

# USO DA TERRA E A QUALIDADE MICROBIANA DE AGREGADOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO<sup>(1)</sup>

Rogério Melloni<sup>(2)</sup>, Eliane Guimarães Pereira Melloni<sup>(3)</sup> & Lucas Lopes Vieira<sup>(4)</sup>

## RESUMO

A maioria dos estudos relacionados à agregação do solo associa o efeito de manejos ou tipos de uso da terra ao teor de matéria orgânica. No entanto, a avaliação de microrganismos e seus processos, feita diretamente em estruturas indeformadas do solo, permite maior entendimento do real efeito de diferentes tipos de manejos exercidos sobre esse. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar modificações impostas por diferentes tipos de uso da terra (pastagem, mata de eucalipto, mata com araucária, plantio convencional com cenoura e plantio convencional com abóbora) em atributos químicos (pH, Ca, Mg, Al, P, K, S e matéria orgânica) e físicos (diâmetro médio geométrico - DMG, diâmetro médio ponderado - DMP, densidade do solo e densidade de partículas) e na qualidade microbiana (atividade e carbono microbianos, micélio extrarradicular total de fungos micorrízicos arbusculares e quociente metabólico -  $qCO_2$ ) de classes de tamanho de agregados (I- 4,00 a 2,36 mm; II- 2,36 a 1,18 mm; III- 1,18 a 0,60 mm; IV- 0,60 a 0,30 mm; e V- 0,30 a 0,15 mm) de um Latossolo Vermelho-Amarelo, no sul de Minas Gerais. Os resultados evidenciaram que os tipos de uso da terra interferem na formação, no tamanho e na qualidade microbiana dos agregados. Em agregados menores (classes IV e V), há redução de micélio extrarradicular de fungos e biomassa microbiana e aumento da atividade e do quociente metabólico, independentemente do tipo de uso da terra. A qualidade microbiana de agregados maiores do solo sob mata de araucária, com tamanho entre 0,60 e 4,00 mm (I, II e III), é semelhante a todas as classes de tamanho de agregados do solo sob mata de eucalipto, enquanto a de agregados menores de 0,60 mm (IV e V) é semelhante a todas de tamanho de agregados da pastagem. Agregados do cultivo convencional, diferentemente dos demais tipos de uso da terra, apresentam baixa qualidade microbiana e relação com a fertilidade do solo.

**Termos de indexação:** estabilidade de agregados, matéria orgânica, sistemas de manejo, microrganismos do solo.

---

<sup>(1)</sup> Trabalho extraído da Dissertação de Mestrado do terceiro autor. Financiado pela Fapemig. Recebido para publicação em 28 de agosto de 2012 e aprovado em 20 de agosto de 2013.

<sup>(2)</sup> Professor Associado II, Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá - IRN/UNIFEI. Av. BPS, 1303, Pinheirinho. CEP 37500-903 Itajubá (MG). E-mail: rogerio.melloni@gmail.com

<sup>(3)</sup> Professora Associada I, IRN/UNIFEI. E-mail: eliane.melloni@gmail.com

<sup>(4)</sup> Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, IRN/UNIFEI. E-mail: vieiraeam@yahoo.com.br

## SUMMARY: LAND USE ON THE MICROBIAL QUALITY OF SOIL AGGREGATES OF A RED YELLOW LATOSOL

*Most studies related to soil aggregation associate the effect of managements or land use types with the organic matter content. However, a direct evaluation of microorganisms and their processes in undisturbed soil allows a better understanding of the real effect of different managements. The objective of this study was to evaluate the changes induced by different types of land use (pasture, eucalyptus forest, araucaria forest, conventional tillage with carrot, and conventional tillage with pumpkin) on soil chemical properties (pH, Ca, Mg, Al, P, K, S, and organic matter), physical properties (mean geometric diameter, mean weight diameter, bulk density, and particle density), and on the microbial quality (microbial activity and carbon, total extraradical mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi, and metabolic quotient -  $qCO_2$ ) of the aggregate size classes (I - 4.00 to 2.36 mm, II - 2.36 to 1.18 mm, III - 1.18 to 0.60 mm ; IV - 0.60 to 0.30 mm, V - 0.30-0.15 mm) of a Red-Yellow Latosol in the South of Minas Gerais. The results showed that the land use affected the formation, size and microbial quality of aggregates. In the smaller aggregates (classes IV and V) extraradical mycelium of fungi and microbial biomass were reduced, and metabolic activity and quotient increased, regardless of the land use. The microbiological quality of larger aggregates (between 0.60 to 4.00 mm or I, II and III), in soil under araucaria forest was similar to all size classes of soil aggregates under eucalyptus forest, while the quality of smaller aggregates (< 0.60 mm or IV and V) was similar to all aggregate size classes under pasture. Under conventional cultivation, conversely to the other types of land use, the aggregates had a low microbial quality and relationship with soil fertility.*

*Index terms: aggregate stability, organic matter, tillage systems, soil microorganisms.*

## INTRODUÇÃO

O solo pode ser considerado um grande habitat de microrganismos e, nesse contexto, a comunidade microbiana possui papel fundamental em importantes processos edáficos como formação e estabilidade de agregados. Agregados são um conjunto de partículas primárias (argila, silte, areia) do solo que se aderem umas às outras mais fortemente do que a outras partículas circunvizinhas (Kemper & Rosenau, 1986), em decorrência das cargas elétricas superficiais das partículas coloidais (Melo et al., 2008). Atuam na manutenção de importantes condições edáficas como aeração, porosidade, infiltração, controle de processos erosivos, germinação de sementes e crescimento e desenvolvimento de raízes e da comunidade microbiana (Dexter, 1988).

A maioria dos estudos relacionados à agregação do solo associa os efeitos diretos e indiretos de diferentes tipos de manejo de uso da terra na matéria orgânica (Wendling et al., 2005). No entanto, são escassos os levantamentos da qualidade microbiana ou da comunidade microbiana feitos diretamente em agregados do solo. Essas investigações evitariam perdas de informações importantes sobre o impacto de manejos na microbiota do solo diretamente em seus micro-habitats.

Dufranc et al. (2004), relacionando agregação do solo com atributos físicos, químicos e microbianos, em dois Latossolos manejados com plantio direto, concluíram que, apesar do papel da argila na agregação, a comunidade bacteriana agiu como o principal agente agregador dos solos estudados.

Caesar-Tonthat et al. (2006) observaram que grupos de bactérias, mais especificamente as dos gêneros *Stenotrophomonas* e *Sphingobacterium*, apresentaram grande habilidade de estabilizar os agregados do solo e aumentar a coesão entre esses. No entanto, Abiven et al. (2008), analisando a influência de microrganismos na agregação, destacaram que geralmente os fungos correlacionam-se melhor à agregação do que as bactérias. Estudando o efeito da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) na melhoria da estabilidade de agregados, em solo cultivado com *Juniperus oxycedrus*, Caravaca et al. (2006) observaram aumento significativo na estabilidade dos agregados, seis meses após a inoculação de um combinado de espécies de FMAs e materiais orgânicos. Esses autores apontaram que a ação das hifas de fungos e raízes de plantas, capturando as partículas de solo, aliada à ação cimentante dos polissacarídeos, foi a responsável por maior estabilidade dos agregados. Portanto, concluiu-se que os microrganismos do solo atuam diretamente na formação e estabilidade dos agregados no solo, sendo influenciados pelas condições ambientais e edáficas.

Hungria et al. (2009), em estudos sobre a atividade microbiana em solos com diferentes tipos de manejo, observaram que o aumento da atividade microbiana esteve intimamente ligado à deposição de material orgânico e a processos como colonização micorrízica. Essa ligação entre atividade microbiana e acúmulo de material orgânico foi ainda estudada por Carvalho et al. (2008), em serapilheira de espécies de *Pinus*, os quais concluíram que a atividade microbiana foi maior

onde houve maior acúmulo de material orgânico (*P. elliottii*).

Avaliando as propriedades bioquímicas e as modificações na qualidade do solo, como consequência do manejo intensivo, Paz-Ferrero et al. (2009) observaram menores valores para a atividade microbiana em pastagens plantadas, quando comparados a pastagens nativas. No entanto, esses autores concluíram que o baixo teor de matéria orgânica encontrado nas pastagens nativas, comparado ao das plantadas, foi o responsável por essa mudança metabólica da comunidade microbiana. Carvalho et al. (2008), avaliando a atividade microbiana de solo e a de serapilheira de espécies de *Pinus*, afirmaram que o aumento nas taxas de respiração basal relaciona-se, em curto prazo, com maior disponibilidade de nutrientes para as plantas e, em longo prazo, com a perda de carbono orgânico para a atmosfera.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar modificações impostas por diferentes tipos de uso da terra (pastagem, mata de eucalipto, mata nativa com araucária, plantio convencional com cenoura e plantio convencional com abóbora) em atributos químicos e físicos e na qualidade microbiana de classes de tamanho de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo, no sul de Minas Gerais.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se em Maria da Fé, MG, região pertencente às Terras Altas da Mantiqueira, selecionada por apresentar diferentes tipos de usos da terra (TUTs), considerados representativos na região sul de Minas Gerais. O clima da região é do tipo subtropical úmido Cwa, conforme classificação de Köppen, sendo a temperatura média de 7,3 °C no mês mais frio e a média de 23,4 °C no mês mais quente, com verão chuvoso e inverno seco (INMET, 2008). A precipitação pluvial média anual é de 1.237 mm. O bioma predominante é o de Mata Atlântica - Floresta Ombrófila Mista - com predomínio de Latossolo Vermelho-Amarelo na região. Os TUTs selecionados para estudo estão descritos no quadro 1.

A amostragem foi realizada em abril de 2009, em cinco TUTs, em uma camada de 0-10 cm e quatro repetições por TUT, resultando em 20 amostras compostas de solo, formadas cada uma por 10 amostras simples, retiradas em zigue-zague. As amostras foram coletadas por fatiamento de solo, após abertura do sulco de amostragem, utilizando enxada manual, sendo desinfestada com álcool 70 %, imediatamente após cada repetição no TUT.

Na caracterização química, as amostras de solo coletadas foram secas e peneiradas em malha de 2 mm, sendo então determinados: pH em água na relação 1:2,5; Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, analisados por titulometria; P e K extraídos pelo

método Mehlich-1 e analisados por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente; S por turbidimetria; e matéria orgânica do solo (MOS) por colorimetria, utilizando o método Walkley-Black (Embrapa, 1997). Os resultados da caracterização química, assim como da composição granulométrica, encontram-se no quadro 2; as áreas CC1, CC2 e P apresentaram solos de classe textural franco-arenosa e as áreas MA e ME, solos de classe textural franco-argiloarenosa, conforme triângulo textural adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

Quanto aos atributos físicos, determinaram-se estabilidade de agregados via úmida (diâmetro médio geométrico - DMG e diâmetro médio ponderado - DMP), densidade do solo (DS) e densidade de partículas (DP), conforme descrito em Embrapa (1997).

As amostras de solo coletadas, antes das análises microbianas, foram submetidas à separação mecânica, com auxílio de um agitador de peneiras, previamente desinfestado com álcool 70 %, de malhas 4,0 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 0,600 mm; 0,300 mm; e 0,150 mm. Assim, para cada tratamento ou TUT, foram obtidas cinco classes de diâmetro de agregados, sendo: I (agregados de 2,36 a 4,00 mm, comumente obtidos quando em análises microbianas de rotina), II (agregados de 1,18 a 2,36 mm), III (agregados de 0,60 a 1,18 mm), IV (agregados de 0,30 a 0,60 mm) e V (agregados de 0,15 a 0,30 mm). Em cada classe foram avaliados: comprimento de micélio extrarradicular total de fungos (Melloni & Cardoso, 1999), atividade microbiana (Anderson, 1982), carbono microbiano (Ferreira et al., 1999) e quociente metabólico (Anderson & Domsch, 1993).

Os resultados dos atributos físicos obtidos nos diferentes TUTs foram submetidos à análise estatística, calculando-se a média aritmética, o desvio-padrão e a amplitude. Quanto aos atributos microbianos, com as médias obtidas em cada classe de agregados, dentro dos TUTs, fez-se análise de regressão, calculando-se as suas equações de regressão, de modo que fosse possível estabelecer a qualidade microbiana dos diferentes agregados. As médias dos resultados das análises de textura, químicas e biológicas, em razão de a quantificação ocorrer nas diferentes classes de agregados, foram submetidas à análise de componentes principais (PCA), utilizando-se o programa PC-ORD 3.12 (McCune & Mefford, 1997).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises físicas do solo dos diferentes TUTs, diretamente relacionados à formação e qualidade microbiana de agregados, encontram-se no quadro 3. Os valores de Ds variaram de 0,88 a 1,24 g cm<sup>-3</sup> entre os TUTs. Ambos os cultivos convencionais apresentaram valores semelhantes de

**Quadro 1. Caracterização dos tipos de uso da terra selecionados para estudo**

Identificação	Sigla	Descrição do uso da terra
Cultivo convencional de cenoura	CC1	Iniciado em março de 2009, realizado em leiras. Preparo do solo com uso de maquinários (arado de disco e gradagem), com calagem prévia e aplicação de fertilizantes (1.000 kg ha <sup>-1</sup> de adubo NPK 12-6-12 nas leiras e 300 kg ha <sup>-1</sup> de adubo NPK 7-14-28 em cobertura) e defensivos (herbicida Afalon 2 L ha <sup>-1</sup> e inseticida Tamaron 5 L ha <sup>-1</sup> ), quando necessários.
Cultivo convencional de abóbora	CC2	Iniciado em agosto de 2008, realizado em covas. Preparo do solo com uso de maquinários (arado de disco e gradagem), com calagem prévia e aplicação de fertilizantes (500 kg ha <sup>-1</sup> de adubo NPK 12-6-12 nas leiras e 300 kg ha <sup>-1</sup> de adubo NPK 7-14-28 em cobertura) e defensivos (herbicida Roundup 15 L ha <sup>-1</sup> e inseticida Tamaron 5 L ha <sup>-1</sup> ), quando necessários.
Pastagem	P	Área de 10 ha de pastagem implantada de <i>Brachiaria decumbens</i> , com 10 anos e correção de acidez do solo somente no plantio, com 3 t ha <sup>-1</sup> de calcário dolomítico. Criação extensiva de gado de leite, em 1,2 unidade animal ha <sup>-1</sup> .
Mata com araucária	MA	Área de 15 ha, com floresta heterogênea de 40 anos, com solo coberto de material orgânico em decomposição (serapilheira).
Mata de eucalipto	ME	Área de 16 ha com plantio destinado à fabricação de papel, em espaçamento de 2 x 3 m, e idade de cinco anos. Adubação, no plantio, com 300 g por metro linear de superfosfato simples e 30 g por metro linear de bórax.

**Quadro 2. Caracterização química e composição granulométrica das amostras de solo sob diferentes usos da terra**

Atributo	Uso da terra				
	Cultivo convencional		Pastagem	Mata	
	1	2		Araucária	Eucalipto
pH (H <sub>2</sub> O)	5,3	5,8	5	4,6	5,2
P (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	20,6	38,9	19,4	3,1	1,7
K (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	55	76	34	39	34
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,3	3	0,6	0,1	0,4
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,4	1	0,2	0,1	0,1
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,5	0,1	1,1	1,7	0,9
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5,6	4	11	12,3	7,9
Soma de bases (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,8	4,2	0,9	0,3	0,6
CTC efetiva (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,3	4,3	2	2	1,5
CTC <sub>pH 7,0</sub> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	7,4	8,2	11,9	12,6	8,5
Saturação por bases (%)	24,7	51,2	7,5	2,4	6,9
Saturação por Al (%)	21	2	55	85	60
Matéria orgânica (dag kg <sup>-1</sup> )	2,5	2,6	5,3	3,7	3,7
P remanescente (mg L <sup>-1</sup> )	26,4	24	13	17,6	14,5
Areia (%)	57,2	52,9	50,4	45,5	50,9
Silte (%)	24,3	21,1	26,1	18,5	18,1
Argila (%)	18,5	26,0	23,5	36,0	31,0

<sup>(1)</sup> Mehlich-1.

média, desvio-padrão e amplitude, com maior Ds em relação aos demais TUTs, principalmente aos solos de mata, em virtude de menor preservação do material orgânico (Quadro 2), conforme discutido por Soler (2003).

Nesse sentido, degradação na qualidade física de Latossolos submetidos à ação antrópica foi constatada

por Aratani et al. (2009), os quais verificaram, em áreas de mata, degradação bem inferior, quando comparada com os sistemas antrópicos. Vezzani & Mielniczuk (2009) afirmaram que o não revolvimento do solo garante melhor estrutura física, além de diminuir a perda de nutrientes e material orgânico. Assim, quanto menor o revolvimento ou a antropização

**Quadro 3. Caracterização física das amostras de solo sob diferentes usos da terra**

	Uso da terra				
	Cultivo convencional		Pastagem	Mata	
	1	2		Araucária	Eucalipto
	Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ )				
Média	1,24	1,21	1,17	1,01	0,88
Desvio-padrão	0,047	0,055	0,131	0,033	0,139
Amplitude	1,19-1,30	1,13-1,26	0,98-1,26	0,97-1,04	0,76-1,08
	Densidade de partículas ( $\text{g cm}^{-3}$ )				
Média	2,28	2,32	2,17	2,18	2,30
Desvio-padrão	0,087	0,080	0,083	0,050	0,075
Amplitude	2,15-2,35	2,22-2,41	2,08-2,27	2,13-2,25	2,25-2,41
	Diâmetro médio geométrico (mm)				
Média	3,17	4,06	4,68	3,69	4,70
Desvio-padrão	0,881	0,850	0,075	0,504	0,098
Amplitude	2,13-4,23	2,89-4,75	4,57-4,73	2,96-4,12	4,60-4,83
	Diâmetro médio ponderado (mm)				
Média	4,11	4,62	4,89	4,43	4,90
Desvio-padrão	0,559	0,383	0,033	0,236	0,037
Amplitude	3,41-4,73	4,09-4,93	4,85-4,93	4,09-4,61	4,86-4,94

do solo, menor a densidade e maior é a sua capacidade de agregação. Spera et al. (2009) corroboraram essa afirmativa, ao estudar solos sob pastagens perenes e pastagens/lavouras anuais. Esses autores verificaram que as pastagens perenes evidenciaram menor Ds e maior porosidade e macroporosidade na camada superficial, os quais contribuíram para aumentar a aeração, infiltração de água e, conseqüentemente, a agregação.

A densidade de partículas (Dp) é uma propriedade inerente ao solo, variando em razão da mineralogia e do teor de matéria orgânica desse. Na maior parte dos solos minerais, os valores encontrados são da ordem de  $2,65 \text{ g cm}^{-3}$ , refletindo a presença dominante do quartzo (Ferreira, 2010). Contudo, neste trabalho, independentemente dos TUTs, os valores médios estiveram abaixo dessa ordem, reflexo da presença de matéria orgânica (massa específica ao redor de  $1,20 \text{ g cm}^{-3}$ ), apesar de não ter havido correlação entre Dp e MOS. Segundo Riberio et al. (1999), os teores de matéria orgânica das áreas em estudo podem ser classificados como médios (de  $1,17$  a  $2,32 \text{ dag kg}^{-1}$ ), exceto pastagem que é considerado bom (de  $2,33$  a  $4,06 \text{ dag kg}^{-1}$ ). No entanto, Soler (2003) ressaltou que o aumento no teor de matéria orgânica no solo diminui sua Dp, sendo o inverso também verdadeiro, em virtude do aumento no teor de elementos minerais.

Os valores de DMG variaram de  $3,17$  a  $4,70 \text{ mm}$ ; para DMP, a variação foi de  $4,11$  a  $4,90 \text{ mm}$ , com correlação altamente significativa entre ambos ( $r=0,99^*$ ). Menor variação dos dados foi obtida nos TUTs pastagem e mata de eucalipto, mas todos, exceto o CC1, apresentaram resultados semelhantes,

possivelmente em virtude da uniformidade das classes texturais e dos teores de MOS (Quadro 2). Avaliando a estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho argiloso sob sistema plantio direto com ou sem integração lavoura-pecuária, em comparação à área de Cerrado natural, em Goiás, Loss et al. (2011) observaram que a última área, em decorrência do maior aporte de material vegetal e a não interferência antrópica, apresentou maior agregação, com maiores valores de DMG e DMP. Resultados muito semelhantes foram obtidos por Salton et al. (2008), ao avaliarem a agregação e a estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Latossolo, no Mato Grosso do Sul, onde os sistemas de manejo com rotação de lavoura e braquiária em plantio direto favoreceram a formação de agregados estáveis, em comparação a sistemas apenas com lavouras, sem braquiária.

O uso intensivo do solo tende a inibir a formação e o desenvolvimento de agregados e, conseqüentemente, a ocorrência de micro-habitats microbianos, o que está em consonância com os dados deste trabalho e com aqueles encontrados por Kasper et al. (2009), em que o cultivo promove a degradação da qualidade física e menor estabilidade aos agregados do solo. Os autores comentaram que práticas agrícolas implicam na quebra dos macroagregados, que diminui diretamente o estoque de material orgânico no solo, aumentando sua mineralização. O teor de MOS influencia a estabilidade dos agregados e, quanto maior esse teor, maior o DMG e, conseqüentemente, o DMP (Wick et al., 2009). Oliveira et al. (2008), utilizando o método do DMP, afirmaram que a redução do teor de C



orgânico no solo contribui para a formação de agregados de menor tamanho, cimentados em sua maioria pela ação agregadora das argilas. Neste estudo, tanto a correlação entre DMG e MOS quanto DMP e MOS foram significativas (ambas com  $r = 0,66^*$ ), indicando que o aumento do material orgânico influenciou no aumento do DMG ou do DMP.

Apesar de não haver correlação significativa entre DMG e DS, possivelmente em função do teor de argila entre os TUTs (Quadro 1), em solo da mata de eucalipto observou-se que a alta estabilidade de agregados (maiores agregados) pode estar relacionada aos menores valores de Ds (Quadro 3). Isso corrobora os dados de Costa et al. (2009), os quais observaram que os tipos de uso que garantem maior preservação da estrutura do solo acarretam menores valores de densidade e, assim, maior estabilidade dos agregados.

Embora concordando com Almeida et al. (2008), os quais concluíram que maior teor de argila confere maior estabilidade aos agregados, a correlação entre os atributos argila e DMG não foi significativa neste estudo, revelando que a variação de outros fatores pode ter interferido nesses resultados. Deve-se atentar que a textura é um atributo indicativo e, para uma análise mais profunda sobre a estabilidade dos agregados, faz-se necessária a análise de outros atributos, em conjunto, como DMG dos agregados, teor de C orgânico do solo, aspectos de manejo e clima (Salton et al., 2012).

A qualidade microbiana dos agregados foi quantificada por meio de análises de regressão, cujos atributos microbianos foram quantificados diretamente nas diferentes classes de agregados dos TUTs e apresentados na figura 1.

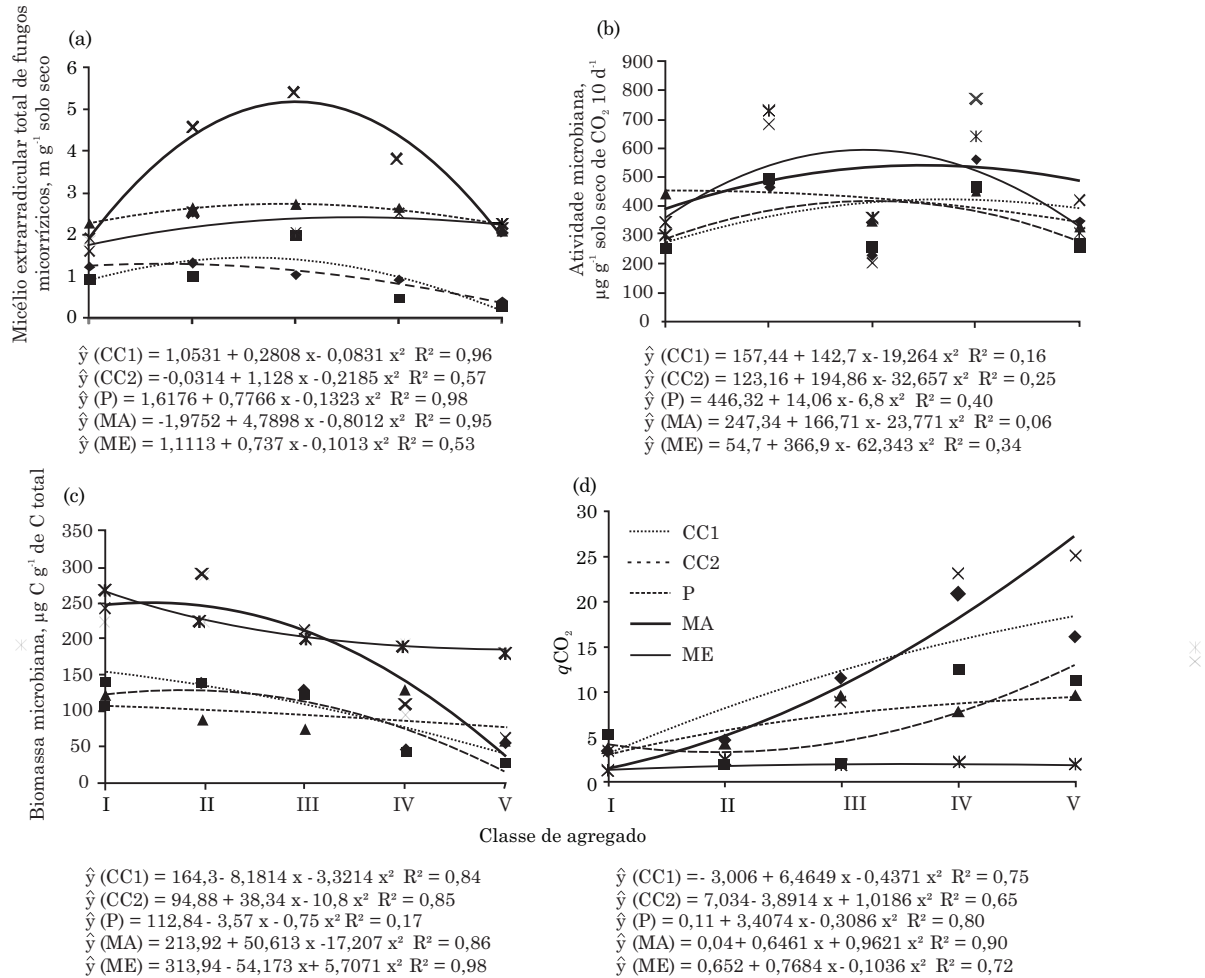
Independentemente do TUT, a qualidade microbiana dos agregados foi semelhante nas diferentes classes: redução de micélio extrarradicular, aumento da atividade microbiana, redução da biomassa e aumento do  $qCO_2$  da classe I para a classe V, ou seja, de agregados maiores para os menores. Correlações positivas e significativas entre micélio e MOS ( $r = 0,94^*$ ) e micélio e atividade microbiana ( $r = 0,95^*$ ) foram observadas. Estudos de Caravaca et al. (2006), avaliando o efeito do inóculo combinado de fungos micorrízicos e materiais orgânicos na agregação do solo, concluíram que o aumento de C no solo promoveu o crescimento de plantas, que, por sua vez, estimularam o crescimento dos fungos micorrízicos. Ainda, esses autores relacionaram o crescimento de fungos com o aumento na estabilidade dos agregados, pois suas hifas promovem a melhoria na estruturação do solo.

Nóbrega et al. (2001), estudando o efeito do histórico de uso, dos níveis de P, da inoculação micorrízica e do cultivo com braquiária e soja em casa de vegetação, concluíram que o grau de estabilidade dos agregados esteve condicionado ao nível de P no solo; e P se relacionou ao maior comprimento total de hifas. Neste estudo, a correlação entre P e micélio total e a entre P remanescente e micélio total foram

negativas e significativas ( $r = -0,57^*$  e  $-0,85^*$ , respectivamente), ou seja, P e micélio estiveram inversamente relacionados. O CC2 propiciou alto teor de P proveniente de adubação. O P, uma vez disponível na solução do solo, é absorvido pela planta e, por autorregulação, a simbiose é inibida (Ramos & Martins, 2010). Outros pesquisadores como Nogueira & Cardoso (2000), analisando o crescimento de espécies de soja inoculadas com FMAs, sob diferentes doses de P, constataram que a produção de micélios de fungos micorrízicos totais apresentou relação negativa com o incremento nas doses de P na planta, concordando com os dados deste estudo. Segundo os autores, além da interferência de fatores físicos, químicos e biológicos do substrato, o teor de P no hospedeiro pode influenciar a quantidade ou a composição dos exsudatos radiculares, o que influenciaria o crescimento do micélio externo dos FMAs e a translocação de nutrientes ao hospedeiro.

Normalmente, maior atividade microbiana foi observada em classes de agregados menores, o que pode ser constatado pela análise das equações de regressão das classes IV e V (Figura 1), principalmente em solos de mata com araucária. Entretanto, menores valores foram obtidos em TUT convencionais e pastagem, principalmente nessas menores classes de agregados. Nesta pesquisa, encontrou-se correção negativa entre atividade e MOS ( $r = -0,80^*$ ), contrariando resultados de outros trabalhos como os de Carvalho et al. (2008), Paz-Ferrero et al. (2009) e Hungria et al. (2009), os últimos relacionando atividade microbiana com a deposição de material orgânico e ocorrência de processos de colonização micorrízica. Assim, recomenda-se que sejam também avaliadas a composição química e degradabilidade da MOS, e não somente a sua quantidade, já que a decomposição microbiana está diretamente relacionada às características químicas do material (Ribeiro et al., 2011). Nesse sentido, maior atividade microbiana em solo de mata com araucária pode estar relacionada à melhor qualidade do material orgânico, principalmente à relação C/N, favorecendo a decomposição heterotrófica. Contrariamente, o cultivo convencional do solo, além de alterar as características químicas e físicas, tende a reduzir a atividade microbiana, principalmente em razão da redução de agregados (Dick, 1992). Segundo Brookes (1995), o declínio da atividade microbiana tem grande impacto na fertilidade natural do solo, com grandes efeitos nos ecossistemas naturais e implantados.

Quanto à biomassa, menores valores foram observados nos TUT convencionais e pastagem; e maiores valores, na mata de eucalipto (Figura 1). Entre as classes de agregados, a maior biomassa foi observada em agregados maiores (I, II e IV), independentemente do TUT. Os menores valores de biomassa nos tipos de uso convencionais podem estar associados ao revolvimento proveniente do maquinário usado na semeadura, que diminui a porcentagem de macroagregados (Tavares Filho & Tessier, 2009). Isso



**Figura 1. Equações de regressão do comportamento de atributos microbianos nas classes de agregado de amostras de solo, nos tipos de uso da terra. CC1: cultivo convencional com cenoura; CC2: cultivo convencional com abóbora; P: pastagem; MA: mata com araucária; e ME: mata de eucalipto. Classes de agregados: I: 4,00-2,36 mm; II: 2,36-1,18 mm; III: 1,18-0,60 mm; IV: 0,60-0,30 mm; e V: 0,30-0,15 mm.**

acarreta em menores espaços para o desenvolvimento de microrganismos, o que pode diminuir a biomassa microbiana e explicar os menores valores também nos agregados menores (classes IV e V).

De modo geral, maiores valores de  $q\text{CO}_2$  foram observados nos tipos de uso convencionais de cultivo e na mata com araucária, em agregados menores (classes IV e V). Já os menores valores estiveram relacionados às maiores classes de agregados (I, II e III), independentemente do TUT, embora mais evidente na pastagem e mata de eucalipto, esse último pouco influenciado pelos tamanhos de agregados. A variação nos valores do  $q\text{CO}_2$  pode estar relacionada ao estresse microbiano, conforme sugerido por Wardle & Ghani (1995). No entanto, ressalvas devem ser feitas na interpretação, pois os autores salientaram que o coeficiente pode responder a estresses (como limitações de nutrientes ou acidez), mas não a perturbações, limitando o seu uso como bioindicador. Contudo, aliado à facilidade de determinação, pode indicar tanto a

eficiência em utilizar fontes de C quanto o grau de limitação por substrato da biomassa microbiana.

Nesse sentido, em agregados maiores, os microrganismos tenderiam a ocorrer em maior quantidade ou biomassa e em situação menos estressante (menores valores de  $q\text{CO}_2$ ) ou limitante para o seu crescimento, conforme evidenciado na figura 1. Os menores valores de  $q\text{CO}_2$  em agregados da pastagem e mata de eucalipto, contrariando os tipos convencionais e mata de araucária, não podem ser explicados pela quantidade de MOS, em razão dos teores semelhantes (Quadro 1), mas possivelmente pela sua qualidade química, que não foi objeto desse estudo. Abiven et al. (2008), avaliando o efeito da adição de material orgânico em solos, concluíram que um controle adequado da adição de MOS proporciona aumento considerável na estabilidade de agregados, reduzindo possíveis processos erosivos. Porém, esse aumento só é possível se for levado em consideração, também, a qualidade e quantidade desse material

orgânico introduzido. Os autores citam como exemplo os compostos lábeis e o mucigel, representando a fração da matéria orgânica de forte influência na agregação, enquanto compostos recalcitrantes, como a lignina, têm efeito insignificante ou quase nulo na estabilidade dos agregados.

Todos os atributos químicos e microbianos relacionados à composição granulométrica do solo, que foram determinados diretamente nos agregados das diferentes classes, foram utilizados para análise multivariada, cujos resultados encontram-se no quadro 4 e na figura 2.

Os autovetores apresentados no quadro 4 correspondem às três principais componentes e podem ser considerados como uma medida da relativa importância de cada variável, em relação às componentes principais, sendo os sinais, positivos ou negativos, indicações de relações diretamente e inversamente proporcionais, respectivamente. No caso em questão, os coeficientes dos atributos ou seus pesos acima de 0,2000, independentemente se positivos ou negativos, foram destacados. A maioria dos atributos, principalmente os químicos, apresentou forte relação com o CP1, enquanto os microbianos e físicos, com o CP2. Ainda, os componentes principais 1 e 2

compuseram 75,86 % da variância total dos dados, sendo o CP1 com 63,16 % e o CP2 com 12,70 %, sendo, portanto, somente esses apresentados na figura 2.

Conforme a figura 2, para pastagem e mata de eucalipto, todas as classes de agregados agruparam-se, independentemente do tamanho, embora em quadrantes diferentes. O efeito da MOS e atividade microbiana, aliado à baixa fertilidade, fez com que a formação e qualidade microbiana dos agregados, independentemente das classes, fossem semelhantes com aqueles da pastagem. Já os teores de argila, biomassa microbiana e micélio extrarradicular total influenciaram igualmente os agregados de todas as classes de tamanho da mata de eucalipto. No entanto, apesar da importância da argila na formação e estabilização de agregados e, conseqüentemente, na atividade microbiana, não se observou correlação entre esses neste trabalho. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva & Mielniczuk (1998), estudando diferentes sistemas de cultivo e do solo, na estabilidade de agregados. Os pesquisadores concluíram que sistemas radiculares mais desenvolvidos explicaram melhor a agregação e sua estabilidade do que os próprios teores de carbono orgânico, Fe, alumínio-oxalato, argila e grau de dispersão.

Para os agregados dos demais TUTs, mata com araucária e cultivo convencional, verifica-se que os agregados das classes I, II e III apresentam relação e qualidade microbiana diferente daqueles pertencentes às classes de menores tamanhos (IV e V). Esses agregados menores, obtidos de amostras de solo da mata com araucária, apresentaram maior relação com os atributos MOS e atividade microbiana, comportamento semelhante àquele observado para todos os agregados da pastagem. Diferentemente, os agregados maiores do solo da mata de araucária (I, II e III) se apresentam semelhantemente a todos os agregados do solo da mata de eucalipto, ou seja, com maior relação com os atributos teor de argila, biomassa microbiana e micélio extrarradicular total. Assim, confirma-se a qualidade microbiana diferenciada de agregados do solo sob mata com araucária, em função dos seus tamanhos, revelando micro-habitats microbianos complexos, que respondem diferentemente aos tipos de uso aplicado sobre o solo.

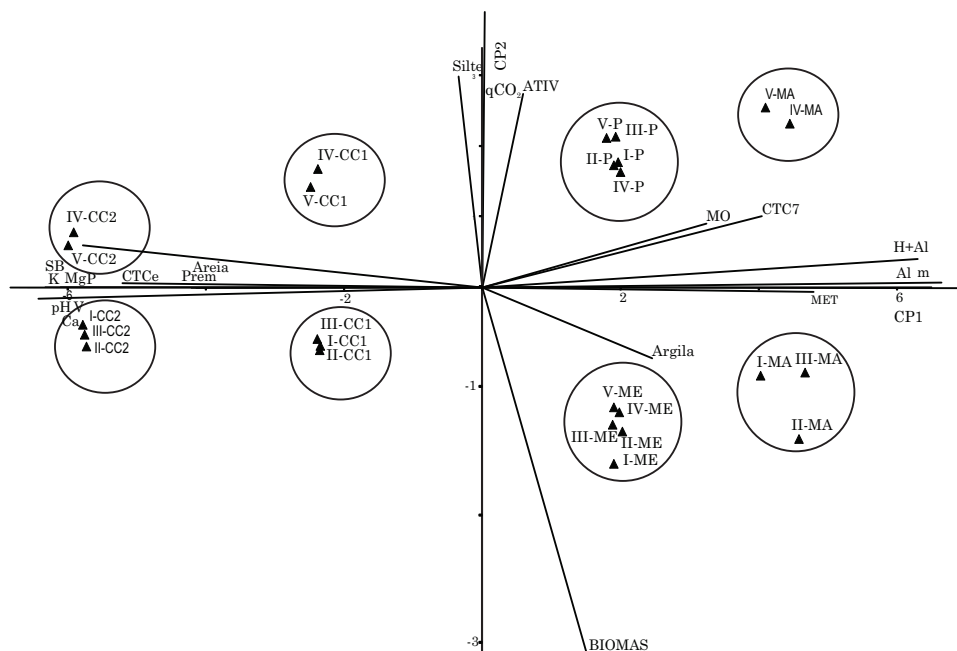
Contrariamente ao observado para a mata de eucalipto e mata com araucária, os agregados pertencentes aos usos da terra CC1 e CC2 apresentaram maior relação com os atributos químicos ligados à melhor fertilidade do solo. Esse fato corresponde ao uso mais intensivo de técnicas de correção da acidez e fertilização dos solos desses TUTs, quando comparada a dos demais (Quadros 1 e 2). No entanto, observou-se, ainda, formação e qualidade microbiana semelhante entre os agregados sob plantio de cenoura (CC1) e abóbora (CC2), com os de menores tamanhos (classes IV e V), apresentando maior relação com os atributos teor de areia, P total, P remanescente, SB, CTCe e teores de K e Mg. Os agregados maiores

**Quadro 4. Autovetores extraídos dos componentes principais (CP)**

Atributo	CP1	CP2	CP3
Microbiano			
MET	0.2241	-0.0571	0.0102
ATIV	0.0786	0.3782	-0.4295
BIOMAS	0.1257	-0.5194	0.0448
qCO <sub>2</sub>	0.0200	0.4517	-0.3912
Químico			
pH	-0.2594	-0.0894	0.0834
P	-0.2462	0.1771	0.1218
K	-0.2551	-0.0057	-0.1607
Ca <sup>2+</sup>	-0.2650	0.0140	-0.0127
Mg <sup>2+</sup>	-0.2574	0.0285	-0.0407
Al <sup>3+</sup>	0.2640	0.0620	-0.0856
H+Al	0.2569	0.1471	0.0424
SB	-0.2627	0.0164	-0.0208
CTCe	-0.2337	0.0583	-0.0778
CTC7	0.2060	0.2297	0.0491
V	-0.2674	-0.0062	-0.0539
m	0.2715	-0.0200	-0.0627
MO	0.1843	0.2174	0.3864
Prem	-0.2102	-0.0238	-0.2780
Físico			
Areia	-0.2082	-0.0258	0.1093
Silte	-0.0608	0.3952	0.3755
Argila	0.1607	-0.2292	-0.4545

MET: micélio extrarradicular total; ATIV: atividade microbiana; BIOMAS: carbono microbiano; e qCO<sub>2</sub> (quociente metabólico).





**Figura 2. Componentes principais das médias dos atributos químicos e microbianos obtidos nas classes de agregados e tipos de uso da terra. CC1: cultivo convencional com cenoura; CC2: cultivo convencional com abóbora; P: pastagem; MA: mata com araucária; e ME: mata de eucalipto. Classes de agregados: I: 4,00-2,36 mm; II: 2,36-1,18 mm; III: 1,18-0,60 mm; IV: 0,60-0,30 mm; e V: 0,30-0,15 mm. Atributos físicos: teores de argila, silte e areia. Atributos químicos: pH, MO (matéria orgânica), SB (soma de bases), V (saturação por bases), m (saturação por  $Al^{3+}$ ), CTCe (CTC efetiva), CTC7 (CTC a pH 7) e teores de Al, P, Ca, K, Mg, P, Prem (P remanescente). Atributos microbianos: BIOMAS (carbono microbiano), ATIV (atividade microbiana) e  $qCO_2$  (quociente metabólico).**

(I, II e III) apresentaram maior relação com os atributos pH, teor de Ca e saturação por bases. Dessa forma, verifica-se que nesse tipo de uso da terra, a formação e qualidade microbiana dos agregados de diferentes tamanhos também são influenciadas pelo manejo aplicado ao solo, sendo diretamente relacionadas à fertilidade do solo e não a sua microbiota, que se apresenta limitada, como se observam na figura 2 as relações opostas com a MOS, o micélio extrarradicular total, a biomassa e a atividade microbianas.

## CONCLUSÕES

1. Os tipos de uso da terra modificam a formação, o tamanho e a qualidade microbiana dos agregados.

2. A redução de micélio extrarradicular e biomassa microbiana e o aumento da atividade e do quociente metabólico estão relacionados a agregados menores (classes IV e V), independentemente do sistema de uso da terra.

3. Os agregados maiores, com tamanho entre 0,60 e 4,00 mm (I, II e III), do solo sob mata de araucária apresentam qualidade microbiana semelhante a todos os agregados do solo sob mata de eucalipto, com maior

relação ao teor de argila, biomassa microbiana e micélio extrarradicular total, enquanto os seus agregados menores de 0,60 mm (IV e V) apresentam-se como todos aqueles do solo sob pastagem, com maior relação ao teor de matéria orgânica, atividade microbiana e baixa fertilidade.

4. Os agregados do cultivo convencional de cenoura e abóbora, diferentemente dos demais tipos de uso da terra, apresentam baixa qualidade microbiana e relação direta com a fertilidade do solo, sendo os agregados maiores (I, II e III) com o pH, o Ca e a saturação por bases; e os menores (IV e V), com os teores de areia, P, P remanescente, K, Mg e soma de bases.

## AGRADECIMENTO

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, pelo apoio.

## LITERATURA CITADA

ABIVEN, S.; MENASSERI, S. & CHENU, C. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability - a literature analysis. *Soil Biol. Biochem.*, 41:1-12, 2008.

- ALMEIDA, V.P.; ALVES, M.C.; SILVA, E.C. & OLIVEIRA, S.A. Rotação de culturas e propriedades físicas e químicas em Latossolo Vermelho de cerrado sob preparo convencional e semeadura direta em adoção. R. Bras. Ci. Solo, 32:1227-1237, 2008.
- ANDERSON, J.P.E. Soil respiration. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H. & KEENEY, D.R., eds. Methods of soil analysis; Chemical and microbiological properties. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America/American Society of Agronomy, 1982. Part 2. p.831-845.
- ANDERSON, T.H. & DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. Soil Biol. Biochem., 25:393-395, 1993.
- ARATANI, R.G.; FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F. & ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. R. Bras. Ci. Solo, 33:677-687, 2009.
- BROOKES, P.C. The use of microbial parameters in soil pollution by heavy metals. Biol. Fert. Soils, 19:269-279, 1995.
- CAESAR-TONTHAT, T.C.; CAESAR, A.J.; GASKIN, J.F.; SAINJU, U.M. & BUSSCHER, W.J. Taxonomic diversity of predominant culturable bacteria associated with microaggregates from two different agroecosystems and their ability to aggregate soil in vitro. Appl. Soil Ecol., 1:10-21, 2006.
- CARAVACA, F.; ALGUACIL, M.M.; AZCÓN, R. & ROLDÁN, A. Formation of stable aggregates in rhizosphere soil of *Juniperus oxycedrus*: Effect of AM fungi and organic amendments. Appl. Soil Ecol., 1:30-38, 2006.
- CARVALHO, A.M.X.; VALE, H.M.M.; FERREIRA, E.M.; CORDERO, A.F.P.; BARROS, N.F. & COSTA, M.D. Atividade microbiana de solo e serapilheira em áreas povoadas com *Pinus elliottii* e *Terminalia ivorensis*. R. Bras. Ci. Solo, 32:2709-2716, 2008.
- COSTA, A.; ALBUQUERQUE, J.A.; MAFRA, A.L. & SILVA, F.R. Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração agricultura-pecuária. R. Bras. Ci. Solo, 33:235-244, 2009.
- DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. Soil Till. Res., 11:199-238, 1988.
- DICK, R.P. A review: Long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters. Agric. Ecosyst. Environ., 40:25-36, 1992.
- DUFRANC, G.; DECHEN, S.C.F.; FREITAS, S.S. & CAMARGO, O.A. Atributos físicos, químicos e microbiológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois Latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. R. Bras. Ci. Solo, 28:505-517, 2004.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O. & VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. R. Bras. Ci. Solo, 23:991-996, 1999.
- FERREIRA, M.M. Caracterização física do solo. In: JONG van LIER, Q., ed. Física do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p.1-28.
- HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; BRANDÃO-JÚNIOR, O.; KASCHUK, G. & SOUZA, R.A. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop-rotation systems. Appl. Soil Ecol., 42:288-296, 2009.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Monitoramento das estações convencionais. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/sim/sonabra/convencionais.php>>. Acesso em: 04 out. 2008.
- KASPER, M.; BUCHAN, G.D.; MENTLER, A. & BLUM, W.E.H. Influence of soil tillage systems of aggregate stability and the distribution of C and N in different aggregate fractions. Soil Till. Res., 105:192-199, 2009.
- KEMPER, W.D. & ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis; Physical and mineralogical methods. Madison, American Society of Agronomy, 1986. Parte 1. p.425-443.
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; GIÁCOMO, S.G.; PERIN, A. & ANJOS, L.H.C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura pecuária. Pesq. Agropec. Bras., 46:1269-1276, 2011.
- McCUNE, B. & MEFFORD, M.J. Multivariate analysis of ecological data. Version 3.12. Gleneden Beach, MjM Software, 1997.
- MELLONI, R. & CARDOSO, E.J.B.N. Quantificação de micélio extrarradicular de fungos micorrízicos arbusculares em plantas cítricas. I - Método empregado. R. Bras. Ci. Solo, 23:53-58, 1999.
- MELO, V.F.; MOURA, R.; TOLEDO, F.H.; LIMA, V.C. & GHIDIN, A.A. Morfologia de agregados de Latossolo Bruno e Vermelho do Estado do Paraná, avaliada por imagens obtidas em scanner. R. Bras. Ci. Solo, 32:85-99, 2008.
- 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. Pesq. Agropec. Bras., 11:1425-1435, 2001.
- NOGUEIRA, M.A. & CARDOSO, E.J.B.N. Produção de micélio externo por fungos micorrízicos arbusculares e crescimento da soja em função de doses de fósforo. R. Bras. Ci. Solo, 24:329-338, 2000.
- OLIVEIRA, J.T.; MOREAU, A.M.S.S.; PAIVA, A.Q.; MENEZES, A.A. & COSTA, O.V. Características físicas e carbono orgânico de solos sob diferentes tipos de uso da terra. R. Bras. Ci. Solo, 32:2821-2829, 2008.
- PAZ-FERRERO, J.; CEPEDA, T.; LEIRÓS, M.C.; SEOANE, S. & GIL-SOTRES, F. Biochemical properties in managed grassland soils in a temperate humid zone: Modifications of soil quality as a consequence of intensive grassland use. Biol. Fert. Soils, 45:711-722, 2009.

- RAMOS, A.C. & MARTINS, M.A. Fisiologia de micorrizas arbusculares. In: SIQUEIRA, J.O.; SOUZA, F.A.; CARDOSO, E.J.B.N. & TSAI, S.M., eds. Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2010. p.133-152.
- RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.; ALVAREZ, V.H., eds. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes para o estado de Minas Gerais. 5ª aproximação. 1.ed. Viçosa, CFSEMG, 1999. 359p.
- RIBEIRO, P.H.; SANTOS, J.V.V.M.; COSER, S.M.; NOGUEIRA, N.O. & MARTINS, C.A.S. Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. R. Verde, 6:43-50, 2011.
- SALTON, J.C.; SILVA, W.M.; TOMAZI, M. & HERNANI, L.C. Determinação da agregação do solo - Metodologia em uso na Embrapa Agropecuária Oeste. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2012. 8p. (Comunicado Técnico, 184)
- SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRICIO, 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, I.F. & MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. R. Bras. Ci. Solo, 22:311-317, 1998.
- SOLER, M.A. Agregação e atributos físico-hídricos do solo em sistemas conservacionistas de manejo. Florianópolis, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2003. 108p. (Dissertação de Mestrado)
- SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S. & TOMM, G.O. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 33:129-136, 2009.
- TAVARES FILHO, J.T. & TESSIER, D. Characterization of soil structure and porosity under long-term conventional tillage and no-tillage systems. R. Bras. Ci. Solo, 33:1837-1844, 2009.
- VEZZANI, F.M. & MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. R. Bras. Ci. Solo, 33:743-755, 2009.
- WARDLE, D.A. & GHANI, A. A critique of the microbial metabolic quotient ( $qCO_2$ ) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. Soil Biol. Biochem., 27:1601-1610, 1995.
- 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., 40:487-494, 2005.
- WICK, A.F.; INGRAM, L.J. & STAHL, P.D. Aggregate and organic matter dynamics in reclaimed soils as indicated by stable carbon isotopes. Soil Biol. Biochem., 41:201-209, 2009.