

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E AGREGAÇÃO DE UM
LATOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRICO SOB
DIFERENTES USOS E MANEJOS**

Llerme Navarro Vasquez

Engenheira Agrônoma

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Novembro de 2011

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E AGREGAÇÃO DE UM
LATOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRICO SOB
DIFERENTES USOS E MANEJOS**

Llerme Navarro Vasquez

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Corá

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

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Novembro de 2011

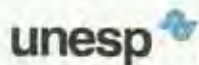
Navarro Vasquez, Llerme
N322s Substâncias húmicas e agregação de um latossolo vermelho
eutroférico sob diferentes usos e manejos / Llerme Navarro Vasquez.
-- Jaboticabal, 2011
viii, 50 f.: il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2011
Orientador: José Eduardo Corá
Banca examinadora: Maria Helena Moraes, Carolina Fernandes
Bibliografia

1. Índice de estabilidade de agregados. 2. Diâmetro médio
ponderado. 3. Plantio direto. 4. Pastagem. I. Título. II. Jaboticabal-
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.417.1

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



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E AGREGAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRICO SOB DIFERENTES USOS E MANEJOS

AUTORA: LLERME NAVARRO VASQUEZ

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSE EDUARDO CORA

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

Prof. Dr. JOSE EDUARDO CORA

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

Profa. Dra. CAROLINA FERNANDES

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

Profa. Dra. MARIA HELENA MORAES

Departamento de Recursos Naturais / Faculdade de Ciências Agrícolas de Botucatu

Data da realização: 22 de novembro de 2011.

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

LLERME NAVARRO VASQUEZ – Nascida no dia 22 de outubro de 1984, em Tingo María, no país do Peru. cursou o ensino fundamental na Escola Sagrada família e o ensino médio na Escola “Padre Abad”, ambas em Tingo María, Peru. Em março de 2002, ingressou no Curso de Graduação em Agronomia pela Universidade Nacional Agrária da Selva no Peru, e em Julho de 2008, obteve o título de Engenheira Agrônoma. Realizou estágio curricular de graduação no laboratório fungos entomatogênicos e na Produção de *Beauveria bassiana* no departamento de controle biológico do Serviço de Sanidade Agrária (CCB-SENASA), na cidade de Lima, Peru. Fez estágio no laboratório de física do solo em março até Julho de 2009 no Departamento de Solos e Adubos da FCAV. Iniciou em agosto de 2009 o curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) na Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Câmpus de Jaboticabal, SP, onde foi bolsista CAPES no período compreendido entre agosto de 2010 e novembro de 2011. No dia 22 de novembro de 2011 obteve o título de Mestre em Agronomia.

"Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende."

Leonardo da Vinci

Aos meus pais, **Manuel Navarro C. e Llerme Vasquez P.**

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À **Deus**, pela fé, amor, proteção, saúde e sabedoria para que pudesse alcançar mais um objetivo.

À minha **mãe e meu pai**, pela vida, ensinamentos, educação e incentivo.

À **Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias** pela excelente formação e pela estrutura oferecida para a realização do curso de Mestrado.

Ao **prof. Dr. José Eduardo Corá**, pela oportunidade de realização deste trabalho, pela brilhante orientação oferecida, pela amizade e pelos valiosos conselhos.

À **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)**, por ter concedido bolsa de estudos.

Ao **Dr. Adolfo Marcelo Valente**, pelas sugestões e contribuições na elaboração deste trabalho.

Ao amigo **Marcio**, pelas contribuições fundamentais para o desenvolvimento deste estudo.

Ao funcionário **Tiago Fieno** por acompanhar-me durante todas as etapas do mestrado.

A todos os professores que contribuíram para a formação durante o curso de mestrado.

Aos colegas de Pós-Graduação **Luis orlando, Junior, Liliane, Marcos e Getulio** pelo companheirismo e contribuições para a realização do curso.

Aos funcionários do DSA/FCAV: **Célia, Anderson e Claudia** por proporcionarem subsídios na realização deste trabalho.

A todos **os demais amigos** que sempre me incentivaram e me apoiaram nas tomadas de decisões, por mais distantes que estejam.

Ao **prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho** e ao **Dr. Adolfo Marcelo Valente** pelas brilhantes sugestões durante o exame de qualificação.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	vii
SUMMARY	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Matéria orgânica do solo	3
2.2. Uso e manejo do solo e conteúdo da matéria orgânica.....	5
2.3. Agregação do solo e matéria orgânica	8
3. MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1. Caracterização da área de estudo	12
3.2. Amostragem do solo.....	13
3.3. Determinações.....	14
3.3.1. Análises químicas e granulométricas	14
3.3.2. Teores do C orgânico do solo	15
3.3.3. Diâmetro médio ponderado (DMP) do solo	16
3.3.4. Índice de estabilidade de agregados (IEA) do solo.....	17
3.4. Análises estatísticas	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
4.1. Carbono orgânico e as substâncias húmicas no solo.....	19
4.2. Agregação do solo.....	22
4.3. Relações entre os atributos e a agregação do solo.....	24
5. CONCLUSÕES	28
6. REFERÊNCIAS	29

SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E AGREGAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRICO SOB DIFERENTES USOS E MANEJOS

RESUMO - Os sistemas de manejo alteram a qualidade dos solos, devido à influência da quantidade e da qualidade da matéria orgânica do solo, as quais podem afetar a agregação do solo. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência de usos do solo no teor de carbono total, substâncias húmicas e na estabilidade de agregados do solo. Os sistemas de uso do solo foram: pastagem, sistema convencional de preparo do solo (PC) e dois sistemas em semeadura direta (SSD), um com sucessão milho/milho (SDMM) e outro com a sucessão soja/milho (SDSM), utilizando como referência de qualidade do solo uma mata nativa (MN). A área de estudo localizou-se em Jaboticabal, SP, em um Latossolo Vermelho eutroférico. Amostras de solo foram coletadas na camada de 0-0,1 m, as quais foram analisadas quando ao diâmetro médio ponderado (DMP) e ao índice de estabilidade (IEA) dos agregados, teores de C orgânico total (COT), ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e humina (HUM) do solo. O solo sob pastagem apresentou teores de COT e C-AH semelhantes àqueles do solo sob MN. O solo sob pastagem apresentou maiores teores de C-HUM do que o solo sob MN, porém, observou-se resultado contrário nos teores de C-AF. O solo sob pastagem apresentou maiores teores de COT, C-HUM, C-AH e C-AF em relação aos sistemas de uso com SSD e PC. O solo sob pastagem apresentou agregados com tamanhos semelhantes àqueles observados no solo sob MN; porém superiores aos solos sob SDMM e SDSM. O solo sob PC apresentou os menores valores de DMP e IEA e teores de COT e C nas substâncias húmicas. Correlações significativas e positivas foram obtidas entre COT e os índices de agregação (IEA e DMP) em todos os manejos avaliados. Portanto, nesse estudo, a agregação do solo foi governada principalmente pelo COT do solo.

Palavras-chave: índice de estabilidade de agregados, diâmetro médio ponderado, plantio direto, pastagem.

HUMIC SUBSTANCE AND AGGREGATION OF AN EUTROFERRIC RED OXISOL UNDER DIFFERENT SOIL USE AND MANAGEMENT

SUMMARY – The soil management systems change the soil quality, due to the amounts and quality of soil organic matter, which may affect the soil aggregation. The aim of this study was to assess the influence of soil use on organic C content in total soil and in humic substances and the soil aggregation stability. The soil uses assessed were a pasture, conventional soil tillage (CT) and two systems under no-tillage (NT), one with maize/maize succession (NTMM) and other with soybean/maize succession (NTSM). A native forest (natural ecosystem) was used as reference of soil quality. The sites were located at Jaboticabal, Sao Paulo, Brazil, within the same soil, an Eutroferric Red Latosol (Oxisol). The soil samples were collected at 0-0.1 m depth layer and analyzed for aggregates mean-weight diameter (MWD), aggregates stability index (ASI), total organic C (TOC), fulvic acid (C-FA), humic acid (C-HA) and humin (C-HUM). The soil under pasture showed similar TOC and C-HA contents when compared with those from the soil under native forest. The C-HUM content of the soil under pasture was higher than that from the soil under native forest, however, an opposite result was observed in C-FA. The soil under pasture showed higher TOC, C-HUM, C-HA and C-FA when compared with the soils under NT and CT. The soils under pasture and MN were similar within the aggregate sizes (MWD), however, higher than the soils under NTMM and NTSM. The soil under CT showed the lowest MWD and ASI values and organic C contents in TOC and in humic substances. Positive correlations were observed between the COT contents and ASI and MWD values in all sites. Therefore, in this study, the soil aggregation was governed by TOC.

Keywords: aggregates stability index, mean-weight diameter, soil organic C, no-tillage, pasture.

1. INTRODUÇÃO

Sem considerar as reservas fósseis, o solo é o maior reservatório de carbono (C) terrestre, contendo cerca de duas vezes a quantidade de C da atmosfera e da biomassa vegetal. Os benefícios da matéria orgânica sobre a qualidade do solo estão relacionados à fração humificada, o reservatório mais estável do C orgânico do solo e componente eficiente na estabilização da estrutura do solo, com reflexos na maior resistência do solo à erosão.

As matas nativas são consideradas um ecossistema sustentável, devido ao equilíbrio existente entre adições e perdas de C orgânico, que preserva a estrutura do solo. O processo de conversão das matas nativas em sistemas de exploração agrícola resulta na redução do C do solo, devido ao aumento das taxas de decomposição da matéria orgânica do solo, redução das quantidades de material vegetal adicionadas ao solo, além da diferença de qualidade e em relação aos resíduos vegetais provenientes de uma floresta nativa. Dessa forma, o equilíbrio do sistema é afetado, de modo que as perdas superam as adições de C, reduzindo os teores C no solo.

A redução do teor de C orgânico em decorrência do uso do solo se reflete em uma série de alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, tais como redução da biodiversidade do solo, da capacidade de troca catiônica, da disponibilidade de nutrientes, da estrutura do solo, da infiltração de água e aumento na susceptibilidade do solo à compactação e à erosão.

A manutenção ou recuperação do C orgânico do solo depende da quantidade e da qualidade do material orgânico adicionado à superfície do solo, da sequência de culturas adotada e do tempo de adoção do sistema de manejo.

Ambientes distintos possuem diferenças na constituição do C orgânico total do solo (COT) e na distribuição das substâncias húmicas que compõem o COT, em consequência da quantidade e qualidade do material vegetal adicionado ao solo. Os teores de C orgânico das substâncias húmicas têm sido utilizados como indicadores de qualidade de solo, em razão da forte interação com o material mineral e por permitirem

uma detecção mais rápida das mudanças nos conteúdos de C no solo associadas ao manejo.

Em geral, a avaliação do C do solo é realizada por meio da determinação dos teores de COT. Entretanto, grande parte do COT é representada pelas substâncias húmicas, que constituem 85 a 90 % do COT (KONONOVA, 1982). As substâncias húmicas compreendem os ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e humina (HUM), definidas com base na solubilidade em meio ácido ou alcalino. As moléculas dos AF apresentam menor peso e tamanho molecular e possuem maior mobilidade no solo, e são responsáveis por mecanismos de transporte de cátions no solo. Os AH contribuem com a maior parte da capacidade de troca de cátions (CTC) de origem orgânica. A HUM apresenta maior grau de polimerização entre as substâncias húmicas e é a fração predominante nos solos tropicais, representando mais de 50% do C orgânico do solo (Konova, 1966). Apesar de possuir baixa reatividade, a HUM apresenta elevada interação com a fração mineral do solo e, conseqüentemente, é responsável pela participação na formação e estabilização de agregados maioria dos solos tropicais.

Em alguns trabalhos, foram demonstradas correlações positivas entre os teores de COT e agregação do solo. Os resultados demonstram que práticas de manejo e uso do solo podem influenciar a agregação do solo e, conseqüentemente, sua estrutura e a manutenção do C humificado no solo. Contudo, ainda são escassos dados visando analisar a influência das substâncias húmicas na estabilidade de agregados de solos tropicais com o objetivo de melhorar o manejo do solo.

Diante do exposto, estabeleceu-se a hipótese de que, em função do uso e manejo do solo, as formas de C nas SH influenciam a agregação do solo de um Latossolo Vermelho eutroférico. O objetivo do presente trabalho foi avaliar os teores totais de C orgânico no solo e os teores de C ácidos dos húmicos, ácidos fúlvicos e humina, e suas relações com os atributos químicos e de agregação do solo, em função do uso e manejo de um Latossolo Vermelho eutroférico.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Matéria orgânica do solo

O termo matéria orgânica do solo (MOS) refere-se a todos os compostos que contêm carbono (C) orgânico no solo, incluindo os microrganismos vivos e mortos, em seus diversos estágios de decomposição (SANTOS & CAMARGO, 1999). Vários fatores, como o clima, a vegetação original, textura, tipo e manejo do solo e, principalmente, a quantidade e qualidade dos resíduos vegetais têm sido apontados como controladores nos teores de MOS (COSTA et al., 2009; MAIA et al., 2009).

A MOS é considerada um dos principais indicadores da qualidade do solo sob tudo nas regiões tropicais, devido às limitações da maioria dos solos relacionadas às propriedades químicas, como baixa reserva de nutrientes, pequena quantidade de material orgânico, acelerada oxidação, grande exigência de fosfato, baixa CTC, moderada a alta acidez, à sua interação com praticamente todos os processos que ocorrem no solo (MAIA et al., 2009).

Quando as matas nativas são alteradas por atividades antrópicas em sistemas agrícolas ou pecuários, o equilíbrio dinâmico é quebrado e, normalmente, as entradas de C no solo são menores do que as saídas, o que conduz à redução da quantidade e alteração de qualidade da MOS, sendo maior a intensidade em áreas de relevo ondulado, nas quais se acentuam os processos erosivos (CERRI et al., 2008).

Sistemas agrícolas proporcionam redução do C do solo, devido ao acréscimo das taxas de decomposição da MOS, diminuição das quantidades de material vegetal adicionadas ao solo, além da diferença da qualidade dos resíduos quando comparados aos resíduos vegetais procedentes de uma mata nativa. Em solos sob mata nativa, a liberação de nutrientes pela liteira e a absorção de nutrientes pelas plantas ocorrem em sincronia, mantendo estáveis os teores de C orgânico do solo (CAMPOS et al., 2004). As perdas de MOS em sistemas agrícolas são decorrentes, principalmente, da intensidade de revolvimento do solo, a qual influencia a temperatura, umidade, aeração,

ruptura de agregados e a incorporação da resteva ao solo (BAYER & MIELNICZUC, 1997).

A redução e/ou alteração da qualidade da MOS afeta diretamente a qualidade do solo (HERMLE et al., 2008), pois a MOS é componente essencial nos diversos processos químicos, físicos e biológicos que ocorrem nos ecossistemas terrestres, dentre os quais se destacam: a estruturação do solo, a capacidade de troca iônica, o suprimento de nutrientes, adsorção de poluentes, redução da contaminação de água de superfície e subterrânea, o tamponamento do pH do solo, fonte de carbono e energia para os microorganismos do solo, disponibilidade de ar e água às raízes das plantas e o desenvolvimento do sistema radicular (CONCEIÇÃO et al., 2005).

A MOS pode ser dividida em dois grupos fundamentais: as biomoléculas e as substâncias húmicas (SH) (STEVENSON, 1994; SANTOS & CAMARGO, 1999). O primeiro grupo é representado pelos carboidratos, gorduras, ceras, proteínas e ácidos nucléicos (BARRETO et al., 2008). O segundo compreende os ácidos húmicos (AH), os ácidos fúlvicos (AF) e as huminas (HUM).

As SH compreendem um grupo de compostos de C gerados na decomposição dos resíduos orgânicos que sofrem ressíntese, formando um material denominado de húmus (STEVENSON, 1994). As SH apresentam tamanho coloidal e correspondem cerca de 80 a 90% do C do solo, dependendo do uso e manejo adotado (SANTOS, 2005). As SH desempenham importante papel na retenção de cátions, no fornecimento de nutrientes às culturas na atividade e biomassa microbiana e na estabilidade de agregados. Essa última, por sua vez, interfere na infiltração, retenção de água e aeração do solo. Assim, as SH constituem um componente fundamental da capacidade produtiva dos solos (BAYER & MIELNICZUCK, 1999).

As SH são definidas com base na solubilidade em meio ácido ou alcalino (Stevenson, 1994). As moléculas dos AF apresentam menor peso e tamanho e possuem maior mobilidade no solo, responsáveis por mecanismos de transporte de cátions dentro do solo (DUCHAUFOR, 1982). Os AH são insolúveis em meio ácido e contribuem na maior parte da capacidade de troca de cátions (CTC) de origem orgânica em camadas superficiais de solos (BENITES et al., 2003). A HUM apresenta maior grau

de polimerização entre as SH (SCHNITZER et al., 1991) e é a fração predominante nos solos tropicais, representando mais de 50% do C orgânico do solo (KONOVA, 1966). Apesar de possuir baixa reatividade a HUM, apresenta elevada interação com a fração mineral do solo e, conseqüentemente, é responsável pela formação de agregados na maioria dos solos tropicais (BENITES et al., 2003).

As SH representam quase a totalidade da MOS e, devido à sua grande reatividade, correspondem à porção envolvida na maioria das reações químicas do solo (CANELLAS et al., 1999). As SH representam o principal reservatório de C no solo e ainda interagem com a atmosfera modificando a quantidade de CO₂, dependendo do uso e manejo adotado (PICCOLO, 1999). BAYER & MIELNICZUK (1999) destacaram que as mudanças no ambiente, decorrentes de práticas inadequadas de manejo, podem levar ao rápido declínio da MOS em áreas tropicais e subtropicais.

A distribuição do C orgânico nas três frações das SH depende do tipo de solo, do tipo de vegetação, do uso e do manejo empregado (STEVENSON, 1994; DICK & MARTINAZZO, 2006). O preparo intensivo do solo, a queima da resteva e a manutenção de culturas com baixa adição de resíduos vegetais promovem a degradação de suas propriedades químicas e físicas (BAYER & MIELNICZUK, 1997). O conhecimento da aplicação de técnicas que promovam a manutenção ou recuperação dos teores de MOS, permitem a busca do equilíbrio entre perdas e ganhos observados em ambientes sob vegetação natural.

2.2. Uso e manejo do solo e conteúdo da matéria orgânica

Dependendo do uso e manejo empregado, a MOS pode ser alterada com maior ou menor intensidade (BARRETO et al., 2008), tendo o revolvimento do solo importante papel na distribuição de suas frações (BAYER & BERTOL, 1999). Nas últimas décadas, tem se dado atenção especial à rápida degradação dos solos sob exploração agrícola, especialmente nos países tropicais em desenvolvimento (LAL, 1997). Diante disto, diferentes trabalhos têm buscado analisar os compartimentos (SH e COT) da MOS, a fim de criar estratégias de manejo que reduzam o impacto da agricultura sobre o ambiente (PINHEIRO et al., 2003; ALMEIDA et al., 2005; SOUZA et al., 2006).

Em solos florestais encontra-se maior quantidade de C orgânico na superfície porque a contribuição da liteira é maior do que a das raízes, ficando uma maior proporção localizada superficialmente (RUIVO et al., 2005).

O acúmulo de material orgânico no SSD tem origem na inexistência de revolvimento do solo. Pelo fato, a MOS fica menos exposta ao ataque dos microrganismos, pois, não há quebra das estruturas que a protegem fisicamente dos agentes decompositores (ANDRADE et al., 2009).

Estudos sobre estoque de carbono e emissões de CO₂, influenciados por sistemas de manejo do solo no Sul do Brasil, mostraram que o SSD, associado à culturas que incorporam resíduos vegetais ricos em C e N, promove balanço positivo de C no solo. Ainda, o sistema convencional de preparo do solo e SSD, aliado às culturas de baixa incorporação de C e N, promovem balanço negativo de C no solo.

ALMEIDA et al. (2008) ao avaliarem o efeito de sistemas de manejo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho, verificaram que, após três anos da adoção do sistema de semeadura direta, houve incremento dos teores de MOS na camada de 0,00–0,10 m. O SSD, em virtude da maior concentração de raízes nas camadas superficiais e da deposição superficial dos resíduos vegetais, aliado à ausência de revolvimento do solo, favorece o acúmulo de MOS (SILVA et al., 2006).

Do ponto de vista da física do solo, tem-se recomendado a adoção do SSD, aliado a rotação de culturas para manter e/ou aumentar os teores de MOS (ANDRADE et al., 2009). Têm-se verificado maior acúmulo de MOS na superfície de solos sob SSD, em comparação ao sistema convencional de preparo do solo, aproximando-se das condições de mata, cerrado e campo nativo (LLANILLO et al., 2006). A quantidade de MOS acumulada no solo é dependente do sistema de culturas adotado (AMADO et al., 2001). Geralmente, sistemas que incluem culturas com alta produção de resíduos vegetais e culturas com baixa relação C/N resultam, em geral, em maiores acúmulos de matéria orgânica no solo (ANDRADE et al., 2009).

COSTA et al. (2009) compararam sistemas de manejo da pastagem e sistemas de preparo do solo para o cultivo de verão, após nove anos, sob um Cambissolo Húmico. Os autores observaram que o milho em SSD, após a dessecação da pastagem,

proporciona ao solo os maiores teores de COT, na camada de 0-0,05 m em comparação ao solo cultivado com milho em preparo convencional.

FONTENELE et al. (2009), verificando alterações nos atributos físicos de um Latossolo Amarelo em decorrência de sistemas de manejo, observaram que o SSD e a área recém desmatada apresentaram os maiores teores de MOS na camada de 0-0,05 m, em comparação ao sistema convencional de preparo do solo e ao cerrado nativo. Os autores consideraram que o aumento do teor de MOS foi devido à deposição superficial de resíduos e à presença de resíduos vegetais facilmente decomponíveis, em função do desmatamento recente.

Análises da MOS em Latossolo submetido a diferentes sistemas de manejo e cobertura foram realizadas por PINHEIRO et al. (2003). Neste estudo, os autores observaram que a fração húmica (HUM) correspondeu à maior parte do teor de COT, apresentando teores mais elevados em áreas de gramíneas, na profundidade de 0-0,5 m. Ao comparar o sistema de preparo convencional do solo ao cultivo mínimo e cobertura de gramíneas, observaram redução de 42% em relação ao sistema preparo convencional e de 53% em relação à cobertura de gramíneas, para o carbono da fração HUM. Já as frações dos ácidos húmicos (AH) e ácidos fúlvicos (AF) não apresentaram alterações significativas nos teores de carbono entre os diferentes sistemas de manejo empregados.

CUNHA et al. (2001), verificaram diferenças nos teores e na distribuição das frações húmicas em solos sob cultivo agrícola e vegetação natural. Os autores atribuíram as variações observadas à degradação da cobertura vegetal e ao reduzido aporte de compostos orgânicos, fato este que contribuiu para a elevação do teor de HUM e AF nos ambientes naturais em relação aos teores verificados nos agroecossistemas.

Ao comparar três usos da terra (Mata Atlântica nativa, cultivo de cacau e pastagem) BARRETO et al. (2008) não encontraram diferenças significativas para o COT, entretanto, a distribuição das substâncias húmicas variou em função dos diferentes usos. A fração HUM foi predominante, tendo obtido valores mais elevados na superfície da pastagem. Sob Mata Atlântica, os AH aumentaram em profundidade,

tendo comportamento diferente nos outros usos. Os AF tenderam ao aumento em profundidade, exceto para a Mata Atlântica. Os resultados de MARCHIORI JR & MELO (2000) não apontam diferenças entre os sistemas de uso para as frações húmicas, exceto quando estas são apresentadas em relação ao COT, fato este mais evidente para a camada de 0-0,10 m do solo. Já os dados de LEITE et al. (2003) mostram que a substituição da mata natural de Mata Atlântica por cultivos anuais (milho) causou reduções nos teores de C de todas as frações húmicas.

2.3. Agregação do solo e matéria orgânica

A MOS exerce um papel de grande importância no processo de formação e estabilização dos agregados dos solos (WOHLENBERG et al., 2004; BRONICK & LAL, 2005; LOSS et al., 2009). A agregação resulta da união de partículas, mediados pelo C orgânico do solo, argila e carbonatos, sendo o C orgânico, ao mesmo tempo, agente de ligação e núcleo na formação dos agregados (BRONICK & LAL, 2005). Nesse sentido, a estabilização dos agregados depende do contínuo fornecimento de matéria orgânica pelas culturas de maneira suficiente para compensar a rápida perda de C orgânico do solo em condições tropicais (SIX et al., 2000; BRONICK & Lal, 2005).

Existem relatos da ação cimentante do C orgânico, em relação à quantidade da MOS (CASTRO et al., 1998). Além disso, os solos de regiões tropicais são submetidos a altas temperaturas e maiores taxas de decomposição, diminuindo, dessa forma, o conteúdo de C orgânico e, conseqüentemente, a estabilidade dos agregados (BRONICK & LAL, 2005).

Foram demonstrados que, entre os componentes da MOS, as SH possuem uma maior habilidade relativa para promover a formação de agregados estáveis e seus efeitos são mais persistentes (SWIFT, 1991). Os trabalhos realizados por STEVENSON (1982) e BAYER & MIELNICZUK (1997) mostraram que a relação da MOS com a agregação pode ser avaliada por meio das SH que a compõem.

O efeito das SH na estabilidade dos agregados é mais duradoura, já que sofrem uma degradação biológica de menor intensidade (TISDALL & OADES, 1982). Vários

estudos têm avaliado o uso de materiais orgânicos para melhorar a agregação do solo, visto que as SH, principalmente os ácidos húmicos, têm efeito benéfico na estabilidade dos agregados (TISDALL & OADES, 1982; LYNCH & BRAGG, 1985; FORTUN et al., 1990; PICCOLO & MBAGWU, 1994). Segundo BASTOS et al. (2005), uma molécula com forte caráter hidrofóbico, como o ácido húmico, é capaz de aumentar a agregação do solo sem sofrer a influência de outros compostos de maior ou menor grau de hidrofobicidade

Os sistemas de cultivo do solo, geralmente, aumentam as taxas de oxidação da MOS, facilitando o ataque de microrganismos. Entretanto, alguns sistemas, como os conservacionistas, por exemplo, possibilitam maior proteção e preservação desse material orgânico, promovendo, assim, maior estabilidade aos agregados (PASSOS et al. , 2007).

SALTON et al. (2008), avaliando a estabilidade de agregados em sistemas agropecuários do Mato Grosso do Sul, corroboraram a idéia de que a estabilidade de macroagregados está ligada ao teor de C orgânico no solo. Segundo estes autores, o aporte de C confere um aumento nos macroagregados do solo, que podem não ser estáveis. Porém, os agentes cimentantes ligados aos microrganismos, liberação de substâncias de raízes, entre outros fatores, garantem maior estabilidade a essas estruturas.

Comparando o solo de vegetação nativa de Cerrado com o uso no SSD e sistema convencional de preparo solo em um Latossolo Vermelho, MENDES et al. (2003) observaram maior estabilidade de agregados no Cerrado do que no SSD, sendo o sistema convencional o sistema com menor estabilidade de agregados. SILVA et al. (2008), avaliando as propriedades físicas de um Latossolo Vermelho nas áreas de mata nativa e SSD por 2, 4 e 6 anos, constataram que na primeira área houve maior teor de matéria orgânica e, conseqüentemente, melhor agregação do solo.

Comparando sistemas convencionais e de SSD, com campos nativos, Lima et al. (2008) confirmaram que em solos sem interferência antrópica, foram encontrados menores valores de densidade do solo, bem como maior condutividade hidráulica, macroporosidade e agregação. WENDLING et al. (2005) também concluíram que os

sistemas que envolveram cultivo do solo apresentaram menores valores para a estabilidade dos agregados.

Avaliando o comportamento dos índices de estabilidade dos agregados (IEA) em áreas de mata nativa, pastagem e cafezal (mecanizado e não-mecanizado), OLIVEIRA et al. (2008) concluíram que a magnitude dos efeitos negativos causados pelo uso do solo na agregação aumentou no sentido mata-pastagem-cafezal. Os valores de IEA encontrados para mata nativa foram de aproximadamente 80% contra 77% nas áreas de pastagem e 67% nas áreas de cafezal. Os valores de DMP também acompanharam o mesmo sentido de decréscimo. Portanto, em áreas nativas, geralmente, são encontradas as melhores condições para o crescimento e desenvolvimento dos vegetais. LIMA et al. (2008) comentaram que a concentração de agregados de maior tamanho nos ecossistemas de mata se devem à maior quantidade de matéria orgânica e de raízes, que contribuem para a aproximação das partículas do solo.

ABIVEN et al., (2008), avaliando o efeito da adição de material orgânico em solos, concluiu que um controle adequado da adição de MOS, proporciona um aumento considerável na estabilidade de agregados, reduzindo possíveis processos erosivos. Porém, este aumento só é possível se também for levado em consideração, a qualidade e a quantidade desse material orgânico introduzido. O autor cita como exemplo, os compostos lábeis e a mucilagem, representando a fração da matéria orgânica de forte influência na agregação, enquanto compostos recalcitrantes, como as ligninas apresentam efeito insignificante ou quase nulo na estabilidade dos agregados.

Um dos fatores que influencia a agregação do solo é o sistema de manejo que utiliza práticas de rotação ou sucessão de culturas. Estas práticas podem proporcionar variações na agregação do solo, de acordo com as espécies utilizadas no sistema (ANDRADE et al., 2009). AMADO et al. (2005) descrevem ainda que, o contínuo aporte de matéria orgânica em superfície no SSD proporciona maior estabilidade dos agregados e a continuidade dos poros com o decorrer dos anos.

VEIGA et al. (2009) também corroboraram o fato de que com a manutenção dos restos culturais no solo, a estabilidade dos agregados na camada superficial aumenta.

Estes autores ainda associaram maior estabilidade a um maior estoque de material orgânico no solo.

Existem inúmeras pesquisas que atribuem a formação e estabilidade de agregados às plantas de cobertura. Geralmente, a agregação é atribuída às características das gramíneas e/o leguminosas. CAMPOS et al. (1999) e WOHLBERG et al. (2004) verificaram que a seqüência de culturas com a sucessão de gramíneas com leguminosas favoreceu a maior agregação do solo. Para CAMPOS et al. (1999) este comportamento se deve ao sistema radicular da gramínea e à taxa de decomposição das leguminosas, criando ambiente favorável à agregação pela ação das raízes, cobertura do solo, fornecimento de material orgânico e conservação da umidade favorável à ação dos microrganismos.

ANDRADE et al. (2009) avaliaram o efeito de culturas de cobertura, na qualidade física de um Latossolo Vermelho sob SSD e observaram que a *braquiária solteira* propiciou maior conteúdo de MOS na camada 0-0,10 m que o milho consorciado com *braquiária* e as leguminosas guandu e estilosantes. Resultado semelhante na mesma área foi observado por STONE et al. (2006), que verificaram que essas leguminosas produziram as menores quantidades de matéria seca, em comparação com a *braquiária*. Esses resultados mostram a importância das culturas na agregação do solo, especialmente gramíneas, que apresentam alta produção de matéria seca.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado no município de Jaboticabal, SP, com latitude de 21°14'S, longitude 48°17'W, localizado a 595 m de altitude. Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), o solo foi classificado como Latossolo Vermelho eutrófico.

Foram selecionadas áreas com diferentes usos e manejos sob o mesmo do solo (Figura 1).

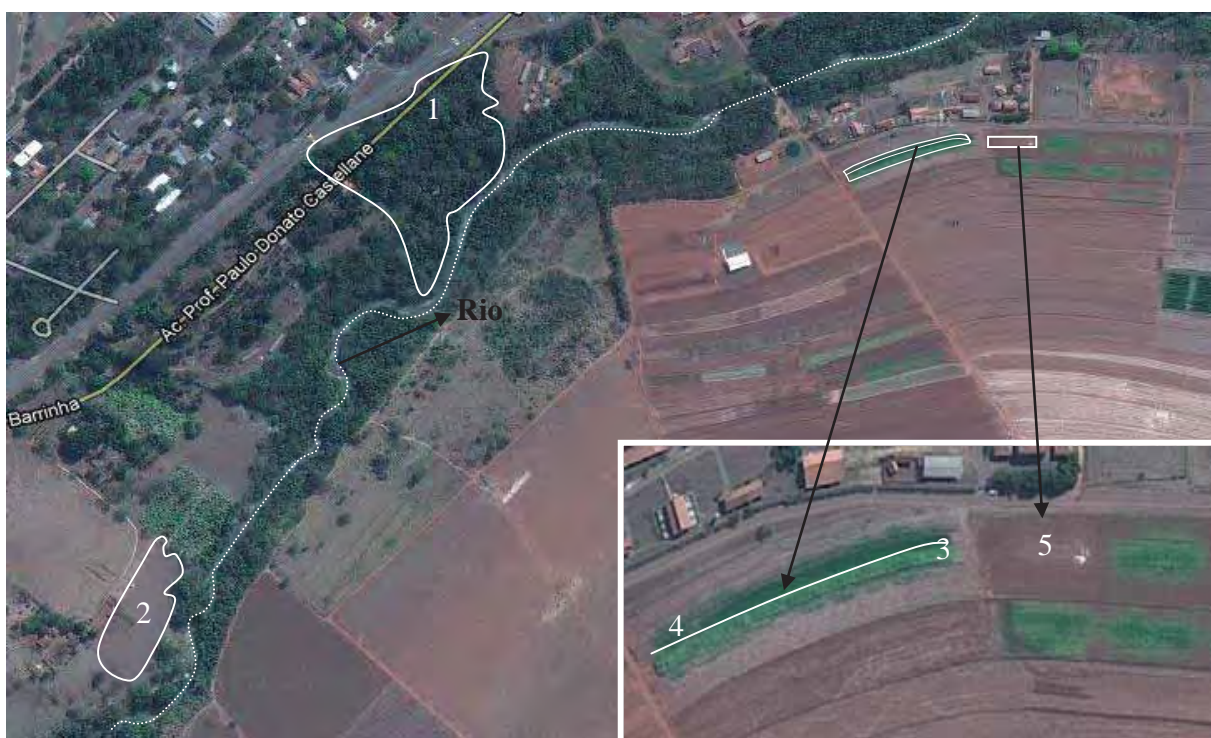


Figura 1. Usos e manejos: 1) mata nativa; 2) pastagem; 3) semeadura direta com sucessão de milho (SDMM); 4) semeadura direta com sucessão soja/milho (SDSM); 5) sistema convencional de preparo do solo com soja (PC).

O clima do local é do tipo Aw, tropical de inverno seco, conforme classificação climática de Köppen, tendo temperatura média anual de 22 °C e umidade relativa do ar de 70 %. A precipitação anual média é de 1425 mm, com distribuição anual concentrada no período de outubro-março e com relativa seca no período de abril-setembro.

Os usos e manejos do solo foram: mata nativa (MN); pastagem com *Braquiária brizantha* pelo menos de 35 anos; produção de grãos (soja e milho) sob sistema convencional de preparo do solo (grade aradora e grade por 35 anos) (PC); sistemas de semeadura direta (SSD), com sucessão milho/milho (SDMM) e com sucessão soja/milho (SDSM) por vinte anos desde 1991. Antes de 1991 por 15 anos, a área foi utilizada para produção de grãos sob sistema de preparo convencional do solo. Só o SSD teve adubação nitrogenada (N = 150 Kg/ha) na cultura de milho (*Zea mays L*) de verão, com sucessão de culturas, tendo como leguminosas a soja (*Glycine max*) e gramínea milho (*Zea mays L*) no inverno. A mata nativa foi selecionada visando ser considerada como referência.

3.2. Amostragem do solo

No início de junho de 2010, em cada uso e manejo, foram coletadas, aleatoriamente, 30 amostras do solo na camada 0-10 cm de profundidade, a amostragem foi realizada na entrelinha da cultura no SSD, após o preparo do solo, no SDSM já estava com presença da soja (Figura 2) e no PC foi realizada antes do preparo do solo, após a coleta da soja (Figura 3).

Nos usos e manejos, foram coletadas amostras do solo com auxílio de um enxadão, para as determinações do Diâmetro médio ponderado (DMP) e Índice De Estabilidade De Agregados (IEA), já para as substâncias húmicas (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e humina), carbono orgânico total (COT), análises químicas e granulométricas, foram coletadas amostras do solo com auxílio de um trado.



Figura 2. Amostragem no SSD, com sucessão milho/milho (SDMM) e com sucessão soja/milho (SDSM).



Figura 3. Amostragem sob sistema de preparo convencional do solo.

3.3. Determinações

3.3.1. Análises químicas e granulométricas

As amostras de solo foram destorroadas, secas ao ar e peneiradas em malha de 2 mm e, posteriormente, submetidas à caracterização química (RAIJ et al., 2001) e granulométrica, sendo esta última com adição de areia na fase de dispersão física (CORÁ et al., 2009) e determinação do teor de argila por meio do método da pipeta

(CAMARGO et al., 1986). Resultados das análises químicas e granulométricas estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos químicos e granulométricos de um Latossolo Vermelho eutrófico sob diferentes usos e manejos.

Atributos	Usos e manejos ⁽¹⁾				
	Mata Nativa	Pastagem	SDMM	SDSM	PC
Areia (g kg ⁻¹)	228 (± 20)	118 (± 13)	132 (± 4)	135 (± 6)	108 (± 5)
Silte (g kg ⁻¹)	141 (± 18)	201 (± 10)	211 (± 10)	205 (± 8)	233 (± 9)
Argila (g kg ⁻¹)	631 (± 14)	681 (± 12)	657 (± 9)	660 (± 5)	659 (± 8)
pH (CaCl ₂)	5,8 (± 0,1)	4,9 (± 0,1)	5,9 (± 0,1)	5,9 (± 0,1)	5,5 (± 0,1)
P (resina) (mg dm ⁻³)	86,3 (± 49,4)	128,8 (± 32,6)	76,4 (± 6,9)	73,8 (± 9,7)	68,2 (± 11,3)
K ⁺ (mmol _c dm ⁻³)	4,5 (± 0,5)	7,4 (± 0,5)	5,6 (± 0,3)	5,0 (± 0,3)	5,2 (± 0,3)
Ca ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	92,1 (± 10,0)	43,5 (± 5,1)	58,6 (± 1,8)	64,3 (± 2,6)	36,1 (± 1,2)
Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	25,4 (± 1,8)	29,6 (± 1,6)	22,8 (± 0,6)	23,8 (± 0,6)	15,4 (± 0,7)
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	29,5 (± 3,1)	67,3 (± 5,6)	19,5 (± 0,6)	21,9 (± 0,7)	28,0 (± 0,8)
SB (mmol _c dm ⁻³)	121,9 (± 10,1)	81,8 (± 5,6)	86,9 (± 2,3)	93,2 (± 3,0)	56,8 (± 1,9)
CTC (mmol _c dm ⁻³)	151,4 (± 9,1)	149,1 (± 6,9)	106,3 (± 2,1)	115,1 (± 2,6)	84,8 (± 1,9)
V (%)	80,0 (± 2,5)	54,9 (± 2,7)	81,5 (± 0,8)	80,9 (± 0,9)	66,9 (± 1,1)

⁽¹⁾: SDMM = sistema de semeadura direta com sucessão de milho, SDSM = sistema de semeadura direta com sucessão soja/milho, PC = sistema convencional de preparo do solo. valores médios são apresentados com o intervalo de confiança (P<0,05).

3.3.2. Teores do C orgânico do solo

As substâncias húmicas foram extraídas das amostras de solo secas ao ar e passadas por peneiras com abertura de malha de 2 mm. As amostras foram submetidas ao fracionamento segundo o método da Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS) (SWIFT, 1996) com base na solubilidade diferencial em soluções alcalinas e ácidas, sendo obtidas as frações correspondentes aos ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e humina (HUM). A determinação dos teores de C nas frações AH, AF e HUM seguiu os procedimentos descritos por YEOMANS & BREMNER (1988).

3.3.3. Diâmetro médio ponderado (DMP) do solo

Segundo a descrição da análise da estabilidade de agregados com uso de múltiplas peneiras por Martins (2008), as amostras do solo foram destorroadas, manualmente, com o mesmo teor de água em que as amostras foram obtidas no campo, e passada em peneira com abertura de malha de 6,30 mm. Os agregados que passaram pela peneira e que ficaram retidos em peneira com abertura de 4,00 mm foram secos ao ar por 48 h. 10 g destes agregados, foram utilizadas para a determinação do teor de água da amostra, as quais foram levadas à estufa a 105 °C por 24 horas e depois pesadas. Outras 20 g de agregados com diâmetros entre 6,30–4,00 mm foram transferidos para um conjunto de três peneiras, e submetidos à determinação da estabilidade de agregados em água, utilizando o aparelho para a oscilação vertical (YODER, 1936), equipado com um conjunto de seis peneiras (abertura de malhas de 4,00; 2,00; 1,00; 0,50; 0,25; 0,125 mm) por 15 min, ajustado a 31 ciclos min^{-1} , com uma amplitude de oscilação de 35,0 mm. As análises de cada amostra foram realizadas em triplicata.

Os agregados retidos em cada peneira durante o peneiramento úmido foram transferidos para latas de alumínio previamente taradas. Esse material foi levado para estufa à temperatura de 105 °C por 24 horas. Em seguida, foi realizada a pesagem e o solo foi armazenado. Considerando-se que partícula primária não deve ser considerada como agregado (KEMPER & ROSENAU, 1986), foi feita a subtração das quantidades de areia com diâmetro maior que o limite inferior de cada classe de tamanho de agregados estáveis em água. Para determinação dessas quantidades, toda a amostra retida em cada peneira foi transferida para frascos para a dispersão lenta em agitador rotatório de Wiegner, a 60 ciclos min^{-1} , por 16 horas, usando 100 mL de NaOH 0,1 mol L^{-1} . Posteriormente, a suspensão foi passada nas mesmas peneiras que retiveram os agregados durante o peneiramento úmido. Os materiais retidos nessas peneiras foram transferidos para béqueres, levados para estufa a 105 °C por 24 h e pesados.

Com os dados de peso de agregados retidos em cada peneira, teor de água das amostras e teor de areia, calculou-se a proporção de agregados estáveis em água.

O cálculo do diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados estáveis em água baseou-se no método de KEMPER & ROSENAU (1986), utilizando-se a seguinte equação 1:

$$\text{DMP} = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot w_i) \quad (1)$$

em que, x_i é o diâmetro médio de agregados da i -ésima classe de tamanho; w_i é a proporção de agregados estáveis, retidos em cada classe de tamanho de agregados, em relação a massa inicial; e, n é o número de classes utilizadas.

3.3.4. Índice de estabilidade de agregados (IEA) do solo

O IEA foi determinado conforme o método descrito por KEMPER & ROSENAU (1986), utilizando agregados que passaram pela peneira com aberturas de malha de 2,00 mm e que foram retidos em peneira com malha de 1,00 mm, provenientes das amostras de solo que foram secas ao ar e peneiradas em peneira com malha de 2,00 mm. Uma alíquota de 4,0 g dos agregados foi transferida para uma peneira com malha de 0,25 mm e submetidas para oscilação vertical (YODER, 1936) por 3 min, ajustado a 35 ciclos min^{-1} , com uma amplitude de oscilação de 1,3 cm.

Após a análise, os agregados retidos na peneira com aberturas de 0,25 mm foram transferidos para latas de alumínio, previamente taradas, as quais foram levadas à estufa a 105 °C por 24 horas. Também foi realizada a correção do teor de água e de areia >0,25 mm, seguindo os mesmos procedimentos descritos no item 3.3.3

Com os dados de massa de agregados retidos na peneira com aberturas de 0,25 mm e a massa de areia >0,25 mm, calculou-se do índice de estabilidade de agregados (IEA) utilizando-se a equação 2:

$$\text{IEA} = 100 \cdot \frac{(\text{massa de agregados} > 0,25 \text{ mm}) - (\text{massa de areia} > 0,25 \text{ mm})}{(\text{massa de agregados secos de 2 - 1 mm}) - (\text{massa de areia} > 0,25 \text{ mm})} \quad (2)$$

3.4. Análises estatísticas

As dados dos teores de C orgânico total (COT) e as substâncias húmicas (C-AF, C-AH, C-HUM), e de agregação do solo foram analisados estatisticamente, e as médias foram comparadas pelo teste de t, a 5% de probabilidade. Cada situação de manejo do solo foi considerada como uma amostra casualizada, com população de tamanho 30 (amostras do solo). Separadamente para cada situação de manejo do solo, análises de correlação de Pearson ($P < 0,05$) foram realizadas entre os atributos químicos do solo com os teores de carbono orgânico total e as substâncias húmicas e os índices de agregação do solo e, ainda, entre o C orgânico e suas frações húmicas com os índices de agregação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Carbono orgânico e as substâncias húmicas no solo

O solo sob pastagem apresentou teores de carbono (C) orgânico total (COT) e os ácidos húmicos (C-AH) semelhantes àqueles do solo sob mata nativa (Tabela 2), sistema não perturbado, utilizado como referência no presente estudo. A pastagem superou a mata nativa quanto aos teores de C orgânico na fração humina (C-HUM) com um 63% do COT, porém, observou-se resultado contrário nos teores de C orgânico nos ácidos fúlvicos (C-AF) com um 33% do COT. O solo sob pastagem apresentou maiores teores de COT, C-HUM e C-AF em relação aos sistemas de manejo com cultivos anuais, com semeadura direta (SDMM e SDSM) e com sistema convencional de preparo do solo (PC).

Tabela 2. Teores de C orgânico total nas substâncias húmicas no solo sob diferentes usos e manejos.

Usos e Manejos ⁽²⁾	C orgânico do solo ⁽¹⁾						
	C-AH	C-AF	C-HUM	COT			
	----- g kg ⁻¹ -----						
Mata nativa	3,26 (±0,25) b	8% ⁽³⁾	12,11 (±0,89) a	33%	20,73 (±0,64) b	56%	36,71 (±3,25) a
Pastagem	3,52 (±0,15) b	9%	10,82 (±0,24) b	28%	24,79 (±0,22) a	63%	39,06 (±1,19) a
SDMM	4,68 (±0,28) a	27%	2,10 (±0,17) d	12%	10,43 (±0,16) c	60%	17,28 (±0,23) b
SDSM	4,79 (±0,25) a	30%	1,82 (±0,17) d	12%	9,08 (±0,18) d	58%	15,75 (±0,35) c
PC	2,36 (±0,25) c	18%	3,38 (±0,39) c	27%	6,84 (±0,20) e	54%	12,61 (±0,22) d

⁽¹⁾: C-AH = C orgânico do ácido húmico, C-AF = C orgânico do ácido fúlvico, C-HUM = C orgânico da humina. ⁽²⁾: SDMM = sistema de semeadura direta com sucessão de milho, SDSM = sistema de semeadura direta com sucessão soja/milho, PC = sistema convencional de preparo de solo. ⁽³⁾: % do COT. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de t a (P<0,05).

A pastagem foi o sistema de manejo do solo que apresentou condição mais próxima daquela do solo sob mata nativa, indicando maior capacidade de recuperação do C orgânico do solo em relação aos demais sistemas de manejo, com cultivo de culturas anuais (SDMM, SDSM e PC). As gramíneas que compõem as pastagens, principalmente devido ao sistema radicular permanente no solo, contribuíram para

elevar os teores de C orgânico no solo em uma forma mais constante. Acredita-se que o sistema radicular das gramíneas sob pastagem explora um maior volume de solo em relação às culturas anuais, as quais permanecem por menor período no solo (menor ciclo). Para ROSCOE et al. (2006), as pastagens podem acumular C orgânico de modo a superarem os teores do solo sob vegetação nativa. BARRETO et al. (2008), ao compararem três sistemas de uso em um Latossolo Vermelho-Amarelo em uma microbacia no sul da Bahia (Mata Atlântica nativa, cultivo de cacau e pastagem), observaram que a pastagem proporcionou os maiores teores de C na fração humina, fração que predominou entre as substâncias húmicas. Os autores atribuíram os resultados ao efeito das gramíneas que contribuem para elevar e manter os aportes de C no solo, assim como do seu sistema radicular, indicando maior estabilização do C pelo aumento na humina.

Os teores de COT, C-HUM e C-AF nos solos sob SDMM, SDSM e PC foram inferiores àqueles observados no solo sob MN (Tabela 2). Esses resultados indicam que os teores decresceram em 35 anos sob exploração agrícola (SSD e PC) em relação do teor de C do solo aos níveis iniciais representados pelos valores de C no solo sob mata nativa, devido às constantes perturbações do solo, oriundas das práticas de manejo. São vários os trabalhos que observaram maiores teores de C orgânico no solo sob vegetação nativa em relação aos sistemas de manejo com cultivos anuais (JAKELAITIS et al., 2008; PÔRTO et al., 2009), e os resultados são atribuídos, principalmente, à ausência de perturbação do solo em condições naturais e também pela maior cobertura do solo proporcionada pela liteira na condição de mata nativa. LEITE et al. (2003) observaram diminuição dos estoques de C orgânico total e nas as frações húmicas do solo quando converteram uma mata nativa (Mata Atlântica) em sistemas de cultivos anuais de milho na região da Zona da Mata mineira.

O sistema sob PC apresentou os menores teores de COT, C-HUM e C-AH em relação aos demais sistemas de manejo (Tabela 2), cujos valores em porcentagem do COT foram 54% para C-HUM e 18% para C-AH. Resultados explicados pelo maior revolvimento do solo sob PC. O revolvimento do solo promove a maior aeração no ambiente do solo, favorecendo a oxidação da matéria orgânica. Além disso, há a

ruptura dos agregados do solo com consequente exposição da matéria orgânica do solo aos microrganismos decompositores, favorecendo maiores perdas de C. No entanto, os maiores teores de C-AF no PC em relação àqueles em SDMM e SDSM, podem ser atribuídos à transformação das maiores moléculas húmicas, como humina e ácidos húmicos, em ácidos fúlvicos, em consequência do revolvimento do solo, que pode ter proporcionado a ruptura das substâncias húmicas em moléculas menores. Resultados semelhantes foram obtidos por CUNHA et al. (2001), ao estudarem o impacto do preparo convencional do solo na região do Cerrado. Os autores observaram que o preparo do solo proporcionou aumento dos ácidos fúlvicos e diminuição de ácidos húmicos.

Maiores teores de COT e C-HUM foram observados sob SDMM, quando comparados àqueles sob SDSM (Tabela 2). A porcentagem de C-HUM, em relação a porcentagem do COT foi de 60% para SDMM e 58% para o SDSM. Estes resultados podem estar relacionados à maior contribuição dos resíduos de milho na humificação do C no solo, em relação aos resíduos de soja. O SDMM envolve dois cultivos de milho no ano, o que não ocorre no SDSM, sendo um cultivo de milho e outro de soja. Resíduos de milho apresentam maiores conteúdos de lignina e compostos fenólicos em relação aos resíduos de soja (MARTENS, 2000), compostos estes que, por ação dos microrganismos no processo de polimerização, formam os principais componentes do húmus (STEVENSON, 1994). Portanto, houve maior contribuição do sistema sob SDMM na formação de substâncias húmicas do solo, quando comparado com o sistema sob SDSM. Resultado semelhante foi observado por MARCELO (2011), ao estudar o efeito da composição de resíduos vegetais de culturas de entressafra em SSD sobre o conteúdo e forma do C orgânico do solo de um Latossolo Vermelho eutrófico. O autor também atribuiu às características dos resíduos de milho para formação de substâncias humificadas.

Em geral, observou-se predomínio de C-HUM (60%) no solo em relação às frações de C-AH e C-AF, nas diferentes formas de uso, indicando maior grau de humificação do C no solo (STEVENSON, 1994).

4.2. Agregação do solo

A pastagem proporcionou agregados de maior tamanho quando comparados com aqueles observados no solo sob mata nativa (Tabela 3). Os agregados do solo sob pastagem apresentaram valores de DMP superiores àqueles sob os sistemas de manejo com cultivo anual (SDSM e PC). Esses resultados indicam que o processo é governado, principalmente, pela ação mecânica das raízes (Fontana et al., 2005), aliado à humificação dos compostos facilmente hidrolisáveis, presentes nos resíduos vegetais das raízes das plantas (Liu et al., 2005). Portanto, o maior tamanho dos agregados do solo sob pastagem se deve, provavelmente, à maior ação do sistema radicular das gramíneas utilizadas na pastagem e pela maior distribuição de plantas no solo sob pastagem em relação ao solo sob sistemas com cultivos de soja e milho (semeadas em linhas).

Esses resultados concordam com os obtidos por SALTON et al. (2008), que estudaram sistemas de manejo sobre a agregação do solo num Latossolo Vermelho distroférico no Mato Grosso do Sul. Os autores concluíram que os sistemas de manejo do solo com pastagem permanente ou em rotação com lavoura-pecuária favorecem a formação de agregados de maior tamanho, especialmente na formação de macroagregados, quando comparados aos cultivos de culturas anuais, devido ao maior aporte de C orgânico ao solo via sistema radicular,.

Tabela 3. Diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados estáveis e o índice de estabilidade de agregados (IEA) do solo, em diferentes usos e manejos.

Índices de agregação	Usos e manejos ⁽¹⁾				
	Mata nativa	Pastagem	SDMM	SDSM	PC
DMP (mm)	4,7 ($\pm 0,1$) b	4,9 ($\pm 0,1$) a	4,8 ($\pm 0,1$) ab	4,5 ($\pm 0,1$) c	1,9 ($\pm 0,1$) d
IEA (%)	96 ($\pm 1,2$) b	98 ($\pm 0,7$) ab	98 ($\pm 0,3$) a	95 ($\pm 0,5$) bc	78 ($\pm 1,8$) d

⁽¹⁾: SDMM = sistema de semeadura direta com sucessão de milho, SDSM = sistema de semeadura direta com sucessão soja/milho, PC = sistema convencional de preparo de solo. Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de t a ($P < 0,05$).

O SDMM apresentou DMP semelhante à mata nativa, porém, superior aos observados nos solos sob SDSM e PC (Tabela 3). Acredita-se que as maiores contribuições dos resíduos de milho do sistema SDMM em relação ao SDSM na formação de substâncias humificadas no solo (COT e C-HUM– Tabela 2) tenham favorecido agregação do solo, resultando na formação de agregados estáveis com tamanho superior, devido à ação cimentante da matéria orgânica do solo, representada predominantemente pelas substâncias húmicas. Resultados semelhantes foram observados por MARTINS et al. (2009), ao estudarem o efeito de seqüências de culturas na agregação do solo e no teor de C orgânico e polissacarídeos em diferentes classes de agregados estáveis em água de um Latossolo Vermelho eutrófico sob sistema de plantio direto. Os autores observaram que a monocultura de milho proporcionou maiores teores de COT e de polissacarídeos e maior estabilidade de agregados do solo e atribuíram o resultado à ação das raízes e dos resíduos de milho, as quais liberam mucilagens ao solo, contribuindo para a formação e estabilização dos agregados no solo. Os autores observaram ainda que a agregação do solo foi intermediada, principalmente, pelos teores de C orgânico e pelos polissacarídeos do solo.

De modo geral, os solos sob mata nativa, pastagem, SDMM, SDSM, apresentaram elevados índices de estabilidade de agregados (IEA) (superiores a 90%) (Tabela 3). No entanto, o solo sob PC apresentou o menor valor de IEA (inferior a 80%). O sistema PC também apresentou o menor valor de DMP. A menor agregação do solo sob PC é atribuída aos menores teores de C orgânico do solo, proporcionados pelo revolvimento periódico do solo, que provoca a ruptura dos agregados presentes do solo e intensifica o processo de mineralização dos compostos orgânicos do solo, desfavorecendo a formação e a estabilidade dos agregados do solo. CASTRO FILHO et al., (1998) observaram menores valores de IEA em sistema convencional de preparo do solo em relação ao SSD e relacionaram o resultado a menor agregação do solo e ao menor acúmulo de C orgânico proporcionado pelo PC.

Além disso, a ausência de cobertura do solo pelos resíduos vegetais no sistema PC permite a destruição dos agregados do solo pelo impacto direto das gotas de chuva

sobre os agregados do solo e também a maior incidência de radiação na superfície do solo, elevando sua amplitude térmica, favorecendo a oxidação do C do solo (WOHLENBERG et al., 2004).

4.3. Relações entre os atributos e a agregação do solo

No solo sob mata nativa, os teores de COT e C-HUM proporcionaram maiores valores de CTC ao solo, o que resultou nos maiores teores de Ca^{2+} e de SB e valores de V (Tabela 4).

TABELA 4. Coeficientes de correlação entre os atributos químicos e os teores de C orgânico total do solo, sob diferentes usos e manejos.

C orgânico do solo ⁽²⁾	Atributos					
	pH	Ca	H+Al	SB	CTC	V
Mata Nativa						
C-AH	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C-AF	-0,47 ^{***}	ns	0,57 ^{***}	ns	ns	-0,53 ^{***}
C-HUM	0,40 ^{**}	0,35 [*]	ns	0,40 ^{**}	0,35 [*]	0,46 ^{**}
COT	ns	0,73 ^{***}	ns	0,75 ^{***}	0,84 ^{***}	0,38 ^{**}
Pastagem						
C-AH	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C-FAF	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C-HUM	ns	ns	ns	ns	ns	ns
COT	ns	ns	0,31 [*]	ns	0,37 ^{**}	ns
Sistema de semeadura direta com sucessão de milho						
C-AH	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C-AF	ns	0,25 [*]	ns	0,23 [*]	0,22 [*]	ns
C-HUM	ns	ns	ns	ns	-0,22 [*]	ns
COT	ns	0,27 ^{**}	ns	0,27 ^{**}	0,32 ^{**}	ns
Sistema de semeadura direta com sucessão soja/milho						
C-AH	0,23 [*]	ns	ns	ns	ns	ns
C-AF	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C-HUM	ns	ns	ns	ns	ns	ns
COT	0,29 ^{**}	ns	ns	ns	ns	ns
Sistema convencional de preparo do solo						
C-AH	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C-AF	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C-HUM	ns	ns	ns	0,34 [*]	0,42 ^{**}	ns
COT	ns	ns	ns	ns	ns	ns

⁽¹⁾: C-AH = C orgânico do ácido húmico, C-AF = C orgânico do ácido Fúlvico, C-HUM = C orgânico da humina. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$; ns: não significativo.

Resultados semelhantes foram observados por VALLADARES et al. (2007) num Histossolo, por CUNHA et al. (2009), em terra preta de índio na Amazônia, e por EBELING et al. (2011), em Organossolos háplicos. CANELLAS et al. (2003), ao trabalharem com solos sob diferentes manejos, observaram correlação entre CTC e os teores totais de C orgânico do solo. Segundo RAIJ (1981), a estimativa da contribuição da matéria orgânica na geração de cargas em solos de regiões tropicais varia entre 56 e 82 % da CTC.

Ainda sob mata nativa, os maiores teores de C-AF foram observados em condições de maior acidez, ou seja, com menores valores de pH (CaCl₂) e V e maiores teores de H+Al no solo. Em condição de maior fertilidade, ou seja, com maiores valores de CTC, V, pH (CaCl₂) e teores de Ca²⁺ e SB, observaram-se maiores índices de agregação do solo (DMP e IEA) (Tabela 5).

TABELA 5. Coeficientes de correlação do diâmetro médio ponderado (DMP) e índice de estabilidade (IEA) de agregados vs. os atributos químicos, sob diferentes usos e manejos.

Índices de agregação	Atributos					
	pH	Ca	H+Al	SB	CTC	V
Mata Nativa						
DMP	0,41**	0,65***	ns	0,63***	0,60***	0,57***
IEA	0,42**	0,53***	-0,33*	0,53***	0,47***	0,56***
Pastagem						
DMP	ns	ns	ns	ns	ns	ns
IEA	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Sistema de semeadura direta com sucessão de milho						
DMP	ns	ns	ns	ns	0,22*	ns
IEA	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Sistema de semeadura direta com sucessão soja/milho						
DMP	0,22*	ns	-0,22*	ns	ns	ns
IEA	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Sistema convencional de preparo do solo						
DMP	ns	ns	ns	ns	ns	ns
IEA	ns	ns	ns	ns	ns	ns

* $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$; ns: não significativo.

O solo sob pastagem, apresentou os menores valores de pH (CaCl_2) e V entre os sistemas de manejo (Tabela 1), observou-se somente a contribuição de COT na geração de cargas negativas do solo e, portanto, na CTC do solo (Tabela 4). No solo sob PC, observou-se influência dos teores de C-HUM no aumento dos valores de SB e CTC. No solo sob pastagem e PC, não foram observadas correlações significativas entre os atributos químicos e os índices de agregação do solo (Tabela 5).

Nos solos em SDMM e SDSM, observaram-se correlações positivas entre os teores de COT e C-AF com os teores de Ca^{2+} , SB e CTC, e negativa entre os teores de C-HUM e a CTC do solo sob SDMM (Tabela 4). Ainda no solo sob SDMM, os maiores valores de DMP foram observados em condições de maior CTC (Tabela 5).

No solo sob SDSM, os teores de COT e C-AH correlacionaram-se positivamente com os valores de pH (CaCl_2) (Tabela 4) e, os valores de pH (CaCl_2) e os teores de H+Al correlacionaram-se positiva e negativamente, respectivamente, com os valores de DMP do solo (Tabela 5).

TABELA 6. Coeficientes de correlação dos teores de carbono orgânico total (COT) e frações húmicas com o diâmetro médio ponderado (DMP) e índice de estabilidade (IEA) de agregados, sob diferentes usos e manejos.

Índices de agregação	C orgânico do solo ⁽¹⁾			
	C-AH	C-AF	C-HUM	COT
Mata nativa				
DMP	ns	-0,34	0,54	0,55
IEA	ns	-0,39	0,49	0,46
Pastagem				
DMP	ns	ns	ns	0,58
IEA	ns	ns	ns	0,71
Sistema de semeadura direta com sucessão de milho				
DMP	ns	ns	0,29	0,60
IEA	ns	ns	0,22	0,59
Sistema de semeadura direta com sucessão soja/milho				
DMP	ns	0,36	ns	0,49
IEA	ns	0,29	ns	0,46
Sistema convencional de preparo do solo				
DMP	ns	ns	ns	0,53
IEA	ns	ns	ns	0,50

⁽¹⁾: C-AH = C orgânico do ácido húmico, C-AF = C orgânico do ácido Fúlvico, C-HUM = C orgânico da humina, C orgânico total (COT). $P \leq 0,05$; ns: não significativo.

O teor de COT se correlacionou positivamente com a agregação do solo (DMP e IEA) em todos os usos e manejo avaliados (Tabela 6). Esse resultado demonstra a ação cimentante do C orgânico no processo de agregação do solo. Concordando com esses resultados, SPACCINNI et al. (2004) verificaram correlações positivas entre o DMP e os teores de C orgânico total em um Cambissolo e em um Argissolo na Nigéria. Várias pesquisas indicam que o C orgânico é fundamental na agregação e na estabilização dos agregados no solo (WENDLING et al., 2005; FERREIRA et al., 2007). Segundo CASTRO FILHO et al. (1998), é comum encontrar correlação positiva entre o C orgânico e a agregação do solo, pois, o C orgânico é considerado um eficiente agente de formação e estabilização dos agregados.

No solo sob mata nativa, observou-se correlação positiva entre a agregação do solo e os teores de C-HUM e correlação negativa entre os índices de agregação do solo e os teores de C-AF (Tabela 6). Observaram-se correlações positivas entre agregação do solo e C-HUM no SDMM e entre agregação e C-AF no SDSM..

Os resultados do presente trabalho discordam daquele conceito de hierarquia dos experimentos de Oades & Waters (1991), que afirmaram que os Latossolos não possuem hierarquia de agregados. Segundo Azevedo & Bonumá (2004), a alta estabilidade de agregados é freqüentemente atribuída à grande quantidade de óxidos de ferro e alumínio presente nestes solos. Segundo Frey (2005), a hierarquia de agregação é mais evidente em solos de clima temperado do que em solos tropicais, onde há a ocorrência de argila do tipo 1:1 e ciclagem mais rápida de material orgânico em solos, principalmente quando cultivados. No presente estudo, observaram-se a intermediação do COT e de suas frações na estabilização de agregados de um Latossolo Vermelho eutroférico de textura muito argilosa, demonstrando ação cimentante, possíveis de serem alterados por fatores como a influência do manejo do solo. Os resultados obtidos indicam que mais estudos necessitam ser conduzidos para melhor elucidação do papel do C orgânico do solo na estabilidade de agregados de solos tropicais submetidos a diferentes usos e manejos.

5. CONCLUSÕES

O manejo do solo sob pastagem apresentou condição mais próxima daquela da mata nativa, indicando maior capacidade de recuperação do C orgânico do solo em relação aos demais manejos, com cultivo de culturas anuais (SDD e PC). A maior ação do sistema radicular e a distribuição de plantas no solo sob pastagem em relação aos manejos com cultivos de soja e milho (semeadas em linhas), provavelmente, foram as causas da maior estabilidade e formação de agregados estáveis do solo de maior tamanho.

A menor agregação do solo sob PC é atribuída aos menores teores de C orgânico do solo (COT, C-HUM e C-AH), em decorrência do maior revolvimento do solo, desfavorecendo a formação e a estabilidade dos agregados do solo.

Os maiores teores de COT e C-HUM no SDMM quando comparado com o SDSM, se deu pela maior contribuição dos resíduos do milho.

A fração C-HUM predominou no solo em relação às frações de C-AH e C-AF nos diferentes usos e manejos utilizados, indicando maior grau de humificação do C no solo.

A agregação do solo é influenciada pelo teor de carbono orgânico, porém, o efeito da ação cimentante do C na agregação do solo, em condições tropicais, pode ser alterado pelo uso e manejo do solo.

6. REFERÊNCIAS

- ABIVEN, S.; MENASSERI, S.; CHENU, C. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – a literature analysis. **Soil Biology & Biochemistry**, n.41, p.1-12, 2008.
- ALBUQUERQUE, J.A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L.P. & KUNTZE, M.A.G. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 415-424, 2005.
- ALMEIDA, J.A.; BERTOL, I.; LEITE, D.; AMARAL, A.J. & ZOLDAN JÚNIOR. Propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 437-445, 2005.
- 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1227-1237, 2008.
- AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.189-197, 2001.
- AMADO, T.J.C.; NICOLOSO, R.; LANZANOVA, M.; SANTI, A.L. & LOVATO, T. A compactação pode comprometer os rendimentos de áreas sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v.89, p.34-42, 2005.
- ANDRADE, R.S.; STONE, L.F. & SILVEIRA, P.M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.4, p.411-418, 2009.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. 31(5):1099-1108, 2007.

- ARSHAD, M.A.; LOWEY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: Doran J.W.; Jones, A.J. (Eds.) *Methods for assessing soil quality*. Madison: **Soil Science Society American Journal**, 1996. p 123-41. (SSSA special publication, 49).
- AZEVEDO, A.C. & BONUMÁ, A.S. Partículas coloidais, dispersão e agregação em Latossolos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.2, p. 609-617, 2004.
- BARRETO, A.C.; FREIRE, M.B.G.S.; NACIF, P.G.S.; ARAÚJO, Q.R.; FREIRE, F.J.; INÁCIO, E.S.B. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.4, p. 1471-1478, 2008.
- BASTOS, R.S.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ, V.H.; CORREA, M.M. Formação e estabilização de agregados do solo decorrentes da adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.1, p.11-20. 2005.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.105-112, 1997.
- BAYER, C. & BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo Húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase na matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.687-694, 1999.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Matéria orgânica do solo: fundamentos e caracterização**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.9-26.
- BENITES, V.M., MADARI, B., MACHADO, P.L.O.A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: Um procedimento simplificado e de baixo custo**. Brasília, Embrapa, Brasil. 2003. 7 p. (Comunicado Técnico 16)
- BRONICK, C.J. & LAL, R. Soil structure and management: A review. **Geoderma**, v.124, p.3-22, 2005.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1986. 94 p. (Boletim Técnico, 106).

- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.1, p.121-6, 1995.
- 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**, Viçosa, v.23, n.2, p.386-391, 1999.
- CAMPOS, D. V. B. et al. Mudança no conteúdo de matéria orgânica do solo sob a cultura de cana-de-açúcar e pastagem em Argissolo de Conceição da Barra – ES.. Rio de Janeiro: EMBRAPA. **Seropédica**, 2004. (Circular técnica, 10).
- CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A.; AAMARAL-SOBRINHO; N.M.B. Reações da matéria orgânica. In: Santos, G.A.; Camargo, F.A.O. (Eds). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Gênese, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 1999. p. 69-90.
- CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E. & SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p. 935-944, 2003.
- CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F., PEREIRA, H.S. & AZEVEDO, W.C. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.147-157, 2009.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. & PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p. 527-538, 1998.
- CASTRO FILHO, C., LOURENÇO, A., DE F. GUIMARÃES, M. e FONSECA, I. C. B. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Parana, Brazil. **Soil Tillage Research**, v.65, p.45-51, 2002.

- CERRI, C.E.P.; FEIGL, B.; CERRI, C.C. Dinâmica da matéria orgânica do solo na Amazônia. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S. da; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F. de O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. rev. atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.325-358.
- CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria Orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.5, p.777-788, 2005.
- CORÁ, J.E.; FERNANDES,C.; BERALDO, G.J.M.; MARCELO, A.V; Adição de areia para dispersão de solos na análise granulométrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p. 255-262, 2009.
- COSTA, O.V.; CANTARUTTI, R.B.; FONTES, L.E.F.; COSTA, L.M. da; NACIF, P.G.S.; FARIAS, J.C. Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de Tabuleiro Costeiro no sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1137-1145, 2009
- CUNHA, T.J.F.; MACEDO, J.R.; RIBEIRO, L.P.; PALMIERI, F.; FREITAS, P.L.; AGUIAR, A.C. Impacto do manejo convencional sobre propriedades físicas e substâncias húmicas de solos sob cerrado. **Ciência Rural**, v.31, p. 27-36, 2001.
- CUNHA, T.J.F.; MADARI, B.E.; CANELLAS, L.P.; RIBEIRO, L.P.; BENITES, V.M. & SANTOS, G.A. Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (terra preta de índio) in the Brazilian Amazon basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p. 85-93, 2009.
- DICK, D. P. & MARTINAZZO, R. Matéria orgânica em ambientes terrestres e aquáticos: compartimentos, composição e reações. In: POLETO, C.; MERTEN, G. H. (Org.) **Qualidade dos Sedimentos**. Porto Alegre: ABRH, 2006. cap. 4, p. 65-80.
- DUCHAUFOR, P. **Pedology: pedogenesis and classification**. London: George Allen & Unwin, 1982. 187 p.
- EASH, N.S.; KARLEN, D.L.; PARKIN, T.B. Fungal contributions to soil aggregation and soil quality. In: Doran, J.W.; Coleman, D.C.; Bezdicek, D.F.; Stewart, B.A. (eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: **Soil Science Society of America, American Society of Agronomy**, 1994. p.221-228.

- EBELING, A.G.; ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G.; PINHEIRO, M.E.F.; VALLADARES, G.S. Substâncias húmicas e relação com atributos edáficos. **Bragantia**, Campinas, v.70, n.1, p. 157-165, 2011.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FERREIRA, F.P.; AZEVEDO, A.C.; DALMOLIN, R.S.D.; GIRELLI, D. Carbono orgânico, óxidos de ferro e distribuição de agregados em dois solos derivados de basalto no Rio Grande do Sul – Brasil. **Ciência Rural**, v.37, p.381-388, 2007.
- FONTANA, A.; NASCIMENTO, G.B.; ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G.; EBELING, A.G. Matéria orgânica em solos de Tabuleiros na região norte fluminense (RJ). UFRRJ, **Revista Floresta & Ambiente**, v.8, p.114-119, 2001.
- FONTANA, A.; MATIELLO, J.D.; ANJOS, L.E.C. & PEREIRA, M.G. Fracionamento químico da matéria orgânica em solo sob diferentes coberturas vegetais em Sooretama (ES). **Magistra**, v.17, p.135-141, 2005.
- FONTENELE, W.; SALVIANO, A.A.C & MOUSINHO, F.E.P. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob sistemas de manejo no cerrado piauiense. **Revista Ciência Agronômica, Fortaleza**, v.40, n.2, p.194-202, 2009.
- FORTUN, A.; BENEYAS, J.; FORTUN, C. The effects of fulvic and humic acids on soil aggregation: A micromorphological study. **European Journal of Soil Science**, v.41, n.2, p.563-572, 1990.
- FREY, S.D. Aggregation - Microbial aspects. In: HILLEL, D. (Ed.). **Encyclopedia of soils in the environment**. Oxford, UK: Elsevier Academic Press, 2005. v.1, p.22-28.
- JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A.; SANTOS, J.B. & VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.118-127, 2008.

- JOHN, B.; YANASHITA, T.; LUDWIG, B.; FLESSA, H. Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. **Geoderma**, v.28, n.1/2, p.63-69, 2005
- HERMLE, S.; ANKEN, T.; LEIFELD, J. & WEISSKOPF. The effect of the tillage system on soil organic carbon content under moist, cold-temperate conditions. **Soil & Tillage Research**, v.98, n.1, p.94–105. 2008.
- KEMPER, W. D. Aggregate Stability. In: BLACK, C. A. **Methods of Soil Analysis**. PART 1. Madison, Wisc. ASA. p. 511-519, 1965.
- KEMPER, W.D.; W.S. CHEPIL. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of soil analysis**. Madison, **American Society of Agronomy**, p.499-510, 1965.
- KEMPER, W.D. & ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. 425-441p.
- KONOVA M. Soil organic matter: its nature, its role in soil formation, and soil fertility. **Pergamon**, New York, USA. 1966
- KONONOVA, M.M. **Matéria orgánica del suelo; su naturaleza, propiedades y métodos de investigación**. Barcelona, Oikos-tau, 365p. 1982.
- LAL, R. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂ enrichment. **Soil and Tillage Research**., Amsterdam, v.43, p.81-107, 1997.
- LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L.; MACHADO, P.L.O. & GALVÃO, J.C.C. Estoque de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p.821-832, 2003.
- LIMA, A. M. N. et al. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.3, p.1053-1063, 2008.
- LIU, A.; MA, B.L. & BOMKE, A.A. Effects of cover crops on soil aggregate stability, total organic carbon, and polysaccharides. **Soil Science Society American Journal**, v.69, p.2041-2048, 2005.

- LLANILLO, R.F.; RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M.F. & FERREIRA, R.R.M. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. **Semina: Ciências Agrárias**, v.27, n.2, p.205-220, 2006.
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L.H.C.; SILVA, E.M.R. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.1, p.68-75, 2009.
- LYNCH, J.M. & BRAGG, E. Microorganisms and soil aggregate stability. **Advances in Soil Science**, v.2, n.2, p.133-171, 1985.
- 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 & Tillage Research**, v.80, p.185-200, 2005.
- MAIA, S.M.F.; OGLE, S.M.; CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C. Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil. **Geoderma**, v.149, p.84-91, 2009.
- MARCELO, A. V. **Decomposição de resíduos vegetais de culturas de entressafra em semeadura direta e efeitos nos atributos químicos do solo e na produtividade de soja e milho**. 2011. 90 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2011.
- MARCHIORI, J. M. & MELO, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.6, p.1177-1182, 2000.
- MARTENS, D. A. Management and crop residue influence soil aggregate stability. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.29, n.3, p.723-727, 2000.
- MARTINS, M.R. **Carbono orgânico e polissacarídeos em agregados de um latossolo vermelho eutrófico em seqüências de culturas sob semeadura direta**. 2008. 59 f. Tese (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.
- MARTINS, M.R., CORA, J.E., JORGE, R.F. & MARCELO, A.V., Crop type influences soil aggregation and organic matter under no-tillage. **Soil & Tillage Research**, v.104, n.1, p.22-29, 2009.

- 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, p.435-443, 2003.
- OADES, J.M. & WATERS, A.G. Aggregate hierarchy in soils. **Australian Journal of Soil Research**, v.29, p.815-828, 1991.
- 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2821-2829, 2008, Número Especial.
- PASSOS, R. R.; RUIZ, H. A.; MENDONÇA, E. S.; CANTARUTTI, R. B.; SOUZA, A. P. Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono orgânico lábil em agregados de um latossolo vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.31, n.5, p.1119-1129, 2007.
- PICCOLO, A. Atmospheric CO₂ and alteration of Global Climate. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 3., 1999, Santa Maria. **Anais**. Santa Maria: Imprensa Universitária, 1999. 145 p.
- PICCOLO, A. & MBAGWU, J.S.C. Humic substances and surfactants effects on the stability of two tropical soils. **Soil Science Society American Journal**, v.58, n.1/2, p.950- 955, 1994.
- PINHEIRO, E. F. M., PEREIRA, M. G., ANJOS, L. H. C., PALMIERI, F., SOUZA, R. C. Matéria orgânica em latossolo vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo e cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.9, n.1, p.53-56, 2003.
- PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, M.G. & ANJOS, L.H.C. Fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal em Paty do Alferes (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.31-737, 2004.
- PÔRTO, M.L.; ALVES, J.C.; DINIZ, A.A.; SOUZA, A.P. & SANTOS, D. **Indicadores biológicos de qualidade do solo em diferentes sistemas de uso no Brejo Paraibano. Ciência e agrotecnologia**, v.33, p.1011-1017, 2009.
- RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba, Instituto Potassa & Fosfato, 1981.

- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C., eds. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico 100).
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agronômico, 2001. 285p.
- RANGEL, O.J.P. & SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1609-1623, 2007.
- ROSCOE, R.; BODDEY, R. M. & SALTON, J.C. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M. & SALTON, J.C., eds. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: Modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 17-41p.
- RUIVO, M. de L. P.; AMARAL, I. G.; FARO, M. P.da S.; RIBEIRO, E. L. C.; GUEDES, A. L. S; SANTOS, M. M. de L.S. Caracterização química da manta orgânica e da matéria orgânica leve em diferentes tipos de solo em uma toposseqüência na ilha de Algodual/Maiandeuá, PA. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, Série. **Ciências Naturais**, v.1, n.1, p.227-234, 2005.
- 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**, v.32, p.11-21, 2008.
- SANTOS, C. A. A. **Matéria orgânica de Argissolo vermelho e Latossolo Bruno sob diferentes sistemas de manejo e sob vegetação nativa: distribuição em frações físicas, qualidade e sorção do herbicida atrazina**. 2005. 196 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- SANTOS, G. de A. & CAMARGO, F. A. de O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. 508 p.

- SCHNITZER, M.; KODAMA, H. & RIPMEESTER, J.A. Determination of the aromaticity of humic substances by X-ray diffraction analysis. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.55, p.745-750, 1991.
- SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; VELOSO, M.E.C. & TRIVELIN, P.C.O. Aproveitamento do nitrogênio (^{15}N) da crotalaria e do milho pelo milho sob plantio direto em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Ciência Rural**, v.36, p.739-746, 2006.
- SILVA, F. de F. da; FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; ARATANI, R. G.; ANDRIOLI, F. F.; ANDRIOLI, I. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho cultivado no sistema plantio direto. **Irriga**, Botucatu, v. 13, p. 191-204, 2008.
- SIX, J.; PAUSTRIAN, K; ELLIOTT, E. T.; COMBRINK, C. Soil Structure and organic matter: distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. **Soil Science Society American Journal**, v.64, p.681-689, 2000.
- SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B.; SILVA, C.A. & BUZETTI, S. Alterações nas frações do C em um Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.28, p.323-329, 2006.
- SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; LIMA, C.V.S.; ANGHINONI, I.; MEURER, E.J.; CARVALHO, P.C.F. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.32, p.1273-1282, 2008.
- STEVENSON, F.J. Humus chemistry. New York, John Willey & Sons, 1982. 443p.
- STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York, John Wiley. 1994, 496 p.
- STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M.; MOREIRA, J.A.A. & BRAZ, A.J.B.P. Evapotranspiração do feijoeiro irrigado cultivado em plantio direto sobre diferentes palhadas de culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.4, p.577-582, 2006.
- SPACCINI, R.; MBAGWU, J.S.C.; IGWE, C.A.; CONTE, P. & PICCOLO, A. Carbohydrates and aggregation in lowland soils of Nigeria as influenced by organic inputs. **Soil and Tillage Research, Amsterdam**, v.75, p.161-172, 2004.
- SWIFT, R. S. 1991. Effects of humic substances and polysaccharides on soil aggregation. In: *Advances in Soil organic matter research: the impact on agriculture and*

the environment. (Wilson, W.S, editor). The Royal Society of Chemistry. Thomas Graham House, Cambridge. 1991. 153-162p.

SWIFT, R.S. Method for extraction of IHSS soil fulvic and humic acids. In: SPARKS, D.L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAI, M.A.; JOHNSTON, C.T. & SUMMER, M.E., eds. **Methods of soil analysis: Chemical methods**. Madison, Soil Science Society of America, 1996. Part 3. 1018-1020 p.

SWIFT, R.S. Sequestration of carbon by soil. **Soil Science**, v.166, p.858-871, 2001.

VALLADARES, G.S.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; BENITES, V.M.; EBELING, A.G. & MOUTA, R.O. Humic substance fractions and attributes of Histosols and related high-organic-matter soils from Brazil. Comm. **Soil Science and Plant Analysis**, v.38, p.763-777, 2007.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and waterstable aggregates in soil. **European Journal Soil Science**, Oxford, v.33, n.3, p.141-163, 1982.

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**, n.33, p.766-777, 2009.

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.

WOHLEMBERG, E.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.891-900, 2004.

YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, London, v.19, p.1467-1476, 1988.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Soil Science Society of American Journal**, v.28, p.337-351, 1936.