

SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, ATIVIDADE MICROBIANA E CARBONO ORGÂNICO LÁBIL EM AGREGADOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO SOB DUAS COBERTURAS VEGETAIS⁽¹⁾

Renato Ribeiro Passos⁽²⁾, Hugo Alberto Ruiz⁽³⁾, Eduardo de Sá Mendonça⁽³⁾, Reinaldo Bertola Cantarutti⁽³⁾ & Adailson Pereira de Souza⁽⁴⁾

RESUMO

A matéria orgânica (MO) constitui um atributo indicativo da qualidade do solo. O conhecimento de seus distintos componentes, explicando a influência que as práticas de manejo exercem sobre a MO e a agregação dos solos, é de grande importância para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Neste trabalho, avaliaram-se as substâncias húmicas, a atividade microbiana e o C orgânico lábil em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico de Minas Gerais sob vegetação natural de Cerradão e sob cultivo convencional com milho durante 30 anos. Para isso, foram retiradas amostras de solo nas profundidades de 5–10 e 15–20 cm em quatro pontos diferentes. Após coletado, o material foi seco ao ar e fracionado, por via seca, nas classes de agregados de: 4,75–2,0; 2,0–1,0; 1,0–0,5; 0,5–0,25; 0,25–0,105; e < 0,105 mm de diâmetro. Nesses materiais determinaram-se o C orgânico das frações ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e huminas (HUM) e o C orgânico lábil (COL) utilizando KMnO_4 15,6 e 33,0 mmol L⁻¹. Os materiais foram ainda submetidos a um ensaio de respirometria, em que os valores da produção de CO₂ foram ajustados a equações logísticas [$Y = a/1 + e^{-(b + cx)}$], estimando-se o tempo necessário para atingir metade da produção máxima de CO₂ ($t_{1/2}$). Os resultados

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada à Universidade Federal de Viçosa. Recebido para publicação em fevereiro de 2006 e aprovado em julho de 2007.

⁽²⁾ Professor do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES. Caixa Postal 16, CEP 29500-000 Alegre (ES). E-mail: renatopassos@cca.ufes.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa – UFV. CEP 36571-000 Viçosa (MG). Bolsista do CNPq. E-mails: hrui@ufv.br; esm@ufv.br; cantarutti@ufv.br

⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Solos e Engenharia Rural da Universidade Federal da Paraíba – UFPB. CEP 58397-000 Areia (PB). E-mail: adailson@cca.ufpb.br

mostraram que, em média, os agregados do solo sob cultivo apresentaram maiores teores de C orgânico da fração AH e de COL determinado com KMnO_4 33,0 mmol L^{-1} . Para as frações AF e HUM e o COL determinado com KMnO_4 15,6 mmol L^{-1} , esse comportamento foi observado somente na profundidade de 15–20 cm. Nos agregados do solo sob Cerradão, verificou-se maior produção de CO_2 . Os agregados de menor tamanho tenderam a apresentar maiores teores de C orgânico das frações AF e AH e do COL, além de serem responsáveis pela maior produção de CO_2 , constituindo-se em sítios favoráveis tanto para o estoque de MO, em decorrência da proteção física e química, quanto para sua mineralização, dada a ação preferencial dos microrganismos nesses locais. Os coeficientes da equação logística (a, b, c) e o $t_{1/2}$ se mostraram importantes indicadores de qualidade da MO do solo em distintos manejos e, conseqüentemente, de sua labilidade.

Termos de indexação: matéria orgânica do solo, evolução de CO_2 , agregação, manejo.

SUMMARY: *HUMIC SUBSTANCES, MICROBIAL ACTIVITY AND LABILE ORGANIC CARBON IN AGGREGATES OF A DYSTROPHIC RED LATOSOL UNDER TWO VEGETATION COVERS*

Organic matter is an indicator of the soil quality. Knowledge about its different components, explaining the influence of management practices on organic matter and soil aggregation, is essential for the sustainability of agricultural systems. In the present work, we evaluated humic substances, microbial activity and labile organic carbon in a Dystrophic Red Latosol from Minas Gerais state, Brazil, under natural vegetation (Cerradão) or under 30-years of conventional corn cultivation. Soil samples were collected from depths of 5–10 and 15–20 cm at four different sites. Then the samples were dried and fractioned in aggregate classes (diameter 4.75–2.0; 2.0–1.0; 1.0–0.5; 0.5–0.25; 0.25–0.105; and less than 0.105 mm). Furthermore, organic carbon of fulvic acid (AF), humic acids (AH) and humins (HUM) fractions, and labile organic carbon (COL) using KMnO_4 15.6 and 33.0 mmol L^{-1} of the samples were determined. The material was further subjected to a respirometry test, in which CO_2 production values were adjusted to logistic equations [$Y = a/1 + e^{-(b + cx)}$] to estimate the time needed to achieve half of the maximum CO_2 ($t_{1/2}$), production. Results showed higher mean organic carbon contents in the AH fraction and COL with KMnO_4 33.0 mmol L^{-1} of soil aggregates under conventional tillage. For AF and HUM fractions and COL with KMnO_4 15.6 mmol L^{-1} this behavior was only observed in the 15–20 cm layer. The highest CO_2 production was observed in the aggregates of the soil under Cerradão. The smaller aggregates tended to present higher organic carbon contents in the AF and AH fractions and COL. These were responsible for the highest CO_2 production and constituted favorable sites of organic matter storage, due to the physical and chemical protection, as well as for mineralization, since microorganisms prefer these sites. The coefficients of the logistic equation (a, b, c) and the $t_{1/2}$ can be considered important indicators of organic matter quality and lability under different managements.

Index terms: soil organic matter, CO_2 evolution, aggregation, management.

INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo (MOS) compreende componentes vivos e não-vivos. Os componentes vivos são as raízes de plantas, a fauna e os microrganismos do solo; os últimos correspondem a 60 a 80 % do total. Os componentes não-vivos incluem a matéria macrororgânica, constituída de resíduos de plantas em decomposição, as substâncias humificadas e as não-humificadas. As substâncias não-humificadas

incluem carboidratos, lipídeos, aminoácidos, proteínas, ligninas, ácidos nucléicos, pigmentos e uma variedade de ácidos orgânicos. Por sua vez, as substâncias humificadas, que constituem de 70 a 80 % da MO na maioria dos solos minerais, são compostas pelas frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas (Theng et al., 1989), determinadas com base na solubilidade em ácido ou álcali.

As substâncias húmicas são produtos das transformações químicas e biológicas dos resíduos

vegetais e animais, assim como da atividade da microflora do solo (Michel et al., 1996). A elevada estabilidade das substâncias húmicas é atribuída à sua estrutura química complexa e às suas interações com minerais de argila e com cátions metálicos (Theng et al., 1989), que se expressa na formação dos agregados.

Dentre os componentes da MOS, os microrganismos são um dos mais afetados pelo uso e manejo do solo, exercendo ação importante na agregação dos solos. Práticas de cultivo aumentam a oxidação da MO pela quebra dos agregados do solo, expondo novas superfícies ao ataque de microrganismos. Um dos principais mecanismos responsáveis pela preservação da MO sob sistemas de cultivo conservacionistas parece ser a formação e a estabilização de macroagregados. Em contraste, sob cultivo convencional, a MO é mineralizada em maior grau (Beare et al., 1994a,b).

A acessibilidade do C orgânico à ação microbiana, que caracteriza sua labilidade, tem sido avaliada por procedimentos colorimétricos baseados na oxidação do C orgânico com KMnO_4 . Blair et al. (1995) consideraram C orgânico lábil (COL) o C oxidável por uma solução de KMnO_4 0,333 mol L^{-1} . Entretanto, Shang & Tiessen (1997) propuseram a concentração de 0,033 mol L^{-1} para oxidar o COL em Latossolos. Estes autores indicam que o emprego de um oxidante mais diluído que o utilizado por Blair et al. (1995) se deve ao fato de a MO ser relativamente mais lábil nestes solos do que em solos de regiões temperadas, para os quais o método foi desenvolvido. Dessa forma, o método de oxidação pode requerer ajustes conforme diferenças de climas e de tipos de solos, o que, no entanto, dificulta a comparação dos resultados, pois é evidente que na concentração utilizada por Blair et al. (1995) oxidam-se formas de C não oxidadas pela proposta por Shang & Tiessen (1997).

Considerando o teor e a qualidade da MO como atributos indicativos da qualidade do solo, faz-se necessário avaliar a influência das práticas de manejo sobre tais atributos, visando a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Dessa forma, o presente estudo foi realizado com o objetivo de avaliar alterações nos teores de substâncias húmicas, de C orgânico lábil e na atividade microbiana em diferentes classes de agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob vegetação natural de Cerradão e sob cultivo convencional com milho durante 30 anos, em Minas Gerais.

MATERIAL E MÉTODOS

No Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo-Embrapa, município de Sete Lagoas, MG, coletaram-se amostras de um Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa fase relevo suave ondulado, em duas áreas adjacentes: uma sob vegetação natural (Cerradão) e outra cultivada com soja sob plantio direto, pela pri-

meira vez, após o solo ter sido cultivado com milho em sistema convencional de preparo do solo (uma aração e duas gradagens) durante aproximadamente 30 anos.

As amostras do solo foram retiradas nas profundidades de 5–10 e 15–20 cm em quatro pontos de cada área, definidas na área cultivada, em função da resistência à penetração do solo. Os valores médios de resistência à penetração do solo cultivado foram de 31,47 e 35,63 kgf cm^{-2} , e os de umidade, de 0,310 e 0,287 kg kg^{-1} , para as profundidades de 5–10 e 15–20 cm, respectivamente. Para cada profundidade retiraram-se amostras de 5 cm de espessura. As amostras de solo foram secas ao ar e fracionadas, por via seca, nas classes de agregados de: 4,75–2,0; 2,0–1,0; 1,0–0,5; 0,5–0,25; 0,25–0,105; e < 0,105 mm de diâmetro. A caracterização química e física dos agregados encontra-se em Passos et al. (2007).

Dessa forma, os tratamentos corresponderam à combinação fatorial entre as seis classes de agregados e as duas condições de uso do solo. Estatisticamente, os dados foram trabalhados segundo um delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, que corresponderam aos pontos amostrados. A profundidade de amostragem não foi considerada como um fator, dada a dependência que existe entre as camadas do solo, sendo, assim, analisada separadamente, em relação aos tratamentos supracitados.

O fracionamento químico das substâncias húmicas foi feito segundo Schnitzer (1982), utilizando material dos agregados triturados em almofariz e passados em peneira de 0,210 mm. Assim, quantificaram-se as frações: solúveis em ácido e em álcali (ácidos fúlvicos - AF); solúveis em álcali e insolúveis em ácido (ácidos húmicos - AH); e insolúveis em ácido e em álcali (huminas - HUM). O C orgânico das frações AF, AH e HUM foi quantificado por dicromatometria com aquecimento externo (Yeomans & Bremner, 1988).

Em condições de laboratório, amostras de agregados umedecidas foram incubadas em respirômetro sob circulação forçada de ar livre de CO_2 (Curl & Rodriguez-Kabana, 1972; Souza, 1998). O CO_2 produzido, resultante da atividade microbiana, foi capturado em solução de NaOH e quantificado por diferença com a titulação do excesso de álcali. Nos primeiros sete dias as medições foram a cada 24 h, nos 10 dias subsequentes, a cada 48 h, e, posteriormente, a cada 96 h, até completar 37 dias. A quantidade total de CO_2 desprendida de cada amostra de agregados correspondeu ao somatório dos valores obtidos em cada medição. Os valores de CO_2 foram expressos em relação à massa de agregados e à massa de C orgânico total dos agregados (Passos, 2000). A medição da atividade microbiana pela respirometria permite que se faça a estimativa do C mineralizável a partir do CO_2 evoluído (Ellert & Gregorich, 1995).

O C orgânico lábil (COL), em materiais dos agregados triturados em almofariz e passados em peneira de 0,210 mm, foi quantificado por oxidação com KMnO_4 33,0 mmol L^{-1} (Shang & Tiessen, 1997) e 15,6 mmol L^{-1} .

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. Com base no diâmetro médio dos agregados, foram ajustadas equações de regressão para os resultados obtidos. A comparação entre as médias das variáveis foi feita utilizando-se o teste F. Para descrever a cinética de produção do CO_2 , utilizaram-se equações logísticas [$Y = a/1 + e^{-(b + cx)}$]. Os coeficientes da equação logística apresentam o seguinte significado biológico: o “a” é a saturação da curva, está associado à máxima evolução de CO_2 e indica a quantidade de C mais facilmente mineralizável; o “b” é o parâmetro de posição, desloca a curva horizontalmente e, quanto maior seu valor, maior é o tempo para atingir a saturação; e “c” é o parâmetro relacionado com a taxa de crescimento da função e que é diretamente associado à labilidade do C na MO. Por intermédio dos coeficientes “b” e “c”, estimou-se o tempo necessário para atingir a metade da produção máxima de CO_2 ($t_{1/2}$), sendo $t_{1/2} = -b/c$. O valor de $t_{1/2}$ permite que se faça inferência sobre a velocidade de mineralização da MO do solo e, conseqüentemente, sobre sua labilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a fração AF, foram observados maiores valores de C orgânico na profundidade de 15–20 cm do solo sob cultivo com milho (Quadro 1), indicando o

efeito do revolvimento do solo, incorporando os resíduos culturais de milho, bem como a maior mobilidade dessa fração. Esses resultados se assemelham aos obtidos por Mendonça (1992) em um Latossolo após diferentes períodos de cultivo.

Mesmo com a quebra dos agregados do solo no cultivo convencional, expondo mais a MO ao ataque dos microrganismos, verificaram-se teores consistentemente superiores de C orgânico da fração AH no solo sob cultivo com milho (Quadro 1). A adição anual de resíduos culturais do milho, por aproximadamente 30 anos, favoreceu esse comportamento. Além disso, esses resíduos apresentam lenta decomposição, favorecendo o processo de humificação em detrimento do processo de mineralização. Com isso, há possibilidade de proteção química das substâncias húmicas, decorrente de sua interação com a fração mineral do solo.

Os maiores teores de C orgânico da fração AH encontrados na profundidade de 5–10 cm (Quadro 1) refletem a menor mobilidade desta fração em relação aos ácidos fúlvicos, o que foi mais evidente no solo sob Cerradão. No solo cultivado, a incorporação de resíduos culturais pela aração e gradagem possibilitou distribuição mais uniforme de AH na camada de 20 cm (Quadro 1).

Quanto à fração humina (HUM), os maiores teores de C orgânico nela encontrados evidenciam que esta é a fração mais abundante (Quadro 1). Semelhantemente ao ocorrido para as frações AF e AH, o revolvimento do solo, incorporando resíduos orgânicos, contribuiu para as menores diferenças em profundidade observadas no solo cultivado. Mendonça (1988) verificou que mais da metade do COT dos agregados se encontrava na fração humina.

Quadro 1. Teores de carbono orgânico (CO) das frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas em material de agregados de diferentes classes, coletados nas profundidades de 5–10 e 15–20 cm de um Latossolo Vermelho sob vegetação natural de Cerradão e sob cultivo com milho por 30 anos⁽¹⁾

Característica	Cobertura vegetal	
	Cerradão	Milho
	Profundidade de 5–10 cm	
CO – Ácidos fúlvicos (g kg^{-1})	6,42 a ⁽²⁾	6,31 a
CO – Ácidos húmicos (g kg^{-1})	7,16 b	9,62 a
CO – Huminas (g kg^{-1})	11,67 a	12,01 a
	Profundidade de 15–20 cm	
CO – Ácidos fúlvicos (g kg^{-1})	5,97 b	6,52 a
CO – Ácidos húmicos (g kg^{-1})	5,61 b	8,80 a
CO – Huminas (g kg^{-1})	9,12 b	10,66 a

⁽¹⁾ Teores médios de seis classes de agregados. ⁽²⁾ Letras diferentes, na mesma linha, indicam diferença entre as condições de uso do solo a 5 % pelo teste F.

Visando avaliar a distribuição das substâncias húmicas em relação aos agregados de diferentes classes de tamanho, ajustaram-se equações de regressão para os teores de C orgânico das frações AF e AH dos agregados em função do diâmetro médio da classe de agregados (Figura 1).

Observa-se que houve redução mais acentuada dos teores de C orgânico das frações AF e AH dos agregados de menor tamanho (< 0,105 mm) em relação aos de 0,25–0,105 mm de diâmetro. A partir desta classe de agregados (0,25–0,105 mm) até os agregados de maior tamanho (4,75–2,0 mm), percebe-se que as variações foram menores. Mendonça (1988) também encontrou valores superiores de C orgânico de ácidos húmicos nos agregados de menor tamanho (0,2–0,05 mm) (Figura 1). Esses resultados indicam que tanto a proteção química como a física têm papel importante na estabilização dessas formas de C no solo estudadas.

Com relação à atividade dos microrganismos, que atuam na mineralização da MOS, medida pelo CO₂ liberado, verificam-se maiores valores no Cerradão, comparativamente ao solo sob cultivo com milho (Quadro 2). A presença de maior quantidade de substâncias orgânicas mais lábeis, como os carboidratos, deve estar acarretando incremento na atividade microbiana nos agregados do solo sob Cerradão, visto que o solo sob milho apresenta maior disponibilidade de fósforo e potássio (Passos, 2000).

Os maiores valores da produção acumulada de CO₂, expressos em relação à massa de agregados, observados na profundidade de 5–10 cm (Quadro 2) podem estar associados à maior disponibilidade de substrato e de nutrientes (Passos, 2000) para os

microrganismos nesta profundidade. Entretanto, para produção acumulada de CO₂ expressa em relação à massa de C orgânico total, observaram-se maiores valores na profundidade de 15–20 cm do solo sob Cerradão (Quadro 2), o que é atribuído a uma maior proporção de constituintes lábeis em relação às formas mais estáveis de C orgânico nesta profundidade. Contrariamente, para a cultura do milho, os menores valores da produção acumulada de CO₂ encontrados na profundidade de 15–20 cm (Quadro 2) indicam que ocorreu diminuição mais acentuada dos componentes de maior labilidade para esta profundidade e cobertura vegetal. Independentemente do modo de expressão do CO₂ produzido, Parra (1986) constatou diminuição dos valores em profundidade, atribuindo a redução na liberação de CO₂ por grama de C à maior estabilidade da MO nas camadas mais profundas.

De maneira geral, não foram observadas diferenças significativas da produção acumulada de CO₂ entre as diferentes classes de agregados. Esse comportamento impossibilitou o ajuste de modelos de regressão aos dados experimentais. Esperava-se liberação maior de CO₂ nas classes de agregados de maior tamanho, semelhantemente ao observado por Elliot (1986) e Beare et al. (1994a), pois nestas classes geralmente são mais frequentes os materiais orgânicos adicionados recentemente, os quais são mais facilmente mineralizáveis.

Nos quadros 3 e 4 são apresentados os valores dos coeficientes das equações logísticas (a, b, c) e os valores do tempo necessário para atingir metade da produção máxima de CO₂ (t_{1/2}). Em média, os valores de t_{1/2} dos agregados do solo sob cultivo com milho não

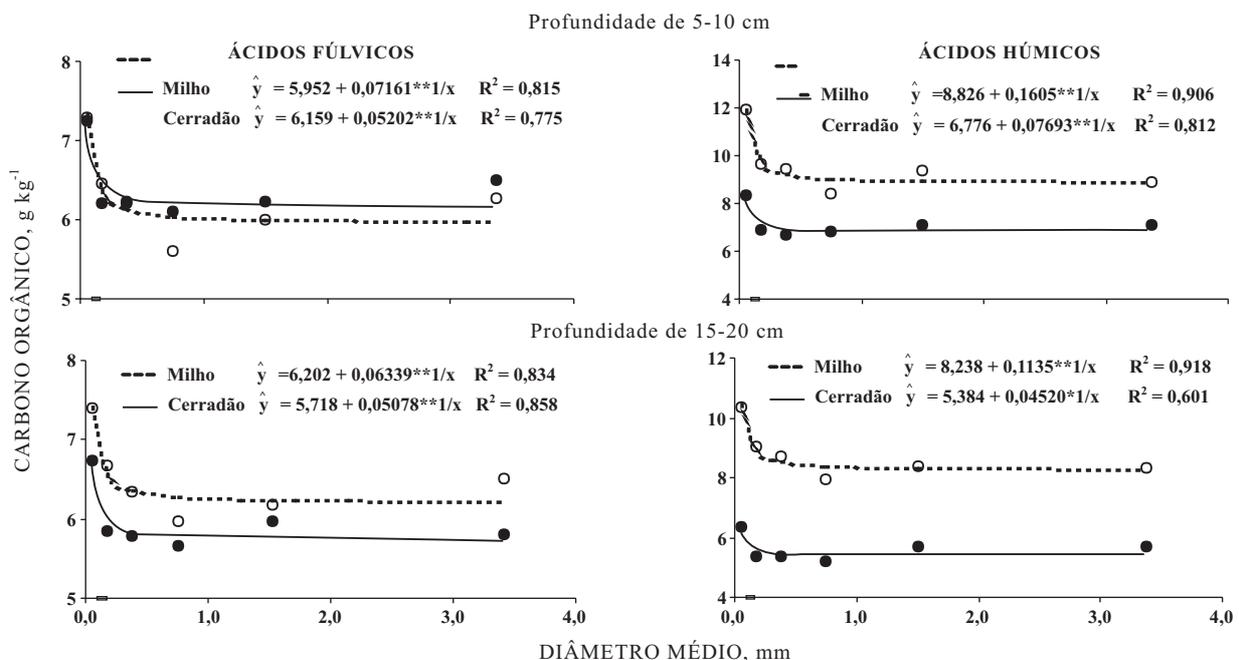


Figura 1. Carbono orgânico das frações ácidos fúlvicos e ácidos húmicos, em relação ao diâmetro médio dos agregados, nas profundidades de 5–10 e 15–20 cm de um Latossolo Vermelho sob vegetação natural de Cerradão e sob cultivo com milho por 30 anos. *,**: significativo a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste t.

diferiram estatisticamente do solo sob vegetação natural, apesar da superioridade dos valores dos coeficientes “a” e “c” no solo sob Cerradão (Quadros 3 e 4), denotando a qualidade superior do material orgânico e maior disponibilidade de C mais facilmente mineralizável nessa cobertura vegetal. Eram esperados valores de $t_{1/2}$ significativamente superiores no solo cultivado, pois, nessas condições, dada a mineralização mais lenta da MO, favorece-se a formação de moléculas orgânicas mais polimerizadas, como aquelas presentes nas frações ácidos húmicos e

huminas. Os valores de $t_{1/2}$ observados na profundidade de 5–10 cm (Quadros 3 e 4), independentemente da cobertura vegetal, estão relacionados à presença em maior quantidade dessas substâncias húmicas (Quadro 1). Nessa profundidade, a proporção de constituintes orgânicos mais estáveis em relação aos mais lábeis é superior comparada à camada subjacente (15–20 cm), o que é corroborado pelos maiores valores da relação entre o C orgânico total e o C orgânico solúvel em água (relação COT/COS) dos agregados, apresentados por Passos et al. (2007).

Quadro 2. Produção acumulada de CO₂, até 37 dias de incubação, em material de agregados de diferentes classes, coletados nas profundidades de 5–10 e 15–20 cm de um Latossolo Vermelho sob vegetação natural de Cerradão e sob cultivo com milho por 30 anos⁽¹⁾

Característica	Cobertura vegetal	
	Cerradão	Milho
Profundidade de 5–10 cm		
CO ₂ (g kg ⁻¹ de agregados)	1,38 a ⁽²⁾	1,02 b
CO ₂ (g kg ⁻¹ de C orgânico total)	47,78 a	33,10 b
Profundidade de 15–20 cm		
CO ₂ (g kg ⁻¹ de agregados)	1,17 a	0,90 b
CO ₂ (g kg ⁻¹ de C orgânico total)	48,46 a	31,12 b

⁽¹⁾ Teores médios de seis classes de agregados. ⁽²⁾ Letras diferentes, na mesma linha, indicam diferença entre as condições de uso do solo a 5 % pelo teste F.

Quadro 3. Coeficientes da equação logística e tempo necessário para atingir a metade da produção máxima de CO₂ por unidade de massa de agregados ($t_{1/2}$) em material de agregados de diferentes classes, coletados nas profundidades de 5–10 e 15–20 cm de um Latossolo Vermelho sob vegetação natural de Cerradão e sob cultivo com milho por 30 anos⁽¹⁾

Característica	Cobertura vegetal	
	Cerradão	Milho
Profundidade de 5–10 cm		
a ⁽²⁾ (g kg ⁻¹)	1,3047 a ⁽³⁾	0,9731 b
b ⁽²⁾	1,3316 a	1,2936 a
c ⁽²⁾ (d ⁻¹)	0,1584 a	0,1464 b
$t_{1/2}$ (d)	8,4667 a	8,8667 a
Profundidade de 15–20 cm		
a ⁽²⁾ (g kg ⁻¹)	1,0947 a	0,8461 b
b ⁽²⁾	1,3353 a	1,1938 b
c ⁽²⁾ (d ⁻¹)	0,1781 a	0,1577 b
$t_{1/2}$ (d)	7,5333 a	7,6400 a

⁽¹⁾ Valores médios de seis classes de agregados. ⁽²⁾ Equação logística: $Y = a / (1 + e^{-(b + cx)})$. ⁽³⁾ Letras diferentes, na mesma linha, indicam diferença entre as condições de uso do solo a 5 % pelo teste F.

Verifica-se, para o Cerradão, em ambas as profundidades, que houve aumento mais acentuado dos valores de $t_{1/2}$ dos agregados de menor tamanho (< 0,105 mm) em relação aos de 0,25–0,105 mm de diâmetro (Figura 2). A partir desta classe de agregados

(0,25–0,105 mm) até os agregados de maior tamanho (4,75–2,0 mm), percebe-se que as variações foram menores. A presença em maior quantidade de C orgânico lábil em agregados menores favoreceu esse comportamento. No solo sob cultivo com milho, só foi

Quadro 4. Coeficientes da equação logística e tempo necessário para atingir a metade da produção máxima de CO₂ por unidade de massa de carbono orgânico total ($t_{1/2}$) em material de agregados de diferentes classes, coletados nas profundidades de 5–10 e 15–20 cm de um Latossolo Vermelho sob vegetação natural de Cerradão e sob cultivo com milho por 30 anos⁽¹⁾

Característica	Cobertura vegetal	
	Cerradão	Milho
Profundidade de 5–10 cm		
a ⁽²⁾ (g kg ⁻¹)	45,1148 a ⁽³⁾	31,6692 b
b ⁽²⁾	1,3303 a	1,2980 a
c ⁽²⁾ (d ⁻¹)	0,1588 a	0,1467 b
t _{1/2} (d)	8,4400 a	8,8850 a
Profundidade de 15–20 cm		
a ⁽²⁾ (g kg ⁻¹)	44,4210 a	29,2208 b
b ⁽²⁾	1,3360 a	1,1878 b
c ⁽²⁾ (d ⁻¹)	0,1789 a	0,1572 b
t _{1/2} (d)	7,4983 a	7,6300 a

⁽¹⁾ Valores médios de seis classes de agregados. ⁽²⁾ Equação logística: $Y = a/(1 + e^{-(b+cx)})$. ⁽³⁾ Letras diferentes, na mesma linha, indicam diferença entre as condições de uso do solo a 5 % pelo teste F.

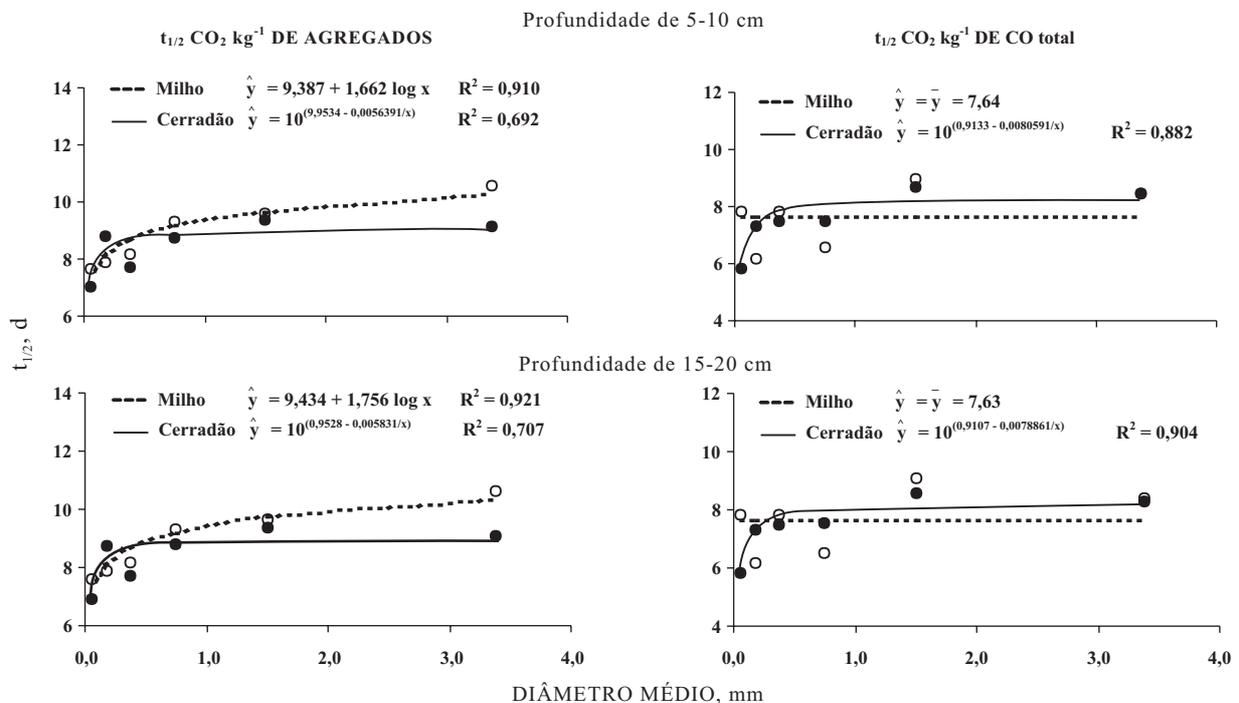


Figura 2. Tempo necessário para atingir a metade da produção máxima de CO₂ ($t_{1/2}$), em relação ao diâmetro médio dos agregados, nas profundidades de 5–10 e 15–20 cm de um Latossolo Vermelho sob vegetação natural de Cerradão e sob cultivo com milho por 30 anos.

possível obter ajuste de equações de regressão para o $t_{1/2}$ na profundidade de 5–10 cm (Figura 2).

Os teores de C orgânico lábil (COL), determinados utilizando-se duas concentrações de KMnO_4 , são apresentados no quadro 5. Para a concentração de 33,0 mmol L^{-1} de KMnO_4 foram observados valores superiores de COL nos agregados do solo sob cultivo com milho, em relação aos do solo sob Cerradão (Quadro 5). Esse comportamento difere do registrado para produção acumulada de CO_2 (Quadro 2). Provavelmente essa concentração de KMnO_4 esteja oxidando frações mais estáveis de C orgânico, como os ácidos húmicos, que estão presentes em maior proporção no solo cultivado (Quadro 1). Por sua vez, Shang & Tiessen (1997), trabalhando com Oxissolo da região de Pernambuco e utilizando a mesma concentração de KMnO_4 , não encontraram diferenças entre os valores de COL obtidos no solo cultivado e os obtidos sob vegetação natural. Esses autores só conseguiram detectar as mudanças na labilidade da MO em função do cultivo por meio da distribuição de C associada às frações areia, silte e argila.

Contudo, ao se diminuir a concentração de KMnO_4 para 15,6 mmol L^{-1} , foi observado que, além de os teores de COL nos agregados terem sido reduzidos, os valores médios de COL não diferiram entre o solo sob cultivo com milho e aquele sob Cerradão na profundidade de 5–10 cm (Quadro 5).

A utilização de oxidantes mais diluídos, como KMnO_4 33,0 (Shang & Tiessen, 1997) e 15,6 mmol L^{-1} , em vez de soluções mais concentradas de KMnO_4 (333,0 mmol L^{-1}), como proposto por Blair et al. (1995),

em razão de a MO ser relativamente mais lábil nos solos de regiões tropicais, permitiu que se obtivessem valores de COL mais próximos daqueles obtidos da produção acumulada de CO_2 . Considerando a evolução de CO_2 como um método-referência para estimar a mineralização dos compostos orgânicos do solo, a diminuição da concentração do oxidante faz-se necessária na determinação de formas lábeis de C orgânico nesses solos.

Foram observados teores mais elevados de COL na camada mais superficial do solo (5–10 cm) (Quadro 5). Entretanto, o solo sob cultivo com milho apresentou menor diferença dos teores de COL em profundidade, em relação ao solo sob Cerradão, o que pode ser atribuído à incorporação de restos culturais, em decorrência do revolvimento do solo, na época de seu preparo, favorecendo o incremento de MO em profundidade. A presença da camada mais compactada a partir de 10 cm no solo cultivado, além de ter favorecido para que as perdas de COL fossem menos acentuadas, restringiu ainda mais o suprimento de oxigênio aos microrganismos na profundidade de 15–20 cm, o que pode ter contribuído para os teores elevados de COL.

Ao analisar os valores obtidos das relações entre as duas concentrações de KMnO_4 (33,0 e 15,6 mmol L^{-1}), verifica-se que aqueles encontrados nos agregados do solo sob cultivo com milho foram superiores aos do Cerradão na profundidade de 5–10 cm (Quadro 5). Em média, oxidaram-se 55,0 e 70,0 % mais COL nos agregados do solo sob Cerradão e sob cultivo com milho, respectivamente, quando se utilizou KMnO_4 33,0 mmol L^{-1} , comparativamente à menor concen-

Quadro 5. Teores de carbono orgânico lábil determinados por KMnO_4 33,0 ($\text{COL}_{33,0}$) e 15,6 mmol L^{-1} ($\text{COL}_{15,6}$) e relação entre o carbono orgânico lábil determinado por KMnO_4 33,0 mmol L^{-1} e aquele determinado por KMnO_4 15,6 mmol L^{-1} ($\text{COL}_{33,0}/\text{COL}_{15,6}$) em material de agregados de diferentes classes, coletados nas profundidades de 5–10 e 15–20 cm de um Latossolo Vermelho sob vegetação natural de Cerradão e sob cultivo com milho por 30 anos⁽¹⁾

Característica	Cobertura vegetal	
	Cerradão	Milho
	Profundidade de 5–10 cm	
$\text{COL}_{33,0}$ (g kg^{-1})	2,62 b ⁽²⁾	2,85 a
$\text{COL}_{15,6}$ (g kg^{-1})	1,71 a	1,70 a
$\text{COL}_{33,0} / \text{COL}_{15,6}$	1,54 b	1,74 a
	Profundidade de 15–20 cm	
$\text{COL}_{33,0}$ (g kg^{-1})	2,00 b	2,42 a
$\text{COL}_{15,6}$ (g kg^{-1})	1,30 b	1,49 a
$\text{COL}_{33,0} / \text{COL}_{15,6}$	1,56 a	1,65 a

⁽¹⁾ Teores médios de seis classes de agregados. ⁽²⁾ Letras diferentes, na mesma linha, indicam diferença entre as condições de uso do solo a 5 % pelo teste F.

tração de KMnO_4 ($15,6 \text{ mmol L}^{-1}$). Essa diferença de 15 %, superior para o solo cultivado, possivelmente se deve à oxidação do C orgânico das substâncias húmicas, mais freqüentes nessa cobertura.

De forma semelhante ao C orgânico das frações AF e AH, também se observou redução mais acentuada dos teores de COL dos agregados de menor tamanho ($< 0,105 \text{ mm}$) em relação aos de $0,25\text{--}0,105 \text{ mm}$ de diâmetro, com variações menores a partir deste diâmetro (Figura 3). Esse comportamento pode estar relacionado ao tamanho da população microbiana nos agregados. Seech & Beauchamp (1988) constataram incremento dos teores de C da biomassa microbiana com a diminuição do tamanho dos agregados. Por se constituir numa fração lábil, o C da biomassa microbiana contribui para os valores de COL.

Outra provável explicação para os maiores valores de COL nos agregados de menor tamanho refere-se à sua associação com frações granulométricas mais finas do solo. Shang & Tiessen (1997) verificaram elevados valores de COL associados às frações silte e argila (46 % para cada fração) em solo sob vegetação natural. Por sua vez, Tiessen & Stewart (1983) observaram presença de materiais lábeis de origem microbiana na argila fina. Considerando a maior contribuição das frações finas (silte e argila) nas menores classes de agregados (Passos et al., 2007), esse comportamento é justificado.

As correlações significativas entre frações orgânicas de maior labilidade, como o C orgânico dos ácidos fúlvicos e o C orgânico lábil determinado por KMnO_4 $15,6 \text{ mmol L}^{-1}$, e $\text{CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ agregados, observadas somente na camada mais superficial do solo ($5\text{--}10 \text{ cm}$) (Quadro 6), estão associadas aos maiores teores de MO nessa profundidade.

Por sua vez, a correlação negativa encontrada entre o C orgânico da fração ácidos húmicos e o $\text{CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ COT (Quadro 6) indica que os ácidos húmicos, por se tratar de moléculas orgânicas mais estáveis, tendem a ser menos preferidos pelos microrganismos que atuam na mineralização da MO, acarretando menores valores de produção de CO_2 .

O sinal negativo do coeficiente de correlação linear simples observado entre $t_{1/2} \text{ kg}^{-1}$ agregados e características relacionadas ao C orgânico (Quadro 6) indica que, quanto menor o $t_{1/2}$, maior a labilidade dos compostos orgânicos. Dentre essas características, o C orgânico dos ácidos fúlvicos e o C orgânico lábil determinado por KMnO_4 $15,6 \text{ mmol L}^{-1}$ na profundidade de $5\text{--}10 \text{ cm}$ merecem destaque, por terem apresentado correlação significativa com $t_{1/2} \text{ kg}^{-1}$ agregados nessa profundidade. A correlação entre $t_{1/2} \text{ kg}^{-1}$ COT e essas características ocorreu de forma semelhante. Em decorrência disso, o maior coeficiente de correlação linear simples encontrado foi aquele que relacionou $t_{1/2} \text{ kg}^{-1}$ agregados e $t_{1/2} \text{ kg}^{-1}$ COT ($r=0,999^{**}$) (Quadro 6).

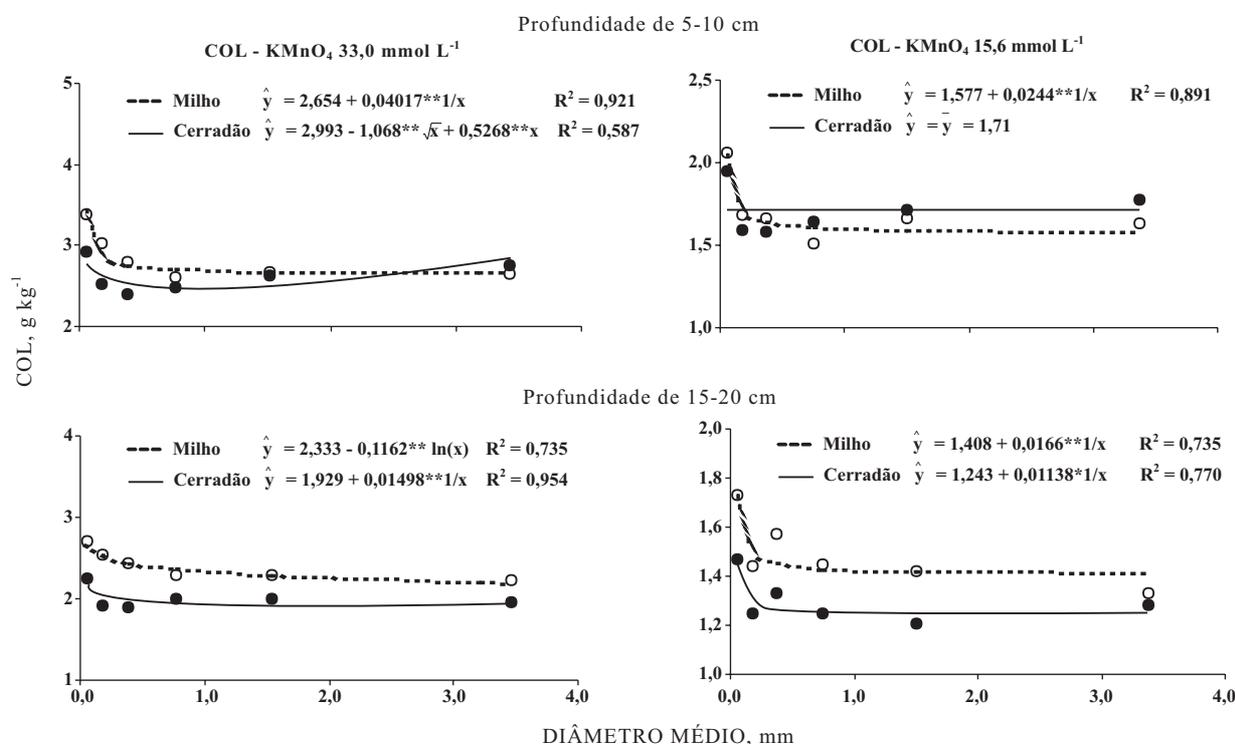


Figura 3. Carbono orgânico lábil (COL) determinado por KMnO_4 $33,0$ e $15,6 \text{ mmol L}^{-1}$, em relação ao diâmetro médio dos agregados, nas profundidades de $5\text{--}10$ e $15\text{--}20 \text{ cm}$ de um Latossolo Vermelho sob vegetação natural de Cerradão e sob cultivo com milho por 30 anos. *,**: significativo a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste t.

Quadro 6. Coeficientes de correlação linear simples entre características relacionadas ao C orgânico (CO), produção acumulada de CO₂ e tempo necessário para atingir a metade da produção máxima de CO₂ (t_{1/2}), para amostras de um Latossolo Vermelho retiradas a 5–10 e 15–20 cm de profundidade

Característica	CO ₂		t _{1/2}	
	Agregados	COT	Agregados	COT
Profundidade de 5–10 cm				
CO – Ácidos fúlvicos	0,604*	0,119	-0,623*	-0,639*
CO – Ácidos húmicos	-0,230	-0,669**	-0,195	-0,190
CO – Huminas	0,403	-0,027	-0,047	-0,060
CO – Lábil (33,0 mmol L ⁻¹)	0,079	-0,439	-0,441	-0,451
CO – Lábil (15,6 mmol L ⁻¹)	0,569**	0,075	-0,514*	-0,530*
CO ₂ kg ⁻¹ agregados		0,831**	-0,460	-0,466
CO ₂ kg ⁻¹ COT			-0,242	-0,241
t _{1/2} kg ⁻¹ agregados				0,999**
Profundidade de 15–20 cm				
CO – Ácidos fúlvicos	-0,210	-0,596*	-0,217	-0,210
CO – Ácidos húmicos	-0,495	-0,799**	-0,002	0,011
CO – Huminas	-0,193	-0,556*	0,261	0,272
CO – Lábil (33,0 mmol L ⁻¹)	-0,443	-0,770**	-0,209	-0,195
CO – Lábil (15,6 mmol L ⁻¹)	-0,337	-0,676**	-0,232	-0,214
CO ₂ kg ⁻¹ agregados		0,892**	0,450	0,443
CO ₂ kg ⁻¹ COT			0,376	0,363
t _{1/2} kg ⁻¹ agregados				0,999**

*, **: significativo a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste t.

O fato de não ter ocorrido correlação significativa entre a produção acumulada de CO₂ e t_{1/2} (Quadro 6) mostra que, enquanto os valores de t_{1/2} variaram bastante, os de produção acumulada de CO₂ se comportaram diferentemente, o que se deve principalmente à diminuição da atividade microbiana após atingir t_{1/2}, resultando em valores mais próximos de produção acumulada de CO₂ no final do período de incubação.

CONCLUSÕES

1. O tipo de cobertura vegetal e o manejo do solo exerceram influência tanto sobre os teores de C orgânico como sobre a composição da MO do solo.

2. Os agregados de menor tamanho tenderam a propiciar maior atividade microbiana e superioridade dos teores de C orgânico lábil e das frações ácidos fúlvicos e ácidos húmicos, constituindo-se em sítios favoráveis tanto para o estoque de MO, em decorrência da proteção física e química, quanto para sua

mineralização, dada a ação preferencial dos microrganismos nesses locais.

3. Os coeficientes da equação logística e o tempo necessário para atingir a metade da produção máxima de CO₂ (t_{1/2}) se mostraram importantes indicadores de qualidade da MO do solo em distintos manejos e, conseqüentemente, de sua labilidade.

LITERATURA CITADA

- BEARE, M.; CABRERA, M.; HENDRIX, P. & COLEMAN, D. Aggregate protected and unprotected organic matter pools in conventional and no-tillage soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:787-795, 1994a.
- BEARE, M.; HENDRIX, P. & COLEMAN, D. Water stable aggregates and organic matter fractions in conventional and no-tillage soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:777-786, 1994b.
- BLAIR, G.J.; LEFROY, R.D.B. & LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and development of a carbon management index for agricultural systems. *Aust. J. Agric. Res.*, 46:1459-1466, 1995.

- CURL, E.A. & RODRIGUEZ-KABANA, R. Microbial interactions. In: WILKINSON, R.E., ed. Research methods in weed science. Atlanta, Southern Weed Science Society, 1972. p.162-194.
- ELLERT, B.H. & GREGORICH, E.G. Management-induced changes in the actively cycling fractions of soil organic matter. In: McFEE, W.W. & KELLY, J.M., eds. Carbon forms and functions in forest soils. Madison, Soil Science Society of America, 1995. p.119-138.
- MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica e características químicas de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob mata natural, seringueira e pastagem. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1988. 78p. (Tese de Mestrado)
- MENDONÇA, E.S. The effects of the organic and mineral fractions on the acidity and charge of soils from the Cerrado Region, Brazil. Reading, University of Reading, 1992. 230p. (Tese de Doutorado)
- MICHEL, K.; MARITXU, G.; RENÉ, B.J. & REVEL, J.C. Influencia de las substancias húmicas sobre las características bio-físico-químicas de los suelos. Consecuencias sobre la nutrición mineral de las plantas. In: CONGRESO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Águas de Lindóia, 1996. Conferencias. Águas de Lindóia, Embrapa, 1996. CD-ROM
- PARRA, M.S. Dinâmica de matéria orgânica e de nutrientes num Latossolo Roxo distrófico submetido aos sistemas de plantio convencional e direto e diferentes sucessões de culturas. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1986. 94p. (Tese de Mestrado)
- PASSOS, R.R. Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2000. 89p. (Tese de Doutorado)
- PASSOS, R.R.; RUIZ, H.A.; CANTARUTTI, R.B. & MENDONÇA, E.S. Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. R. Bras. Ci. Solo, 31:1109-1118, 2007.
- SCHNITZER, M. Organic matter characterization. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H. & KEENEY, D.R., eds. Methods of soil analysis. Part 2 - Chemical and microbiological properties. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1982. p.581-594. (Agronomy, 9)
- SEECH, A.G. & BEAUCHAMP, E.G. Denitrification in soil aggregates of different sizes. Soil Sci. Soc. Am. J., 52:1616-1621, 1988.
- SHANG, C. & TIESEN, H. Organic matter lability in a tropical Oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density, and magnetic fractionations. Soil Sci., 162:795-807, 1997.
- SOUZA, A.P. Movimento e degradação do glyphosate e do imazapyr em solos com diferentes texturas e composição química. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1998. 95p. (Tese de Doutorado)
- THENG, B.K.G.; TATE, K.R. & SOLLINS, P. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M. & UEHARA, G., eds. Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Hawaii, NIFTAL Project, 1989. p.5-32.
- TIESEN, H. & STEWART, W.B. Particle size fractions and their uses in studies of soil organic matter. II. Cultivation effects on organic matter composition of size fractions. Soil Sci. Soc. Am. J., 47:509-514, 1983.
- YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 19:1467-1476, 1988.