (Carrenho et al., 2010). De acordo com Oehl et al. (2003) a monocultura do milho reduz em mais de 60% a densidade de esporos dos FMAs no solo. Portanto para o presente estudo, sugere-se que a monocultura da cana pode ter reduzido a comunidade de FMAs no local, afetando a produção de glomalina nestes solos.

Os teores de glomalina encontrados no presente estudo estão próximos aos encontrados por Purin (2005) (1,08 a 5,85 mg g⁻¹ solo), em áreas de pomar convencional e orgânico de maçãs, em um Cambissolo Húmico alumínico (490-570 g kg⁻¹ de argila) em Santa Catarina. Entretanto, maiores valores de glomalina podem ser verificados no solo, podendo existir uma ampla variação nos teores encontrados. Fokom et al. (2012), avaliando um campo cultivado com amendoim e milho consorciados com mandioca e banana, encontraram valores de GFE e GT de 6,51 e 8,45 mg g⁻¹, respectivamente. Em solo de floresta, esses autores encontraram valores de 10,56 mg g⁻¹ para GFE e 15,67 mg g⁻¹ para GT. Em regiões semi-áridas, como em uma pastagem localizada no Novo México (EUA) (786-815 g kg⁻¹ de areia, 125-146 g kg⁻¹ de silte e 60-78 g kg⁻¹ de argila), os teores de proteína foram baixos em relação aos valores apresentados, não excedendo a 0,3 e 0,6 mg g⁻¹ solo de GT (Bird et al., 2002). Estudos desenvolvidos demonstram que as frações de glomalina podem variar de 1 a 15 mg g⁻¹ de solo, em diferentes solos ácidos de diferentes regiões dos Estados Unidos (Wright & Upadhyaya, 1996; 1998) e ultrapassar 100 mg g⁻¹ de GT em solos tropicais do Hawaii com idade estimada de 4,1 milhões de anos (Rillig et al., 2001b).

Maior teor de glomalina foi observado no LVef (textura muito argilosa) em relação ao LVw (textura argilosa), com 39% e 26% a mais de GFE e GT (Quadro 1). Os principais fatores que estão envolvidos no controle da produção de glomalina no solo ainda não são claros (Rillig et al., 2001b). Contudo, segundo estes autores a combinação de concentração de nutrientes, clima, tipo do hospedeiro e diversidade de FMAs influencia a deposição dessas proteínas no

solo. Além disso, a quantidade de glomalina encontrada também pode variar de acordo com o tipo de solo (Wu et al., 2012). Para o presente estudo sugere-se que este resultado tenha ocorrido pela diferença na classe textural do LVef em relação ao LVw. Souza et al. (2011) avaliando a eficiência de extratores e da temperatura de armazenamento de amostras de solo sobre a quantidade de glomalina de um Neossolo Flúvico (147 g kg^{-1} de argila) e de um Luvisolo (269 g kg^{-1} de argila), observaram maior quantidade de glomalina no Luvisolo, o que pode se atribuído ao maior teor de argila encontrado neste solo. Segundo os autores a argila pode atuar na proteção da glomalina, reduzindo a ação de microrganismos decompositores. Segundo Wright & Anderson (2000), algumas rotações de culturas como, trigo/milho/milheto em plantio direto, favorecem a produção de glomalina e a formação de agregados no solo, em comparação a outros sistemas de rotação que incluíam o girassol. Assim, o cultivo que preconiza o aumento da estabilidade no solo, bem como, a redução da erosão pode, muitas vezes, beneficiar fatores que controlam a produção e manutenção das hifas extrarradiculares e das frações de glomalina (Cardoso & Kuyper, 2006). Driver et al. (2005) relataram que mais de 80% da glomalina produzida pelos FMAs está contida nas hifas esporos. Segundo os autores, a concentração de glomalina pode ser dependente do volume de hifas, uma vez que a glomalina é liberada no solo quando as hifas morrem ou senescem.

Observou-se interação significativa entre as diferentes culturas utilizadas no período de reforma do canal e os dois Latossolos, para os dados de comprimento de micélio externo total no solo (CMET) (Quadro 1). Quando se compara os solos para cada cultura utilizada, observa-se maior CMET no LVw onde houve os cultivos de soja e soja/crotalária/soja em relação ao LVef (Quadro 2). No LVef maior CMET foi encontrado onde houve o cultivo de soja/milho/soja. Já no LVw também foi encontrado maior CMET onde houve o cultivo de soja/milho/soja e também onde houve o cultivo de soja/crotalária/soja (Quadro 2). Os resultados do presente estudo evidenciam que cultivos de gramíneas e leguminosas favorecem para que ocorra o aumento do micélio no solo. Além disso, o desenvolvimento extrarradicular do micélio conecta as raízes de diversas plantas vegetais, ocasionando uma nova dinâmica na aquisição de nutrientes pela vegetação (Silveira & Freitas, 2007) favorecendo o seu desenvolvimento.

O fato de gramíneas e leguminosas apresentarem efeitos benéficos na formação do micélio externo deve-se, pelo diferente sistema radicular e qualidade de resíduos produzidos. Para o processo de micorrização, as gramíneas se destacam devido à morfologia de seu sistema radicular, pois elas possuem maior volume de raízes finas e sistema radicular abundante e de rápido crescimento (Cordeiro et al., 2005). Já o sistema radicular das leguminosas possui alta capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, maior taxa de degradação de seus resíduos devido a menor relação carbono/nitrogênio, além disso, pode favorecer o aumento da população de FMAs nativos do solo. De acordo com Rillig et al. (2002), a quantidade de micélio dos FMAs é responsável por mais de 50% do comprimento total de hifas fúngicas no solo, o que representa cerca de 20 a 30% da biomassa microbiana total do solo (Miller & Kling, 2000). Dessa forma, as hifas dos FMAs podem representar componente da biomassa microbiana do solo, além disso, também têm sido consideradas como importantes mediadoras na agregação do solo (Miller et al., 1995). Provavelmente, para o presente estudo, as hifas não atuaram na estabilização dos agregados no solo, visto que não foi encontrada correlação entre o CMET com o IEA e DMP no solo (Quadro 6), o que pode ser atribuído a classe textural destes solos, uma vez que outros autores ressaltam a atuação das hifas em solos mais arenosos. Lutgen et al. (2003) avaliando o CMET e um solo com pastagem (145 g kg⁻¹ de argila) encontraram valores de micélio, correspondente a 50 m g⁻¹ solo.

Foi observada interação significativa entre as diferentes culturas utilizadas no período de reforma do canavial e os Latossolos para o número de esporos dos FMAs (ESP) (Quadro 1). Maior número de ESP no LVef foi encontrado no solo onde houve o cultivo de soja/pousio/soja (Quadro 3). Fokom et al. (2012) sugerem que o solo em pousio pode ser restaurado, pois há algum tipo de recuperação da matéria orgânica perdida quando o solo é deixado em repouso por um tempo. Foi observada semelhança no número de ESP nos dois solos cultivados com soja/pousio/soja (Quadro 3). Entretanto apenas no LVef o tratamento soja/pousio/soja foi superior aos demais. Este resultado sugere que nesse caso, o maior teor de argila deste solo, provavelmente não favoreceu a multiplicação dos fungos nos outros tratamentos. A comparação entre os dois Latossolos para cada

tipo de cultura mostra que os maiores valores de ESP foram encontrados onde houve os cultivos de soja, soja/milho/soja e soja/crotalária/soja no LVw (Quadro 3). Com base nos resultados obtidos, sugere-se que o maior número de ESP no LVw, pode ser devido ao menor teor de argila deste solo em relação ao LVef, que possui textura mais argilosa. Tanto no LVef quanto no LVw foi encontrado baixo número de esporos (Quadro 1). Este resultado sugere que, além do preparo do solo para o plantio da cana-de-açúcar que pode ter reduzido o número de esporos no solo, o fato da área ter sido cultivada anteriormente com a monocultura da cana também pode ter favorecido para a redução dos esporos no solo. Segundo Focchi et al. (2004), dependendo do grau de distúrbio do solo, determinadas espécies podem permanecer por muito tempo no solo apresentando baixa ou nenhuma esporulação. Desta forma, de acordo com Moreira & Siqueira (2006), embora a abundância de esporos no solo não seja um indicativo da associação micorrízica, a ausência dos esporos também não indica, necessariamente, a ausência do fungo, pois há um espaço de tempo entre a associação micorrízica e a esporulação.

Tanto no LVef quanto no LVw, não foram encontradas diferenças no índice de estabilidade de agregados (IEA), após a utilização das diferentes culturas no período de reforma do canavial (Quadro 4). Fernandes et al. (2012) também verificaram que não houve diferenças nos valores de IEA no LVef, determinados após o período de reforma do canavial.

Os resultados de IEA encontrados no presente estudo sugerem que o preparo do solo para o plantio da cana-de-açúcar, possa ter diminuído a estabilidade de agregados do solo. Em comparação aos resultados obtidos por Fernandes et al. (2012), pode-se dizer que houve uma redução no IEA do LVef em 20, 25, 22 e 30% para os solos cultivados com soja (S), soja/pousio/soja (SPS), soja/milho/soja (SMS) e soja/crotalária/soja (SCS) e no IEA do LVw em 25, 23, 20 e 18% para os solos cultivados com S, SPS, SMS e SCS. Observou-se maior IEA no LVef em relação ao LVw (Quadro 4). Acredita-se que este resultado tenha ocorrido pela diferença na classe textural entre esses solos. Assim, além de aspectos de manejo e clima, Bronick & Lal (2005) comentaram que a textura é de fundamental importância na estabilidade dos agregados devido a concentração de argila afetar a agregação através da expansão e dispersão das partículas de solo.

Madari et al. (2005), avaliando um experimento de longa duração (12 anos) de plantio direto e plantio convencional, sob rotação e sucessão de culturas na agregação de um Latossolo Vermelho eutrófico (726 a 800 g kg⁻¹ de argila) em Londrina-PR, também verificaram que não houve diferenças nos índices de agregação, tanto em rotação quanto em sucessão de culturas. Garcia & Rosolem (2010), avaliando um Latossolo sob sistema de plantio direto e rotação de culturas no período outono-inverno com braquiária, sorgo e consórcio sorgo com braquiária e na primavera com os cultivos de milho, 'Cober Crop' (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*), crotalária e pousio, também verificaram que o IEA não foi influenciado pelos tratamentos no primeiro ano de avaliação. No entanto, quando realizada a análise de IEA, após o terceiro ano de rotação de culturas, observaram-se efeitos positivos das espécies vegetais nos 10 cm iniciais do perfil do solo. De acordo com os autores, além da ausência de revolvimento do solo, dos resíduos vegetais na superfície do solo, junto com o contínuo crescimento radicular das plantas, são fundamentais na melhoria e manutenção da agregação do solo. A agregação pode ter seu efeito acelerado pela exploração radicular, que no processo de crescimento, promove a aproximação das partículas ao longo dos anos (Garcia & Rosolem, 2010).

Observou-se interação significativa entre as diferentes culturas utilizadas no período de reforma do canavial e os Latossolos para o diâmetro médio ponderado dos agregados do solo (Quadro 4). No LVef não foi encontrada diferença no DMP após a utilização das culturas. Entretanto, no LVw foi encontrado maior DMP no solo com o cultivo de soja em relação aos cultivos de soja/pousio/soja e soja/crotalária/soja, enquanto que soja/milho/soja foi igual aos demais tratamentos (Quadro 5). Quando se compara os latossolos para cada cultura, foi observado maior DMP no LVef onde houve o cultivo de soja/crotalária/soja. Garcia & Rosolem (2010) também verificaram que a adoção de plantas de cobertura ('Cober Crop' - *Sorghum bicolor* e *Sorghum sudanense*, crotalária e milho) melhorou o DMP do solo, resultado este que foi encontrado já no primeiro ano de avaliação, com a observação de que as três espécies utilizadas como plantas de cobertura foram superiores ao pousio. Os autores sugerem que a maior produção de matéria seca da

parte aérea e crescimento radicular das gramíneas favoreceram a agregação do solo.

Para o presente estudo, as correlações entre índice de estabilidade de agregados do solo, diâmetro médio ponderado dos agregados com o comprimento de micélio externo total e glomalinas não foram significativas tanto para o Latossolo Vermelho eutroférico quanto para o Latossolo Vermelho ácrico (Quadro 6). Este resultado é contrário a maioria dos autores. Caravaca et al. (2006), avaliando a estabilidade de agregados após a inoculação de fungos micorrízicos, observaram um aumento significativo na estabilidade de agregados no solo. Esses autores relacionaram o crescimento dos fungos com o aumento da estabilidade dos agregados, pois, suas hifas promoveram a melhoria na estruturação do solo. Os fungos micorrízicos são componentes essenciais tanto para a revegetação de áreas degradadas quanto para a manutenção da estrutura do solo, reduzindo assim os riscos de erosão (Caravaca et al., 2006). Além disso, diferentes trabalhos que relacionam a inoculação de diferentes espécies de FMAs têm mostrado efeitos benéficos em relação à agregação do solo. Bedini et al. (2009), avaliando alterações na agregação do solo afetadas pela inoculação de fungos micorrízicos da espécie *Glomus*, verificaram que os valores encontrados de DMP mostraram correlação com o comprimento total das hifas, bem como destacaram que o DMP foi positivamente correlacionado com a glomalina. Existem também trabalhos em campo que evidenciam a correlação positiva entre esses atributos (Fokom et al., 2012; Shixiu et al., 2012; Wu et al., 2012). Albuquerque et al. (2005), avaliando o efeito de um experimento de longa duração com os sistemas de plantio direto e convencional com e sem calagem, também observaram que a estabilidade de agregados foi correlacionada com o micélio fúngico.

Com base nos resultados obtidos, não se pode afirmar que o crescimento das hifas dos FMAs e a glomalina foram fatores que contribuíram para a estabilidade de agregados nos dois Latossolos. Além do tempo de condução das culturas no período de reforma do canavial, que pode ter contribuído para este resultado, o fato da área ter sido conduzida durante anos com a monocultura da cana, pode ter afetado a propagação dos FMAs no local. Segundo Purin & Klauberg Filho (2010) para que o micélio aumente a produção de glomalina no solo, é necessário que além

da decomposição e incorporação dos resíduos vegetais, os nutrientes devam ser absorvidos e realocados pelo fungo micorrízico para a planta hospedeira. Ainda de acordo com estes autores, após este processo, é que poderá existir o direcionamento de recursos dentro do micélio para aumentar a produção de proteína. Além disso, durante o período de reforma do canavial, a área foi submetida a diversas operações agrícolas para o plantio das culturas e para o plantio da cana-de-açúcar, resultando em maior revolvimento do solo. Processo este, que pode ter causado a fragmentação da rede de hifas dos FMAs que envolvem os agregados no solo, reduzindo a produção de glomalina e podendo também afetar a propagação dos fungos no local, diminuindo a atuação destes na estabilização dos agregados do solo. Segundo Entry et al. (2002), o revolvimento do solo expõe na sua superfície, parte das estruturas fúngicas que atuam como propágulos (esporos, hifas e raízes colonizadas), afetando-os diretamente, por ação da incidência da radiação solar, de altas temperaturas e variações de umidade.

De acordo com Rillig et al. (2003b), mesmo em solos onde a matéria orgânica não é o principal agente de ligação primária do solo e onde a glomalina e a agregação não estão correlacionados, os FMAs parecem produzir glomalina. Purin & Rillig (2007), ao debaterem sobre as limitações, progressos e hipóteses para a função da glomalina, sugerem que a promoção da agregação do solo pode não ser a função primária da glomalina.

Sugere-se que outros fatores possam ter atuado na estabilização dos agregados no solo. É importante salientar que os demais microrganismos do solo, como outros fungos e bactérias, também exercem papel na agregação do solo (Tisdall & Oades, 1979). Entretanto, o papel dos FMAs na agregação do solo é importante para o aumento da qualidade do solo e, conseqüentemente, para a produção agrícola, além disso, esses fungos atuam melhorando a absorção de nutrientes de baixa mobilidade no solo para as plantas. É importante destacar que muitos dos trabalhos que evidenciam correlação entre os índices de estabilidade de agregados e os fungos micorrízicos, são conduzidos em casa de vegetação com a inoculação de FMAs ou em campo, mas por vários anos em sistema de semeadura direta. Mesmo não tendo encontrado correlações entre esses atributos, o presente estudo foi importante, devido a carência de informações encontradas no que diz

respeito a atuação da glomalina e das hifas na estabilização dos agregados no solo, sobretudo quando se trata de um ambiente de produção como o da cana-de-açúcar. Desta forma outros estudos são necessários para tentar compreender quais os principais fatores que atuam na agregação destes solos, buscando sempre favorecer a comunidade dos FMAs, pois estes tem importante papel não só para as plantas como também na agregação do solo.

CONCLUSÕES

1- Nenhuma das culturas utilizadas no período de reforma do canavial teve efeitos benéficos no índice de estabilidade de agregados nos dois Latossolos estudados.

2- No Latossolo Vermelho ácrico, maior número de esporos foi encontrado onde houve os cultivos de soja, soja/milheto/soja e soja/crotalária/soja.

3- A utilização de milho ou crotalária entre dois cultivos de soja proporcionou benefícios para o desenvolvimento do comprimento de micélio externo total Latossolo Vermelho ácrico. Já no Latossolo Vermelho eutroférico foi o cultivo de soja/milheto/soja.

4- Tanto no Latossolo Vermelho eutroférico quanto no Latossolo Vermelho ácrico não foram observadas diferenças nos teores de glomalina após a utilização de soja, soja/pousio/soja, soja/milheto/soja e soja/crotalária/soja.

LITERATURA CITADA

- ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C.; PASSOS, J. F. M. Avaliação de sistemas de preparo e calagem em um Latossolo Bruno Alumínico. R. Bras. Ci. Solo, 29: 963-975, 2005.
- BALOTA, E. L.; KANASHIRO, M.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; DICK, R. P. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agro-ecosystems. Braz. J. Microbiol., 35(4): 300-306, 2004.
- BEDINI, S.; PELLEGRINO, E.; AVIO, L.; PELLEGRINI, S.; BAZZOFFI, P.; ARGESE, E.; GIOVANNETTI, M. Changes in soil aggregation and glomalin-related soil protein content as affected by arbuscular mycorrhizal fungal species *Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*. Soil Biol. Biochem., 41: 1491-1496, 2009.

- BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A. C. III – Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: FERNANDES, M. S. Nutrição mineral de plantas. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 54-79.
- BIRD, S. B.; HERRICK, J. E.; WANDER, M. M.; WRIGHT, S. F. Spatial heterogeneity of aggregate stability and soil carbon in semi-arid rangeland. *Environ. Pollut.*, 116(3): 445-455, 2002.
- 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(1-2): 248-254, 1976.
- BRONICK, C. J. & LAL, R. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124: 3-22, 2005.
- CARAVACA, F.; ALGUACIL, M. M.; AZCÓN, R.; ROLDÁN, A. Formation of stable aggregate in rhizosphere soil of *Juniperus oxycedrus*: Effect of AM fungi and organic amendments. *Appl. Soil Ecol.*, 33: 30-38, 2006.
- CARDOSO, I. M. & KUYPER, T. W. Mycorrhizas and tropical soil fertility. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 116: 72-84, 2006.
- CARENHO, R.; GOMES-DA-COSTA, S. M.; BALOTA, E. L.; COLOZZI FILHO, A. Fungos micorrízicos arbusculares em agrossistemas brasileiros. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. *Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil*. 1. Ed. Lavras: UFLA, 2010. cap. 7, p. 215-249.
- COLOZZI FILHO, A. & BALOTA, E. Micorrizas arbusculares. In: HUNGRIA, M. & ARAUJO, R.S. (Eds.). *Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola*. Brasília: Embrapa-SPI, 1994, p. 383-418.
- CORDEIRO, M. A. S.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; SAGGIN-JUNIOR, O. J. Colonização e densidade de esporos de fungos micorrízicos em dois solos do cerrado sob diferentes sistemas de manejo. *Pesq. Agropec. Trop.*, 35(3): 147-153, 2005.
- DENEF, K.; SIX, J.; BOSSUYT, H.; FREY, S. D.; ELLIOT, E. T.; MERCKX, R.; PAUSTIAN, K. Influence of dry-wet cycles on the interrelationship between aggregate, particulate. *Soil Biol. Biochem.*, 33: 1599-1611, 2001.

- DRIVER, J. D.; HOLBEN, W. E.; RILLIG, M. C. Characterization of glomalin as hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biol. Biochem.*, 37: 101-106, 2005.
- ENTRY, J. A.; RYGIOWICZ, P. T.; WATRUD, L. S.; DONNELLY, P. K. Influence of adverse soil conditions on the formation and function of arbuscular mycorrhizas. *Adv. Environ. Res.*, 7: 123-138, 2002.
- FERNANDES, C.; CORÁ, J. E.; MARCELO, A. V. Soil uses in the sugarcane fallow period to improve chemical and physical properties of two Latosols (Oxisols). *R. Bras. Ci. Solo*, 36: 283-294, 2012.
- FOCCHI, S. S.; DAL SOGLIO, F. K.; CARRENHO, R.; SOUZA, P. V. D.; LOVATO, P. E. Fungos micorrízicos arbusculares em cultivos de citros sob manejo convencional e orgânico. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39(5): 469-476, 2004.
- FOKOM, R.; ADAMOUE, S.; TEUGWA, M. C.; BEGOUDE BOYOGUENO, A. D.; NANA, W. L.; NGONKEU, M. E. L.; TCHAMENI, N. S.; NWAGA, D.; TSALA NDZOMO, G.; AMVAM ZOLLO, P. H. Glomalin related soil protein, carbon, nitrogen and soil aggregate stability as affected by land use variation in the humid forest zone of South Cameroon. *Soil Till. Res.*, 120: 69-75, 2012.
- FRANZLUEBBERS, A. J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil Till. Res.*, 66: 95-106, 2002a.
- FRANZLUEBBERS, A. J. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil Till. Res.*, 66: 197-205, 2002b.
- GARCIA, R. A. & ROSOLEM, C. A. Agregados em um Latossolo sob sistema plantio direto e rotação de culturas. *Pesq. Agropec. Bras.*, 45(12): 1489-1498, 2010.
- LUTGEN, E. R.; MUIR-CLAIRMONT, D.; GRAHAM, J.; RILLIG, M. Seasonality of arbuscular mycorrhizal hyphae and glomalin in a western Montana grassland. *Plant Soil*, 257: 71-83, 2003.
- MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A.; TORRES, E.; ANDRADE, A. G.; VALENCIA, L. I. O. No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from Southern Brazil. *Soil Till. Res.*, 80: 185-200, 2005.

- 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.
- MILLER, R. M. & KLING, M. The importance of integration and scale in the arbuscular mycorrhizal symbioses. *Plant Soil*, 226: 295-309, 2000.
- MILLER, R. M.; REINHARDT, D. R.; JASTROW, J. External hyphal production of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in pasture and tallgrass prairie communities. *Oecologia*, 103: 17-23, 1995.
- MIRANDA, J. C. C. & MIRANDA, L. N. Micorriza arbuscular. In: VARGAS, M. A. & HUNGRIA, M. *Biologia dos Cerrados*. Brasília: EMBRAPA-CPAC, 1997, p. 69-123.
- MOREIRA, F. M. S. & SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e Bioquímica do solo*. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 729p.
- 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).
- OEHL, F.; SIEVERDING, E.; INEICHEN, K.; MADER, P.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A. Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of Central Europe. *Appl. Environ. Microbiol.*, 69: 2816-2824, 2003.
- PURIN, S. Fungos micorrízicos arbusculares: atividade, diversidade e aspectos funcionais em sistemas de produção de maçãs. 2005. 182 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2005.
- PURIN, S. & KLAUBERG FILHO, O. Glomalina: nova abordagem para entendermos a biologia dos fungos micorrízicos arbusculares. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. *Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil*. 1. Ed. Lavras: UFLA, 2010. cap. 7, p. 215-249.

- PURIN, S.; KLAUBERG FILHO, O.; STÜRMER, S. L. Mycorrhizae activity and diversity in conventional and organic apple orchards from Brazil. *Soil Biol. Biochem.*, 38(7): 1831-1839, 2006.
- PURIN, S. & RILLIG, M. C. The arbuscular mycorrhizal fungal protein glomalin: Limitations, progress, and a new hypothesis for its function. *Pedobiologia*, 5(2): 123-130, 2007.
- RILLIG, M. C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin and soil quality. *Can. J. Soil Sci.*, 84: 355-363, 2004.
- RILLIG, M. C.; MAESTRE, F. T.; LAMIT, L. J. Microsite differences in fungal hyphal length, glomalin, and soil aggregate stability in semiarid Mediterranean steppes. *Soil Biol. Biochem.*, 35: 1257-1260, 2003b.
- 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(2): 293-299, 2003a.
- RILLIG, M. C.; WRIGHT, S. F.; EVINER, V. T. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. *Plant Soil*, 238(2): 325-333, 2002.
- RILLIG, M. C.; WRIGHT, S. F.; KIMBALL, B. A.; PINTER, P. J.; WALL, G. W.; OTTMAN, M. J.; LEAVITT, S. W. Elevated carbon dioxide and irrigation effects on water stable aggregates in a Sorghum field: A possible role for arbuscular mycorrhizal fungi. *Global Change Biol.*, 7(3): 333-337, 2001a.
- RILLIG, M. C.; WRIGHT, S. F.; NICHOLS, K. A.; SCHMIDT, W. F.; TORN, M. S. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. *Plant Soil*, 233: 167-177, 2001b.
- SHIXIU, Z.; LI, Q.; XIAOPING, Z.; WEI, K.; LIJUN, C.; LIANG, W. Effects of conservation tillage on soil aggregation and aggregate binding agents in black soil of Northeast China. *Soil Till. Res.*, 124: 196-202, 2012.
- SILVEIRA, A. D. P. & FREITAS, S. S. Microbiota do solo e qualidade ambiental. Instituto Agronômico Campinas. Campinas, SP, 2007. 312 p.
- SIQUEIRA, J. O.; SOARES, C. R. F. S.; SANTOS, J. G.; SCHNEIDER, J.; CARNEIRO, M. A. C. Micorrizas e degradação do solo: caracterização, efeitos

- e ação recuperadora. In: CERETTA, C. S.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. Ed. Tópicos em Ciência do solo. Viçosa, MG, SBCS, 2007. p. 219-306.
- SMITH, S. E. & READ, D. J. Mycorrhizal symbiosis. Academic Press, London. 2008. 787p. (ISBN: 978-0-12-370526-6).
- SOUZA, C. S.; MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; LIMA, F. S. Influências da temperatura de armazenamento e de extratores na determinação de glomalina em solos paraibanos. Rev. Ciênc. Agron., 42(4): 837-841, 2011.
- TISDALL, J. M. & OADES, J. M. Stabilization of soil aggregates by the root system of ryegrass. Austr. J. Soil Res., 17: 429-441, 1979.
- WRIGHT, S. F. & ANDERSON, R. L. Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the central Great Plains. Biol. Fertil. Soils, 31: 249-253, 2000.
- WRIGHT, S. F. & UPADHYAYA, A. A survey of soils aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. Plant Soil, 198: 97-107, 1998.
- WRIGHT, S. F. & UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. Soil Sci., 161: 575-586, 1996.
- WU, Q. S.; ELE, X. H.; ZOU, Y. N.; ELE, K. P.; SUN, Y. H.; CAO, M. Q. Spatial Distribution of glomalin-related soil protein and its relationships with root mycorrhization, soil aggregate, carbohydrates, activity of protease and β -glucosidase in the rhizosphere of *Citrus unshiu*. Soil Biol. Biochem., 45: 181-183, 2012.

Quadro 1. Glomalina facilmente extraível (GFE), glomalina total (GT), comprimento do micélio externo total (CMET) e esporos (ESP) na camada de 0,0 – 0,1 m de profundidade, após o primeiro corte da cana-de-açúcar.

Latossolo Vermelho eutroférico (LVef)				
Culturas (C)	GFE	GT	CMET	ESP ⁽¹⁾
	----- mg g ⁻¹ solo -----		m g ⁻¹ solo	nº/50 ml solo
Soja	1,19	4,13	0,86	0,60 (0,74)
Soja/Pousio/Soja	1,12	4,15	1,47	4,60 (0,98)
Soja/Milheto/Soja	1,17	4,11	2,36	0,80 (0,76)
Soja/Crotalária/Soja	1,24	4,34	1,03	1,00 (0,77)
F (culturas)	1,54 ^{NS}	0,96 ^{NS}	37,1	9,81
CV (%)	7,63	5,96	17,2	9,76
Latossolo Vermelho ácrico (LVw)				
Culturas (C)	GFE	GT	CMET	ESP
	----- mg g ⁻¹ solo -----		m g ⁻¹ solo	nº/50 ml solo
Soja	0,88	3,45	1,29	8,00 (1,11)
Soja/Pousio/Soja	0,86	3,35	1,03	4,80 (0,98)
Soja/Milheto/Soja	0,83	3,24	2,11	9,20 (1,15)
Soja/Crotalária/Soja	0,82	3,25	1,79	7,00 (1,07)
F (culturas)	0,28 ^{NS}	0,56 ^{NS}	23,1	3,61
CV (%)	13,8	8,85	14,5	7,61
Local (L)	GFE	GT	CMET	ESP
	----- mg g ⁻¹ solo -----		m g ⁻¹ solo	nº/50 ml solo
LVef	1,18 a	4,18 a	1,43	1,75 (0,81)
LVw	0,85 b	3,33 b	1,56	7,25 (1,08)
F (Local)	102,1 ^{**}	95,7 ^{**}	0,19 ^{NS}	8,95 ^{NS}
F (C x L)	0,99 ^{NS}	1,03 ^{NS}	14,3 ^{**}	12,0 ^{**}

⁽¹⁾ Dados entre parênteses correspondem às médias transformadas para log (x+5). ^{NS} = não significativo, * = significativo a 5%, ** = significativo a 1%. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Quadro 2. Desdobramento da interação de culturas x solos referente aos dados de comprimento de micélio externo total (CMET) na camada 0,0 – 0,1 m de profundidade, após o primeiro corte da cana-de-açúcar.

Culturas	Local	
	Latossolo Vermelho eutroférico (LVef)	Latossolo Vermelho ácrico (LVw)
Soja	0,86 Cb	1,29 Ba
Soja/Pousio/Soja	1,47 Ba	1,03 Bb
Soja/Milheto/Soja	2,36 Aa	2,11 Aa
Soja/Crotalária/Soja	1,03 Cb	1,79 Aa

CMET: micélio externo total (m g^{-1} solo). Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quadro 3. Desdobramento da interação de culturas x solos referente aos dados de esporos (ESP) na camada 0,0 – 0,1 m de profundidade, após o primeiro corte da cana-de-açúcar.

Culturas	Local	
	Latossolo Vermelho eutroférico (LVef)	Latossolo Vermelho ácrico (LVw)
Soja	0,74 Bb	1,11 ABa
Soja/Pousio/Soja	0,98 Aa	0,98 Ba
Soja/Milheto/Soja	0,76 Bb	1,15 Aa
Soja/Crotalária/Soja	0,77 Bb	1,07 ABa

ESP: $n^{\circ}/50$ ml solo. Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quadro 4. Índice de estabilidade de agregados do solo (IEA) e diâmetro médio ponderado dos agregados do solo (DMP), na camada de 0,0 – 0,1 m de profundidade, após o primeiro corte da cana-de-açúcar.

Culturas (C)	Latossolo Vermelho eutroférico (LVef)	
	IEA (%)	DMP (mm)
Soja	76,80	2,69
Soja/Pousio/Soja	74,20	2,50
Soja/Milheto/Soja	76,00	2,45
Soja/Crotalária/Soja	71,60	2,50
F (culturas)	1,62 ^{NS}	0,67 ^{NS}
CV (%)	5,42	11,3

Culturas (C)	Latossolo Vermelho ácrico (LVw)	
	IEA (%)	DMP (mm)
Soja	65,80	2,98
Soja/Pousio/Soja	62,80	2,18
Soja/Milheto/Soja	63,20	2,56
Soja/Crotalária/Soja	64,60	2,07
F (culturas)	0,40 ^{NS}	8,04 ^{**}
CV (%)	7,57	13,3

Local (L)	IEA (%)	DMP (mm)
LVef	74,65 a	2,53
LVw	64,10 b	2,45
F (local)	71,85 ^{**}	0,26 ^{NS}
F (C x L)	0,78 ^{NS}	3,12 [*]

^{NS} = não significativo, ^{*} = significativo a 5%, ^{**} = significativo a 1%. Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P = 0,05).

Quadro 5. Desdobramento da interação de culturas x solos referente aos dados de diâmetro médio ponderado dos agregados do solo (DMP) na camada 0,0 – 0,1 m de profundidade, após o primeiro corte da cana-de-açúcar.

Culturas	Local	
	Latossolo Vermelho eutroférico (LVef)	Latossolo Vermelho ácrico (LVw)
Soja	2,69 Aa	2,98 Aa
Soja/Pousio/Soja	2,50 Aa	2,18 Ba
Soja/Milheto/Soja	2,45 Aa	2,56 ABa
Soja/Crotalária/Soja	2,50 Aa	2,07 Bb

DMP: mm. Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quadro 6. Coeficiente de correlação entre as variáveis, índice de estabilidade de agregados do solo (IEA), diâmetro médio ponderado dos agregados do solo (DMP), esporos (ESP), glomalina facilmente extraível (GFE), glomalina total (GT) e comprimento de micélio externo total (CMET) na camada de 0,0 0,1 m de profundidade, após o primeiro corte da cana-de-açúcar.

Latossolo Vermelho eutroférico (LVef)			
	GFE	GT	CMET
IEA	-0,244 ^{NS}	0,105 ^{NS}	0,306 ^{NS}
DMP	-0,037 ^{NS}	-0,265 ^{NS}	-0,033 ^{NS}
ESP	-0,194 ^{NS}	0,003 ^{NS}	0,018 ^{NS}
Latossolo Vermelho ácrico (LVw)			
	GFE	GT	CMET
IEA	-0,122 ^{NS}	-0,082 ^{NS}	0,014 ^{NS}
DMP	-0,170 ^{NS}	-0,244 ^{NS}	-0,141 ^{NS}
ESP	-0,065 ^{NS}	-0,098 ^{NS}	0,440 ^{NS}

^{NS} = não significativo.

CAPÍTULO 3 - ATRIBUTOS FÍSICOS E FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB SEQUÊNCIAS DE CULTURAS EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA

RESUMO

A adoção de sistemas de rotação de culturas, em especial no sistema de plantio direto, tem sido preconizada para o manejo físico e biológico do solo. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito das diferentes culturas em sistema de semeadura direta nos atributos físicos do solo e na comunidade dos fungos micorrízicos arbusculares. O experimento foi instalado em setembro de 2002 em Jaboticabal, SP (48° 15'22" W e 21°18'58" S), em um Latossolo Vermelho eutrófico textura argilosa. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições e esquema em faixas. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de três sequências de culturas de verão: monocultura de milho (MM), monocultura de soja (SS) e rotação soja/milho (SM), com cultivos intercalados de soja e milho ano a ano. E sete culturas de entressafra: 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. As amostras de solo foram coletadas em outubro de 2011 na camada de 0,0-0,1 m de profundidade. Maior quantidade de glomalina total foi verificada no solo onde houve o cultivo da monocultura do milho em relação às demais sequências de culturas de verão. Não foram observadas diferenças nos valores de índice de estabilidade de agregados no solo após a utilização das diferentes culturas de verão e culturas de entressafra. Maior diâmetro médio ponderado dos agregados foi observado no solo onde houve os cultivos das sequências de culturas de verão, monocultura do milho e rotação soja/milho.

Termos de indexação: glomalina, hifas, agregação do solo, monocultura de milho

SUMMARY

PHYSICAL ATTRIBUTES AND ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI OXISOL UNDER A SEQUENCE OF CULTURES IN NO-TILLAGE

The adoption of systems of crop rotation, especially in no-till system, has been recommended for the management of physical and biological soil. The objective of this study was to evaluate the effect of different cultures in no-tillage on soil physical properties and the community of arbuscular mycorrhizal fungi. The experiment was conducted in September 2002 in Jaboticabal, SP (48°15'22" W and 21°18'58" S). The experimental design was a randomized block with three replicates in banded. The treatments were a combination of three sequences of summer crops: corn monoculture (MM), soybean monoculture (SS) and rotation soybean/corn (SM), with interplanting crops of corn and soybeans every year. And seven between harvests crops: corn, grain sorghum, sunflower, sun hemp, pigeonpea, oilseed radish, millet, sown in February / March, repeating every year the same agricultural crop harvests in the same plot. Soil samples were collected in October 2011 in the layer of 0.0-0.1 m deep. Greater amount of glomalin total was verified on the ground where there was cultivation of monoculture corn compared to other sequences of summer crops. There were no differences in the index values of stability of soil aggregates after the use of different crops and summer crops between harvests. Greater average diameter of the aggregates was observed in the soil where the crops were sequences of summer crops, monoculture corn and rotation soybean/corn.

Index terms: glomalin, hyphae, soil aggregation, corn monoculture

INTRODUÇÃO

O sistema de semeadura direta (SSD) pode levar a melhorias nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Ele pode ser utilizado como forma de evitar perdas por erosão, obter maior ciclagem de nutrientes, bem como o acúmulo de matéria orgânica no solo (Bayer et al., 2000; Aita et al., 2001). Além disso, a utilização destes sistemas de manejo do solo também pode beneficiar todos os microrganismos do solo, bem como a comunidade dos fungos micorrízicos

arbusculares (FMAs), que são organismos biotróficos obrigatórios, vivem em simbiose mutualística com a maioria das plantas terrestres, promovendo maior absorção de nutrientes para o hospedeiro (Silva et al., 2004).

Sistemas de manejo que visam o menor revolvimento do solo e que proporcionam acúmulo de resíduos na superfície do solo possibilitam a recuperação de seus atributos físicos e também favorecem a atividade dos FMAs no solo. Além disso, favorece para que não ocorra a fragmentação das hifas no solo, o que pode favorecer na promoção de seu potencial infectivo no solo. A utilização de rotação de culturas é determinante para a abundância micorrízica no solo. Ademais, favorece a multiplicação dos FMAs no solo e estimula o estabelecimento desta associação simbiótica e o efeito destas nas plantas (Miranda & Miranda, 1997).

Diante deste contexto, o manejo conservacionista do solo é uma alternativa apropriada para manter ou aumentar a diversidade de espécies de FMAs no solo. Estes fungos, além de incrementar a absorção de nutrientes pelas plantas (Nogueira & Cardoso, 2000), podem favorecer os processos de agregação dos solos (Rillig & Mummey, 2006). A melhoria na estabilidade dos agregados é devido ao efeito físico da rede de hifas dos FMAs que envolvem as partículas de solo. Além disso, segundo Caravaca et al. (2002), as raízes das plantas associadas as hifas micorrízicas podem formar uma rede tridimensional que enreda as partículas finas de solo, dando origem aos agregados. Outro importante papel dos FMAs para a formação e estabilização dos agregados no solo é por meio da ação química de uma glicoproteína, chamada glomalina (Rillig & Mummey, 2006). Segundo estes autores, a glomalina ainda é considerada uma importante molécula na estabilização dos agregados, ela pode reduzir a erosão eólica e hídrica e pode aumentar a infiltração de água no solo. Seu processo de acumulação no solo se dá após o processo de decomposição das hifas por microrganismos edáficos, além disso, esta glicoproteína também pode ser encontrada na parede dos esporos dos FMAs (Treseder et al., 2004; Driver et al., 2005). Com suas propriedades adesivas e cimentantes a glomalina age juntando às partículas finas do solo para formar os agregados (Wright & Upadhyaya, 1996; Purin et al., 2006).

A hipótese deste trabalho é que diferentes sequências de culturas em sistema de semeadura direta promovem melhorias na comunidade dos fungos micorrízicos

arbusculares (FMAs) e na agregação de um Latossolo Vermelho eutrófico. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito destas culturas na comunidade dos FMAs e na agregação do Latossolo Vermelho eutrófico.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em um Latossolo Vermelho eutrófico textura argilosa (565 g kg⁻¹ de argila, 370 g kg⁻¹ de areia e 65 g kg⁻¹ de silte) em campo experimental da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal (FCAV – UNESP) com latitude 21° 15' 22" S, longitude 48° 18' 58" W e altitude média de 595 metros. O clima, segundo classificação Köppen, é do tipo Aw, com temperatura do mês mais quente superior a 22 °C e a do mês mais frio superior a 18 °C e precipitação média anual de 1.424,6 mm.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições e esquema em faixas. Os tratamentos foram constituídos pela 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 (*Zea mays* L.) (MM); monocultura de soja (*Glycine max* L. Merrill) (SS) e rotação soja-milho (SM), sendo cultivos intercalados de soja e milho ano a ano. A cultura utilizada na rotação soja/milho no ano de 2011 foi a cultura do milho. As culturas de entressafra 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.) Leake), semeadas em fevereiro-março (entressafra), repetindo-se a cada ano agrícola a mesma cultura de entressafra na mesma parcela. As culturas de milho, girassol e sorgo foram conduzidas até a colheita dos grãos e as culturas de nabo forrageiro, milheto, guandu e crotalária foram manejadas com triturador de resíduos vegetais mecanizado por ocasião do pleno florescimento. Demais descrições a respeito da instalação do experimento, que ocorreu em 2002, e condução das culturas encontram-se em Marcelo (2011).

Em março de 2011, as culturas de verão foram colhidas e logo após as culturas de entressafra foram semeadas. Em outubro de 2011, após a coleta das culturas de entressafra, coletaram-se amostras deformadas de solo, em três pontos

por parcela, na camada de 0,0-0,10 m de profundidade. As amostras deformadas de solo, coletadas com trado, foram destinadas para a determinação da glomalina facilmente extraível (GFE), glomalina total (GT), comprimento de micélio externo total (CMET), esporos dos FMAs (ESP), matéria orgânica do solo (MO) e índice de estabilidade de agregados do solo (IEA). As amostras deformadas de solo, coletadas com enxadão, foram destinadas a análise do diâmetro médio ponderado dos agregados do solo (DMP).

A extração da glomalina facilmente extraível e glomalina total foram realizadas conforme método proposto por Rillig et al. (2003a) e quantificada pela técnica de Bradford (1976). A extração do micélio externo total foi realizada de acordo com o método proposto por Melloni & Cardoso (1999) e para o cálculo do comprimento do micélio, aplicou-se a equação simplificada de Newman (1966). Os esporos foram extraídos utilizando-se a técnica de peneiramento úmido proposta por Colozzi Filho & Balota (1994). A MO do solo foi determinada segundo método proposto por Cantarella et al. (2001) e a determinação do IEA e DMP, segundo método proposto por Nimmo & Perkins (2002). Para a determinação do IEA, utilizaram-se agregados com diâmetros entre 2,0 e 1,0 mm e para a determinação do DMP, utilizaram-se agregados com diâmetro entre 6,3 e 4,0 mm em conjunto de peneiras com aberturas de 4,0; 2,0; 1,0; 0,5; 0,25 e 0,125 mm.

As variáveis foram submetidas à análise de variância, seguindo o delineamento em blocos casualizados, com três repetições e esquema em faixas e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($\alpha < 0,05$). Para os valores de produção de esporos utilizou-se a transformação $\log(x+1)$. Determinaram-se as correlações entre os atributos avaliados, IEA, DMP, MO e ESP com GFE, GT e CMET.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foi observada diferença na quantidade de glomalina facilmente extraível (GFE) após a utilização das sequências de culturas de verão e culturas de entressafra (Quadro 1). Para a quantidade de glomalina total (GT), também não foram encontradas diferenças após as culturas de entressafra, entretanto, observou-se aumento na quantidade de GT no solo cultivado com a monocultura do milho

(Quadro 1). Este resultado pode ser explicado pelo fato de a cultura do milho proporcionar efeitos benéficos para a comunidade de fungos micorrízicos no solo. Com base nos resultados obtidos, acredita-se que, o fato de ter sido encontrado aumentos apenas na quantidade de GT e não na quantidade de GFE após as sequências de culturas de verão, seja porque ela vem sendo adicionada no solo ao longo dos anos do experimento, o que pode ser explicado pelo fato de a GT estar mais aderida aos agregados, sendo considerada mais recalcitrante, enquanto que a GFE é a glomalina recentemente produzida, que está mais lábil no solo.

Os resultados do presente estudo sugerem que, o fato da glomalina não ter sofrido influências das diferentes culturas de entressafra utilizadas pode estar relacionado ao número de esporos no solo, visto que essa variável também não sofreu influências das diferentes culturas de entressafra utilizadas. Borie et al. (2000), avaliando a micorrização e a agregação do solo em sistema de plantio direto aos 4 (rotação: triticales/tremoço/triticales), 7 (trigo/trigo/trigo/tremoço) e 20 anos (milho/trigo), observaram que tanto a quantidade de GT quanto a quantidade de GFE foram maiores em solo cultivado por 20 anos. Entretanto, os teores de glomalina proveniente do solo cultivado por 4 anos foram superiores aos teores obtidos em solo sob 7 anos de cultivo. Segundo os autores, isso ocorreu porque no solo cultivado por 7 anos, o último cultivo foi de tremoço, espécie que não forma micorrizas e onde a porcentagem de agregação foi a menor de todos os solos. Para o presente estudo, esperava-se que a quantidade das glomalinas no solo cultivado com nabo forrageiro fosse menor em relação às demais culturas de entressafra utilizadas, pois esta é uma espécie que não possui dependência micorrízica.

Os resultados de GT do presente estudo estão próximos aos encontrados por Borie et al. (2000). Os autores encontraram teores de glomalina variando de 0,91 a 3,59 mg g⁻¹. Curaqueo et al. (2010), avaliando áreas sob plantio direto e plantio convencional com rotação trigo/milho em um Mollisol (Chernossolo), encontraram quantidade de glomalina variando de 1,16 a 8,16 mg g⁻¹ solo. Com base nos resultados observados, pode-se dizer que a quantidade de glomalina encontrada no solo, é originada dos esporos dos FMAs, visto que foi encontrada correlação positiva entre as glomalinas e esporos no solo (Quadro 4).

Observou-se interação significativa entre as sequências de culturas de verão e culturas de entressafra para o comprimento de micélio externo total no solo (CMET) (Quadro 1). Foi observado aumento do CMET, no solo onde houve o cultivo do milho na monocultura do milho, em relação às demais sequências de culturas de verão (Quadro 2). Também foi encontrado maior CMET após o milheto na rotação soja/milho e na monocultura do milho em relação a monocultura da soja. Quando se compara as culturas de entressafra na rotação soja/milho, é encontrado maior CMET após o cultivo de milheto e quando se compara as culturas de entressafra na monocultura do milho, é encontrado maior CMET onde houve os cultivos de milho e milheto. Os resultados do presente estudo evidenciam que as gramíneas (milho e milheto) podem ter favorecido para que ocorresse aumento do CMET no solo. O que pode ter ocorrido pela abundância de seu sistema radicular e de suas raízes finas que favorecem a colonização das raízes pelas hifas, expandindo a área de exploração das raízes, além disso, são plantas que possuem efeitos benéficos sobre os fungos micorrízicos arbusculares.

Avaliando o sexto ano de um experimento em um Argissolo, com rotação de culturas, em plantio direto, preparo reduzido e preparo convencional com palha misturada ao solo ou mistura de palha queimada, Borie et al. (2006) observaram que não houve diferenças no CMET após o cultivo de trigo. Entretanto após, foi implantada no local uma pastagem. Posteriormente os autores verificaram que após o cultivo de *Trifolium pratense L.* e *Lolium multiflorum L.* houve um acréscimo no CMET no solo, verificando que o aumento de micélio foi de 3,5 para 19,1 m g⁻¹ solo, resultado este que evidencia o papel benéfico das gramíneas no solo. Os resultados do presente estudo, estão próximos aos encontrados por Curaqueo et al. (2011), os autores avaliaram o efeito de sistema de semeadura direta e sistema de preparo convencional nos propágulos de FMAs em um Mollisol sob rotação trigo/milho e encontraram valores de CMET de 3,74 e 5,96 m g⁻¹ solo em sistema de plantio direto por 10 e 6 anos, respectivamente.

Estimativas de CMET em campo, apresentados em vários trabalhos, mostram que os valores encontrados são bastante variados. Essa variação nos valores de micélio pode ocorrer devido à textura do solo, o tipo de cultura e a espécie fúngica do local. Desta forma, Miller et al. (1995), em Pradarias americanas, estimaram que

o CMET foi de até 111 m cm^{-3} solo. Lutgen et al. (2003), avaliando o comprimento de micélio em um solo com pastagem, encontraram valores de micélio de 50 m g^{-1} solo. Os resultados obtidos por estes autores indicam que um solo com menor teor de argila favorece o desenvolvimento do CMET. Em áreas de mineração em um Cambissolo distrófico com diferentes tipos de vegetação e idades de reabilitação, Melloni et al. (2003) encontraram CMET variando de 0 a 60 m g^{-1} solo. Assim, o aumento do micélio pode atuar explorando um grande volume de solo que não está acessível às raízes das plantas, favorecendo com que ocorra incremento na absorção de nutrientes, pois as hifas atuam como extensões do sistema radicular das plantas.

Observou-se maior número de esporos no solo onde houve o cultivo da monocultura do milho em relação a rotação soja/milho (SM) (Quadro 1). Em 2011, a cultura utilizada na rotação SM foi o milho, o fato de não ter sido encontrado maior número de esporos também neste tratamento, seja devido ao cultivo da soja no ano anterior, que pode ter diminuído a atuação destes fungos no local. Segundo Miranda & Miranda (2002), o cultivo da rotação soja/milho multiplica mais espécies de FMAs presentes no solo, aumentando, as possibilidades de uma associação micorrízica mais eficiente apenas para a cultura da soja. O número de esporos na área com milho deve-se, provavelmente, à maior eficiência fotossintética das gramíneas, que podem investir fotossintatos na simbiose com os FMAs (Cordeiro et al., 2005). Além destes fatores, a cultura do milho proporciona aumentos na densidade de esporos de FMAs, devido à exsudação de compostos bioativos que estimulam a germinação e crescimento micelial (Siqueira & Klauberg Filho, 2000). De maneira geral, foram baixos os números de esporos encontrados no presente estudo, este resultado sugere que a classe textural de solo, que é considerada argilosa, não tenha favorecido a multiplicação dos esporos dos FMAs no solo.

Não foram encontradas diferenças no número dos esporos no solo após o cultivo das culturas de entressafra (Quadro 1). Os resultados do presente estudo estão próximos aos encontrados por Purin et al. (2006), que encontraram número de esporos variando de 3,23 a 5,32 ($\text{n}^{\circ}/50 \text{ ml}$ solo), também em condições de campo. Angelini et al. (2012), avaliando a colonização micorrízica, densidade de esporos e a diversidade de FMAs na rizosfera de milho e soja cultivados em plantio direto com

diferentes plantas de cobertura (milheto, braquiária e crotalária) em um Latossolo Vermelho distrófico, também encontraram maior número de esporos na área com milho. A maior esporulação é atribuída às plantas com sistema radicular abundante e de rápido crescimento, com melhor contato entre as raízes e propágulos de FMAs e grande capacidade de fornecer fotossintatos ao fungo, tal como é o sistema radicular das gramíneas (Daniels-Hetrick & Bloom, 1986).

Não foram encontradas diferenças significativas nos valores de índice de estabilidade de agregados (IEA) no solo onde houve os cultivos das sequências de culturas de verão e culturas de entressafra (Quadro 3). Com o objetivo de estudar a estabilidade de agregados sob diferentes sistemas de manejo de solo em um Latossolo Vermelho no Paraná, Castro Filho et al. (2002) verificaram que não houve diferenças no IEA no solo cultivado com diferentes culturas em rotação (soja/trigo/soja; milho/trigo/milho; soja/trigo/milho); os autores encontraram IEA de 92 a 93%, indicando alta estabilidade de agregados. Wendling et al. (2005), avaliando a estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho (292 g kg⁻¹ de argila) sob diferentes manejos, também verificaram que não houve diferenças nos valores de IEA, os autores encontraram valores de IEA variando de 59 a 76%, valores esses próximos aos encontrados no presente estudo. Os resultados do presente estudo estão próximos aos encontrados por Curaqueo et al. (2011), que avaliando alguns atributos físicos do solo em um Mollisol (Chernossolo) sob rotação trigo/milho, encontraram valores de IEA variando de 49,29 a 57,13% na profundidade 0-2 cm e de 57,07 a 60,96% na profundidade 2-5 cm, aos 6 e 10 anos.

Após oito anos em sistema de semeadura direta, o diâmetro médio ponderado dos agregados do solo (DMP) foi influenciado, significativamente, tanto pelas sequências de culturas de verão quanto pelas culturas de entressafra (Quadro 3). Maior DMP foi observado onde houve os cultivos das sequências de culturas de verão que continham milho (monocultura de milho e rotação soja/milho). Este resultado foi encontrado por Martins et al. (2009) e Martins et al. (2012) na mesma área em anos anteriores.

Entre as culturas de entressafra avaliadas, verificou-se maior DMP onde houve o cultivo do sorgo (gramínea) em comparação ao solo cultivado com guandu (leguminosa) (Quadro 3). Essa diferença pode ser explicada pelo fato de que o

sorgo possui densidade de raízes superior a do guandu, assim a área explorada pelo seu sistema radicular pode ter sido superior. O papel das raízes na formação dos agregados, especialmente das gramíneas, têm-se mostrado muito importante. Esses efeitos benéficos podem ser atribuídos principalmente, ao seu sistema radicular, que pode atuar promovendo a aproximação das partículas de solo, às renovações do sistema radicular e a uniforme distribuição dos exsudatos, que estimulam a atividade microbiana, cujos subprodutos afetam na formação e estabilização dos agregados (Silva & Mielniczuk, 1997). De maneira geral, verificou-se que o cultivo da leguminosa, soja no verão, contribuiu para a diminuição do DMP do solo. Wendling et al. (2005), avaliando a estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho (292 g kg⁻¹ de argila) observaram que a gramínea tifton constitui-se numa boa opção para a formação e estabilização de agregados do solo. Além disso, os autores encontraram DMP de 2,09 mm no solo sob gramínea, o que esteve bem próximo ao DMP encontrado no solo sob mata nativa 2,46 mm. Pinheiro et al. (2004) também verificaram ação benéfica do sistema radicular das gramíneas nos agregados de um Latossolo Vermelho distrófico (415 g kg⁻¹ de argila). Os autores encontraram DMP de 4,02 mm no solo sob gramínea, 3 mm no solo sob plantio direto e 2 mm no solo sob sistema de preparo convencional.

Para Salton et al. (2008), as gramíneas apresentam maior efeito na agregação do solo em virtude de seu abundante sistema radicular. Segundo Wohlenberg et al. (2004), as plantas contribuem para os processos de formação e estabilização dos agregados do solo. Fator este que pode estar associado a atuação de seu sistema radicular, pois, elas favorecem a criação de poros, bem como, a aproximação das partículas devido ao desenvolvimento do sistema radicular, estimulando a agregação do solo.

Correlação positiva foi encontrada entre a glomalina facilmente extraível (GFE) e glomalina total (GT) com o número de esporos dos FMAs no solo (Quadro 4). Fokom et al. (2012), avaliando o impacto de usos do solo sobre glomalina e qualidade e agregação do solo, também observaram correlações positivas entre a GT e o número de esporos do solo. Wright et al. (1996) também constataram a presença de glomalina na parede dos esporos dos FMAs. Em um estudo conduzido em Pernambuco em um Latossolo Amarelo eutrófico, Silva (2006) também verificou

que a produção de glomalina foi positivamente correlacionada com o número de esporos de FMAs no solo. O autor sugere que possivelmente a proteína presente na parede dos esporos também foi extraída. Esporos são estruturas de resistência e naturalmente possuem maior tempo de residência no solo, quando comparado as hifas, desse modo a correlação positiva entre os teores de proteína e os esporos evidencia que no presente estudo os esporos são os responsáveis pela produção da proteína.

Os resultados do presente estudo mostram que não houve correlações do índice de estabilidade de agregados do solo (IEA) e diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) com os teores de glomalina (GFE e GT) e com o comprimento de micélio externo total no solo (CMET) (Quadro 4). Com base no resultado obtido, sugere-se que a glomalina não esteja relacionada a agregação do solo, pois após 10 anos de cultivos em sistema de semeadura direta, o solo possa ter atingido um limite de estabilidade, a partir do qual a glomalina não teria efeitos sobre a agregação do solo. Segundo Rillig & Steinberg (2002) a produção de glomalina é maior em solos não agregados, e passa a decair quando o solo atinge estabilidade. Borie et al. (2000) também não encontraram correlações entre os índices de estabilidade de agregados com a quantidade de glomalina no solo, mesmo após 20 anos de cultivo em um Argissolo. Os autores sugerem que a formação e estabilização de agregados deste solo podem estar relacionadas a outros fatores que não sejam os FMAs. Rillig et al. (2003b), avaliando diferenças no comprimento de hifas, glomalina e estabilidade de agregados do solo, em regiões semiáridas da Espanha (170-280 g kg⁻¹ de argila), também não encontraram correlação positiva entre a quantidade de glomalina com o IEA do solo. Segundo os autores, seus resultados sugerem que a glomalina não foi o principal agente de ligação dos agregados nesse solo, que é considerado rico em carbonato, além disso, este resultado pode também ter ocorrido devido ao elevado nível de agregação desses solos.

Embora não tenham sido encontradas correlações entre os índices de agregação do solo com o CMET, sabe-se que as hifas fúngicas podem melhorar a estabilidade de agregados pela reorientação das partículas de argila devido a 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).

Os resultados do presente estudo também indicam que outros fatores possam ter atuado na formação e estabilização dos agregados do solo. Martins et al. (2009), avaliando a mesma área experimental do presente estudo, em anos anteriores, encontraram correlação positiva entre o diâmetro médio ponderado dos agregados com o carbono orgânico total e com os polissacarídeos. Segundo os autores, os resultados suportam a hipótese de que estes atributos são importantes para a agregação deste Latossolo Vermelho. É possível que estes fatores envolvidos na agregação do solo, que foram observados por estes autores, ainda estejam atuando na agregação deste solo. Além disso, sugere-se que o teor de argila no solo do presente estudo, possa estar relacionado à formação e estabilização dos agregados do solo e não os atributos biológicos avaliados. De acordo com Bronick e Lal (2005), a textura do solo tem influência significativa na agregação do solo. Outro fator que também pode ter atuado na formação dos agregados, são as raízes das plantas, uma vez que elas podem promover a aproximação das partículas de solo. As raízes também podem aumentar a agregação pela liberação de uma variedade de compostos, que possui efeito cimentante sobre as partículas do solo (Bronick & Lal, 2005).

Purin & Rillig (2007) ressaltam que a promoção na agregação do solo pode não ser a função primária da glomalina no solo. Sugere-se para o presente estudo, que o fato de não ter sido encontrada correlação que confirme o papel da glomalina na agregação do solo, os FMAs possam ter atuado na promoção de absorção de nutrientes pelas plantas e não na agregação do solo.

CONCLUSÕES

1- Foi observado maior quantidade de glomalina após o cultivo da monocultura do milho.

2- As culturas de entressafra, milho e milheto, beneficiaram o maior comprimento de micélio externo total no solo.

3- Não foram verificadas diferenças nos valores de matéria orgânica e índice de estabilidade de agregados no solo após os cultivos das sequências de culturas de verão e culturas de entressafra.

4- Maior diâmetro médio ponderado dos agregados foi observado no solo onde houve os cultivos das sequências de culturas de verão, monocultura do milho e rotação soja/milho.

LITERATURA CITADA

AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; GONÇALVES, C. N.; DAROS, C. O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. R. Bras. Ci. Solo, 25: 157-165, 2001.

ANGELINI, G. A. R.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; TORRES, J. L.; SAGGIN JÚNIOR, O. J. Colonização micorrízica, densidade de esporos e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em solo de cerrado sob plantio direto e convencional. Semina: Ciências Agrárias, 33(1): 115-130, 2012.

BAYER, C.; MIELNICKUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de prepare e de cultura na dinâmica de matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. R. Bras. Ci. Solo, 24: 599-607, 2000.

BORIE, F. R.; RUBIO, R.; MORALES, A.; CASTILLO, C. Relación entre densidad de hifas de hongos micorrizógenos arbusculares y producción de glomalina con las características físicas y químicas de suelos bajo cero labranza. Rev. Chil. Hist. Nat., 73(4): 49-756, 2000.

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(1-2): 248-254, 1976.

BRONICK, C. J. & LAL, R. Soil structure and management: a review. Geoderma, 124: 3-22, 2005.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. Determinação da matéria orgânica. In: RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Análise

- química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônomo, 2001. 285p.
- 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.
- CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Aggregate stability under different management systems in a red Latosol in the State of Paraná, Brazil. *Soil Till. Res.*, v. 65, p. 45-51, 2002.
- COLOZZI FILHO, A. & BALOTA, E. Micorrizas arbusculares. In: HUNGRIA, M. & ARAUJO, R.S. (Eds.). *Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola*. Brasília: Embrapa-SPI, 1994, p. 383-418.
- CORDEIRO, M. A. S.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; SAGGIN JÚNIOR, O. J. Colonização e densidade de esporos de fungos micorrízicos em dois solos de cerrado sob diferentes sistemas de manejo. *Pesq. Agropec. Trop.*, 35(3): 147-153, 2005.
- CURAQUEO, G.; ACEVEDO, E.; CORNEJO, P.; SEGUEL, A.; RUBIO, R.; BORIE, F. Tillage effect on soil organic matter, mycorrhizal hyphal and aggregate in a Mediterranean agrosystem. *R. C. Suelo Nutr. Veg.*, 10(1): 12-21, 2010.
- CURAQUEO, G.; BAREA, J. M.; ACEVEDO, E.; RUBIO, R.; CORNEJO, P.; BORIE, F. Effects of different tillage system on arbuscular mycorrhizal fungal propagules and physical properties in a Mediterranean agroecosystem in Central Chile. *Soil Till. Res.*, 113: 11-18, 2011.
- DANIELS-HETRICK, B. A. & BLOOM, J. The influence of host plant on production and colonization ability of vesicular-arbuscular mycorrhizal spores. *Mycol.*, 78: 32-36, 1986.
- DRIVER, J. D.; HOLBEN, W. E.; RILLIG, M. C. Characterization of glomalin as hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biol. Biochem.*, 37: 101-106, 2005.
- FOKOM, R.; ADAMOU, S.; TEUGWA, M. C.; BEGOUDE BOYOGUENO, A. D.; NANA, W. L.; NGONKEU, M. E. L.; TCHAMENI, N. S.; NWAGA, D.; TSALA NDZOMO, G.; AMVAM ZOLLO, P. H. Glomalin related soil protein, carbon,

- nitrogen and soil aggregate stability as affected by land use variation in the humid forest zone of South Cameroon. *Soil Till. Res.*, 120: 69-75, 2012.
- LUTGEN, E. R.; MUIR-CLAIRMONT, D.; GRAHAM, J.; RILLIG, M. C. Seasonality of arbuscular mycorrhizal hyphae and glomalin in a western Montana grassland. *Plant Soil*, 257: 71-83, 2003.
- MARCELO, A. V. Decomposição de resíduos vegetais de culturas de entressafra em sistema de semeadura direta e efeitos nos atributos químicos de um Latossolo e na produtividade de soja e milho. 2011. 108 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2011.
- MARTINS, M. R.; ANGERS, D. A.; CORÁ, J. E. Carbohydrate composition and water-stable aggregation of an Oxisol as affected by crop sequence under no-till. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 76(2): 475-484, 2012.
- MARTINS, M. R.; CORÁ, J. E.; JORGE, R. F.; MARCELO, A. V. Crop type influences soil aggregation and organic matter under no-tillage. *Soil Till. Res.*, 104: 22-29, 2009.
- 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.
- MELLONI, R.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Fungos micorrízicos arbusculares em solos de área de mineração de bauxita em reabilitação. *Pesq. Agropec. Bras*, 38(2): 267-276, 2003.
- MILLER, R. M.; REINHARDT, D. R.; JASTROW, J. External hyphal production of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in pasture and tallgrass prairie communities. *Oecologia*, 103: 17-23, 1995.
- MIRANDA, J. C. C. & MIRANDA, L. N. Importância da micorriza arbuscular para a cultura da soja na região do cerrado. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. (Comunicado técnico, 75).
- MIRANDA, J. C. C. & MIRANDA, L. N. Micorriza arbuscular. In: VARGAS, M. A. & HUNGRIA, M. *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(2): 329-338, 2000.
- PINHEIRO, E. F. M.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. *Soil Till. Res.*, 77: 79-84, 2004.
- PURIN, S.; KLAUBERG FILHO, O.; STÜRMER, S. L. Mycorrhizae activity and diversity in conventional and organic apple orchards from Brazil. *Soil Biol. Biochem.*, 38(7): 1831-1839, 2006.
- PURIN, S. & RILLIG, M. C. The arbuscular mycorrhizal fungal protein glomalin: Limitations, progress, and a new hypothesis for its function. *Pedobiologia*, 5(2): 123-130, 2007.
- RILLIG, M. C. & MUMMEY, D. L. Mycorrhizas and soil structure. *New Phytol.*, 171: 41-56, 2006.
- RILLIG, M. C. & STEINBERG, P. D. Glomalina production by an arbuscular mycorrhizal fungus: a mechanism of habitat modification? *Soil Biol. Biochem.*, 34: 1371-1374, 2002.
- RILLIG, M. C.; MAESTRE, F. T.; LAMIT, L. J. Microsite differences in fungal hyphal length, glomalin, and soil aggregate stability in semiarid Mediterranean steppes. *Soil Biol. Biochem.*, 35: 1257-1260, 2003b.
- 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(2): 293-299, 2003a.
- SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 32: 11-21, 2008.
- SILVA, F. S. B. Fase assimbiótica, produção, infectividade e efetividade de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em substratos com adubos orgânicos. 2006.

- 291 f. Tese (Doutorado em Biologia de Fungos) – Universidade federal de Pernambuco, Recife, 2006.
- 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(4): 981-985, 2004.
- SIQUEIRA, J. O. & KLAUBERG-FILHO, O. Micorrizas arbusculares: a pesquisa brasileira em perspectiva. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed). I Tópicos em ciência do solo. Viçosa. SBCS, 2000. p. 235-259.
- TRESEDER, K. K.; MACK, M. C.; CROSS, A. Relationships among fires, fungi, and soil dynamics in Alaskan boreal forests. Ecological Applications, 14: 1826-1838, 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, 2010.
- WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. Pesq. Agropec. Bras., 40(5): 487-494, 2005.
- WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. R. Bras. Ci. Solo, 28: 891-900, 2004.
- WRIGHT, S. F. & UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. Soil Sci., 161: 575-586, 1996.
- WRIGHT, S. F.; FRANKE-SNYDER, M.; MORTON, J. B.; UPADHYAYA, A. Time-course study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. Plant Soil, 181: 193-203, 1996.

Quadro 1. Glomalina facilmente extraível (GFE), glomalina total (GT), comprimento de micélio externo total (CMET) e esporos (ESP) na camada 0,0 – 0,1 m de profundidade do Latossolo Vermelho eutrófico (LVe), após a colheita das culturas de entressafra e antes da semeadura das culturas de verão.

Sequências de verão (V)	GFE	GT	CMET	ESP ⁽¹⁾
	----- mg g ⁻¹ solo -----		m g ⁻¹ solo	nº/50 ml solo
Rotação soja/milho (SM)	1,03	3,23 b	3,94	1,95 (0,42) b
Monocultura milho (MM)	1,09	3,77 a	4,47	3,38 (0,61) a
Monocultura soja (SS)	1,04	3,44 b	3,85	2,00 (0,43) ab
F (sequências de verão)	0,41 ^{NS}	16,8	9,18	8,52
CV (%)	20,1	8,72	12,4	33,2
Culturas de entressafra (E)	GFE	GT	CMET	ESP
	----- mg g ⁻¹ solo -----		m g ⁻¹ solo	nº/50 ml solo
Milho	1,04	3,46	5,37	2,56 (0,52)
Girassol	1,02	3,30	3,81	3,11 (0,60)
Nabo forrageiro	1,03	3,33	3,78	2,11 (0,43)
Milheto	1,07	3,64	5,45	1,89 (0,43)
Guandu	1,07	3,55	3,14	1,78 (0,36)
Sorgo	1,06	3,57	4,45	4,00 (0,67)
Crotalária	1,07	2,51	2,60	1,67 (0,40)
F (culturas de entressafra)	0,96 ^{NS}	2,53 ^{NS}	38,1	2,40 ^{NS}
CV (%)	6,54	6,66	12,7	45,50
F (V x E)	0,77 ^{NS}	1,13 ^{NS}	25,6 ^{**}	1,63 ^{NS}
CV (%)	8,20	5,76	9,79	31,3

⁽¹⁾ Dados entre parênteses correspondem às médias transformadas para log (x+1). ^{NS} = não significativo, * = significativo a 5% e ** = significativo a 1% Médias seguidas por letras iguais na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Quadro 2. Desdobramento da interação de sequências de culturas de verão x culturas de entressafra referente aos dados de comprimento de micélio externo total (CMET – m g^{-1} solo), na camada 0,0 – 0,1 m de profundidade do Latossolo Vermelho eutrófico (LVe), após a colheita das culturas de entressafra e antes da semeadura das culturas de verão.

Culturas de entressafra	Sequências de verão		
	Rotação soja/milho (SM)	Monocultura milho (MM)	Monocultura soja (SS)
Milho	4,04 Cc	6,57 Aa	5,51 Ab
Girassol	3,51 CDb	4,73 Ba	3,19 CDb
Nabo forrageiro	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	4,09 BCa	4,82 ABa
Crotalária	1,86 Eb	3,11 CDa	2,82 CDa

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quadro 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 do Latossolo Vermelho eutrófico (LVe), após a colheita das culturas de entressafra e antes da semeadura das culturas de verão.

Sequências de verão (V)	IEA	DMP
	%	mm
Rotação soja/milho (SM)	60,38	3,78 a
Monocultura milho (MM)	63,09	3,70 a
Monocultura soja (SS)	59,76	3,15 b
F (sequências de verão)	3,64 ^{NS}	27,5
CV (%)	6,97	8,40
Culturas de entressafra (E)	IEA	DMP
	%	mm
Milho	61,00	3,52 ab
Girassol	61,55	3,59 ab
Nabo forrageiro	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
F (sequências de entressafra)	0,41 ^{NS}	2,46 ^{NS}
CV (%)	8,72	11,7
F (V x E)	0,87 ^{NS}	1,27 ^{NS}
CV (%)	6,88	9,00

^{NS} = não significativo e ** = significativo a 1%. Médias seguidas por letras iguais na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P = 0,05).

Quadro 4. Coeficiente de correlação entre variáveis estudadas, na camada 0,0 – 0,1 m de profundidade, do Latossolo Vermelho eutrófico (LVe), após a colheita das culturas de entressafra e antes da semeadura das culturas de verão.

	GFE	GT	CMET
IEA	0,146 ^{NS}	0,140 ^{NS}	0,043 ^{NS}
DMP	0,209 ^{NS}	0,177 ^{NS}	0,185 ^{NS}
ESP	0,319 [*]	0,355 ^{**}	0,094 ^{NS}

Índice de estabilidade de agregados (IEA); diâmetro médio ponderado (DMP); glomalina facilmente extraível (GFE); glomalina total (GT); comprimento de micélio externo total (CMET); esporos (ESP).^{NS} = não significativo, * = significativo a 5% e ** = significativo a 1%.

CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A necessidade de sistemas agrícolas sustentáveis tem impulsionado a busca por práticas que favoreçam a produtividade das culturas, sem comprometer a qualidade do solo. Nesse sentido, práticas como aquelas que adotam o menor revolvimento do solo, a manutenção de cobertura vegetal, a utilização de rotações e sucessões de culturas, são alternativas importantes que podem melhorar os atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo.

Neste estudo foram avaliados três solos diferentes em duas situações. A primeira delas diz respeito à utilização de rotação de culturas por 18 meses no período de reforma do canavial, sendo denominado experimento 1. E na segunda situação a utilização de diferentes culturas em sistema de semeadura direta por 10 anos, experimento 2. Nesse sentido, os resultados do estudo mostram que a utilização das diferentes culturas tanto no experimento 1 quanto no experimento 2, proporcionaram efeitos benéficos na agregação do solo e na comunidade dos fungos micorrízicos arbusculares.

Com relação ao experimento 1 foram encontradas diferenças em relação aos dois tipos de solo utilizados, pois são solos com classes texturais distintas. Possivelmente, o fato de não serem encontradas correlações entre os atributos biológicos e físicos do solo, possa ser explicado em função do histórico da área, a qual era cultivada com a monocultura da cana. Além disso, mesmo que as culturas utilizadas no período de reforma do canavial tenham atuado de maneira benéfica, melhorando os atributos físicos e biológicos do solo, conseqüentemente, contribuindo para que os atributos biológicos proporcionassem efeitos sobre a agregação, o preparo do solo para o plantio da cana-de-açúcar, pode ter afetado de maneira negativa a comunidade dos fungos micorrízicos no solo.

O experimento 2 apresenta resultados importantes no que diz respeito ao efeito que diferentes culturas de verão e de entressafra cultivadas em sistema de semeadura direta, proporcionam à comunidade dos fungos micorrízicos e aos atributos físicos do solo. Possivelmente em um experimento como este, conduzido por 10 anos, a atuação dos fungos micorrízicos possa estar relacionada a absorção de nutrientes por parte das plantas e não à agregação do solo. Sugere-se que neste

experimento, o solo tenha atingido um limite de estabilidade e acúmulo desta glicoproteína. Provavelmente a partir daí, a glomalina não se correlacionaria com a estabilidade de agregados e assim não tenha efeitos sobre a agregação do solo. Além disso, o estudo de correlação realizado, não mostrou resultados positivos que indicassem que esses fungos estão contribuindo na agregação. O que também sugere que outros fatores possam estar atuando na agregação do solo. Em estudos realizados anteriormente na área, foi observado que o carbono orgânico total e os polissacarídeos foram importantes para a agregação deste solo.

Deste modo, os resultados do presente estudo demonstram sua importância, devido a carência de informações encontradas no que diz respeito à atuação dos fungos micorrízicos arbusculares na estabilização dos agregados no solo do estado de São Paulo. Além disso, pouco se sabe sobre estes processos em ambientes, como o da produção de cana-de-açúcar e em trabalhos de sistema de semeadura direta com a utilização de diversas culturas no Brasil.

Com base nos resultados obtidos, pode se dizer que, um completo detalhamento das contribuições dos fungos micorrízicos arbusculares na agregação do solo exige um trabalho, com outros métodos eficazes e mais sensíveis para avaliar a relação destes fungos com a estabilidade de agregados no solo.

É importante procurar entender como os fungos micorrízicos arbusculares atuam na agregação dos solos brasileiros. No entanto, até o presente momento, são poucos os estudos realizados no Brasil. Ainda há a necessidade de se desenvolver pesquisas que procurem suprir a escassez de resultados, principalmente no que diz respeito a agregação do solo, que é, sem dúvida, um fator de interesse quando se busca a qualidade e a sustentabilidade dos agrossistemas.