



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

Belleza Ferreira, Eloisa Aparecida; Vital Siqueira Resck, Dimas; Gomes, Antônio Carlos; Gerosa
Ramos, Maria Lucrécia

DINÂMICA DO CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA EM CINCO ÉPOCAS DO ANO EM
DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO NO CERRADO

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 31, núm. 6, 2007, pp. 1625-1635
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214061038>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

DINÂMICA DO CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA CINCO ÉPOCAS DO ANO EM DIFERENTES SISTEMAS MANEJO DO SOLO NO CERRADO⁽¹⁾

**Eloisa Aparecida Belleza Ferreira⁽²⁾, Dimas Vital Siqueira Resck⁽²⁾,
Antônio Carlos Gomes⁽³⁾ & Maria Lucrécia Gerosa Ramos⁽⁴⁾**

RESUMO

Em um Latossolo Vermelho argiloso, na Embrapa Cerrados, em Planaltina, Distrito Federal, foram selecionadas uma área com vegetação de Cerrado (CE) e seis parcelas de um experimento de longa duração (20 anos): arado de discos pré-plantio (ADPP); arado de discos pós-colheita (ADPC); plantio direto a partir do segundo ano em área preparada com arado de discos em 1979, primeiro ano de cultivo (PDAD); arado de aivecas pré-plantio (AVPP); arado de aivecas pós-colheita (AVPC); e plantio direto a partir do segundo ano em área preparada com arado de aivecas em 1979, primeiro ano de cultivo (PDAV). Foram estimados o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico do solo (C_{solo}) em cinco profundidades: 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm; e em cinco épocas do ano: na época da colheita da soja (abril/2000); no final do período chuvoso, após aração pós-colheita da soja (maio/2000); no período seco, sem nenhuma cultura no campo (agosto/2000); no início do período chuvoso, no plantio do milho (novembro/2000); e na floração da cultura do milho (fevereiro/2001). Considerando todo o período de estudo, os teores de C da biomassa microbiana (C_{mic}) e de C_{solo} foram menores nas camadas mais profundas em todos os sistemas de manejo e no Cerrado. No solo sob sistema plantio direto, os teores de C_{mic} e C_{solo} decresceram das camadas mais superficiais para as mais profundas e de forma mais acentuada que no solo sob sistemas convencionais. No CE, a biomassa microbiana constituiu-se em maior percentagem

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado em Ciências Agrárias da primeira autora, apresentada à Universidade de Brasília. Re-publicação em dezembro de 2002 e aprovado em setembro de 2007.

⁽²⁾ Pesquisador(a) da Embrapa Cerrados. Km 18, BR 020, Caixa Postal 08223, CEP 73310-970 Planaltina (DF) eloisa@cnac.embrapa.br; dvsresck@cnac.embrapa.br

do carbono orgânico total do solo, em comparação aos sistemas cultivados, que não apresentaram diferenças entre si.

Termos de indexação: carbono orgânico, arado de discos, arado de aivecas, plantio direto, Latossolo, savana.

SUMMARY: MICROBIAL BIOMASS CARBON DYNAMICS IN DIFFERENT SOIL MANAGEMENT SYSTEMS IN THE CERRADO

Microbial biomass carbon and organic carbon were measured in a long-term field experiment (20 years) in Planaltina, DF, Brazil, under corn-soybean crop rotation. Six management systems were selected: disk plow before planting (ADPP); disk plow after harvesting (ADPC), no-till after disk plowing in the first year (PDAD); moldboard plow before planting (AVPP); moldboard plow after harvesting (AVPC), no-till after moldboard plowing in the first year (PDAV) and an undisturbed area of Savanna type vegetation, Cerrado (CE) as a reference. Soil samples were collected five times a year: 1- April, at soybean harvesting; 2- May, after soybean harvesting; 3- August, in the dry season with no crop on the field; 4- November, in the beginning rainfall season, at corn planting; 5- February, at corn tasseling. The samples were taken from five depths: 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 and 30-40 cm of a clayey Red Latosol (Oxisol). Considering the whole study period, soil microbial carbon (C_{mic}) and soil organic carbon (C_{soil}) concentration were lower as soil profile depth increased for all management systems as well as in the Cerrado. C_{mic} and C_{soil} decreases under no-till system from superficial layers to the deeper ones were more pronounced than in the conventional systems. In the Cerrado, the microbial biomass represented a higher percentage of the total soil organic carbon in comparison to the management systems; there was no difference between conventional and no-till systems.

Index terms: organic carbon, disk plow, moldboard plow, no-till, Latosol, Savanna.

INTRODUÇÃO

Em ecossistemas naturais é mantida estreita e harmônica integração da cobertura vegetal com o sistema físico, químico e biológico do solo, através de processos essenciais, como a ciclagem de nutrientes, pela formação e decomposição da matéria orgânica. Entretanto, essa harmonia é destruída fisicamente, com as operações de preparo do solo, e alterada quimicamente, pela incorporação de corretivos e fertilizantes, causando o desequilíbrio do sistema e, em consequência, a aceleração ou retardamento dos processos de ciclagem de nutrientes e de formação e, ou, decomposição da MO (Resck, 1996). Os principais responsáveis por esses processos são os microrganismos do solo (fungos e bactérias), algas e microfauna, cuja massa ou biomassa microbiana está permanentemente em renovação, obtendo a energia da MO, atuando assim como fonte e dreno (mineralização/imobilização temporária) dos nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas. Segundo Jenkinson & Powlson (1976), a biomassa microbiana está localizada no compartimento

Nas últimas três décadas, um grande aumento das atividades agrícolas ocorreu no Cerrado, e a cultura nativa foi substituída por áreas cultivadas, produção de alimentos, fibra e energia. Os Latossolos representam 46 % dos solos no Cerrado, com um teor médio de MO entre 2,5 e 3,0 dag kg⁻¹ no solo, solos ácidos, com baixa fertilidade natural, que apresentam boas condições para mecanização. O potencial de produção está condicionado ao tipo de corretivos e fertilizantes, que necessitam de um revolvimento do solo para sua plena disponibilidade e reação. A mobilização do solo, por propriedades de incorporação de resíduos orgânicos, pode aumentar a biomassa microbiana a curto prazo, por disponibilizar o substrato orgânico com a quebra dos agregados. No longo prazo, pode ter efeitos negativos, como a diminuição dos teores de MO (Resck, 1998). Robertson & Robertson (1994) mediram o C da biomassa microbiana em dois solos tropicais que mostraram padrões similares no declínio da MO e da biomassa microbiana. Após três anos de cultivo convencional, o C total foi reduzido em 20 %, e o C mineralizado estabilizou a 35 % do seu valor inicial.

DINÂMICA DO CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA EM CINCO ÉPOCAS DO ANO...

sistemas, destacam-se a pastagem e o plantio direto (PD), que acumulam MO principalmente nos primeiros centímetros do solo (Follet & Schimel, 1989). Nos sistemas onde o solo é revolvido, a MO é distribuída por toda a camada arável, fazendo com que os teores de carbono orgânico (CO), em profundidades maiores, possam ser semelhantes ou até maiores do que no sistema PD, e isso pode se refletir na atividade e na quantidade da biomassa microbiana (Cattelan & Vidor, 1990). Em geral, o incremento da biomassa microbiana está relacionado ao aumento do conteúdo de MO do solo (Rezende et al., 2004).

Balota et al. (1996) observaram aumentos de até 129 e 49 % na concentração de C e N da biomassa, respectivamente, na camada de 0-5 cm, quando se utilizou plantio direto, comparado com diversos sistemas de cultivo. Carter (1986), trabalhando com trevo forrageiro no Canadá, em solo Charlottetown franco-arenoso, mostrou que, nos primeiros 5 cm de solo, a biomassa sob plantio direto, por três anos, foi maior que no plantio convencional com arado de aivecas (182 e 111 mg kg⁻¹ de C no solo, respectivamente); no entanto, entre 5 e 10 cm de profundidade, o solo sob arado de aivecas apresentou biomassa maior que no PD (247 e 164 mg kg⁻¹ de C no solo, respectivamente).

Vários trabalhos indicam que a distribuição da biomassa no perfil do solo não é uniforme (Oades & Jenkinson, 1979), sendo conveniente que se quantifique a biomassa em diferentes profundidades. De acordo com Van Gestel et al. (1992), a quantidade de biomassa do solo decresce com a profundidade, independentemente do tempo e sistema de manejo.

Em amostras de 0 a 5 e 25 a 50 cm, no Zimbabwe, em Alfissolos, a biomassa variou de 861 mg kg⁻¹ de C no solo, na camada superficial, até 233 mg kg⁻¹ de C no solo na camada de 25 a 50 cm, em solo sob vegetação nativa (Kirchmann & Eklund, 1994). Nos solos cultivados durante 15 anos com milho, a biomassa microbiana variou de 397 a 316 mg kg⁻¹ de C no solo, nas mesmas profundidades.

Em experimento conduzido por Cerri et al. (1985), foi observado que a biomassa microbiana em Latossolo Amarelo na Amazônia apresentou distribuição mais uniforme nos primeiros 15 cm do solo, começando a decrescer a partir desta, tornando-se praticamente nula abaixo de 30 cm. Cattelan & Vidor (1990), no sul do País, analisando somente os 15 cm superficiais do solo, observaram que os primeiros 5 cm apresentaram maiores valores de biomassa e atividade microbiana que os da camada de 5-15 cm.

Embora componentes do reservatório de C tenham diferido entre ecossistemas nativos e cultivados, a maioria dos trabalhos publicados concentra-se em

que expliquem as relações específicas entre as práticas agrícolas nos teores de C e a atividade biologicamente ativa, representada pela biomassa.

Enfoques baseados na caracterização da biomassa com tempo de ciclagem mais rápido, têm sido considerados como uma medida sensível das mudanças no solo (Sparling, 1992); portanto, a biomassa microbiana pode ser considerada um bom indicador das mudanças induzidas pelo sistema de manejo do solo.

O objetivo deste trabalho foi estudar a biomassa das diferentes sistemas de manejo do solo na concentração de C da biomassa microbiana (C_{mic}) e no teor de C no solo (C_{solo}), em cinco épocas do ano, em profundidades de um Latossolo Vermelho no Cerrado.

MATERIAL E MÉTODOS

Condições locais e descrição dos tratamentos

A pesquisa foi desenvolvida no campo experimental da Embrapa Cerrados, localizado em Planaltina, num Latossolo Vermelho argiloso, no período de 2000 a fevereiro de 2001. O clima local é estacional quente e úmido, com temperaturas variando de 20 a 26 °C durante o ano. A precipitação pluviométrica é de 1.700 mm; o período chuvoso inicia-se em outubro e prolonga-se até abril, com histórico de um período de chuvas de alguns dias dentro dessa estação, como veranico (Adámoli et al., 1986).

Foram selecionadas uma área com vegetação de Cerrado (CE) e seis parcelas de 1.250 m² para o experimento de longa duração, instalado em 1979: ADPP - preparo com arado de discos pós-colheita (em que o solo é revolvido a uma profundidade aproximadamente 25 cm com arado de discos uma vez ao ano, no início do período chuvoso do plantio, em outubro/novembro); ADPC - preparo com arado de discos pós-colheita (nesse sistema o solo é revolvido com arado de discos e os resíduos são incorporados a uma profundidade de aproximadamente 25 cm, duas vezes ao ano, logo após a colheita, no mês de maio, no final da estação seca e antes do plantio, nos meses de outubro/novembro, no início da estação chuvosa); AVPP - preparo com arado de aivecas pré-plantio (o solo é revolvido com arado de aivecas a uma profundidade aproximadamente 40 cm, apenas uma vez na época do plantio da cultura, em outubro/novembro); AVPC - preparo com arado de aivecas pós-colheita (nesse sistema, o solo é revolvido com arado de aivecas pós-colheita a uma profundidade de aproximadamente 40 cm, duas vezes ao ano, logo após a colheita da cultura, no mês de maio, no final da estação chuvosa e antes do plantio).

primeiro ano de cultivo; e PDAV - plantio direto a partir do segundo ano em área preparada com arado de aivecas em 1979, primeiro ano de cultivo.

Em cada parcela de 1.250 m² foram estabelecidos três pontos de amostragem, distantes 21 m entre si, numa diagonal, com os pontos extremos a 6 m da borda limítrofe da parcela, constituindo-se nas repetições de cada tratamento. Cada amostra foi composta por 10 amostras simples por repetição e por profundidade, coletadas em um raio de um metro e meio em torno de cada ponto central de amostragem.

As coletas das amostras de solo foram feitas em cinco épocas do ano, numa rotação soja/milho (Figura 1), com um trado holandês: na colheita da soja (abril/2000), após aração pós-colheita da soja (maio/2000), na seca (agosto/2000), no plantio do milho (novembro/2000) e na floração desta cultura (fevereiro/2001); e em cinco profundidades: 0–5, 5–10, 10–20, 20–30 e 30–40 cm. Na época do plantio e floração do milho, o solo foi sempre amostrado nas entrelinhas.

Quantificação do carbono da biomassa microbiana (C_{mic}) e carbono orgânico do solo (C_{solo})

O C da biomassa microbiana foi estimado pelo método da fumigação-incubação (Jenkinson & Powlson, 1976), com algumas adaptações. As

amostras foram armazenadas até o momento das análises em uma câmara fria, com temperatura torno de 4 °C. Os resíduos da cultura, como restos vegetais, foram removidos cuidadosamente das amostras, que foram passadas em uma peneira de 8 mm de malha. Seis porções de 20 g de conteúdo de água foi ajustado para uma pressão de 30 kPa, foram pré-incubadas à temperatura ambiente por sete dias em recipientes fechados de 600 mL. Nesse período, o solo foi fumigado com CHCl₃ em triplicatas (equivalentes a três amostras analíticas). Após fumigação, as amostras fumigadas, mais três amostras não-fumigadas, foram incubadas à temperatura ambiente por 10 dias em recipientes equivalentes aos anteriores. O CO₂ (respirado) foi absorvido por uma solução de 0,3 mol L⁻¹ durante o período de incubação, determinado por titulação com HCl, após prançado com BaCl₂ 20 %. O C da biomassa microbiana (C_{mic} ; expresso em mg hg⁻¹ de solo) foi calculado dividindo-se o fluxo de CO₂ respirado pelo solo fumigado menos o fluxo pelo solo não-fumigado por um fator de conversão de 0,41 (Anderson & Domsch, 1978).

O teor de CO do solo (C_{solo}) foi avaliado pelo método da oxidação por via úmida (Walkley & Blak-

Análise estatística

Utilizou-se o programa denominado DRASTIC (Colwell, 1978) para diferenciação estatística dos tratamentos, por meio da análise de variância e testes dos parâmetros de uma regressão polinomial ortogonal, em que y representa as propriedades (C_{mic} e C_{solo}) e x são os valores nas profundidades consideradas nesse estudo. Os parâmetros p_0 , p_1 e p_2 , independentes entre si, foram estimados para cada repetição amostral, considerando-se os pontos médios dos intervalos de profundidade amostrados: 2,5 cm (0–5 cm), 7,5 cm (5–10 cm), 15 cm (10–20 cm), 25 cm (20–30 cm) e 35 cm (30–40 cm), e testes para os parâmetros com o teste t a 5 %. A significância dos parâmetros das equações ortogonais foi avaliada pelo teste F. O modelo de regressão polinomial ortogonal $\hat{y} = p_0 + p_1 x_L + p_2 x_Q + p_3 x_C$ é apresentado no quadro 1, em que p_0 representa o efeito médio dos tratamentos no perfil e os parâmetros da regre-

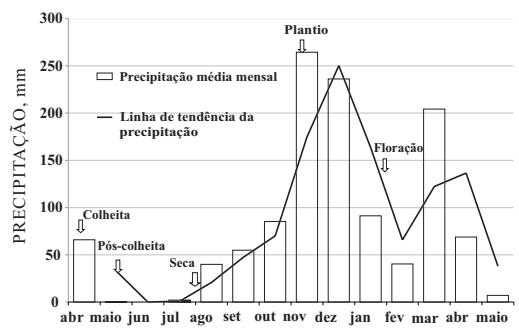


Figura 1. Distribuição de chuvas no período experimental (abril/2000 a maio/2001) e épocas de amostragem.

Quadro 1. Parâmetros e coeficientes de uma equação de regressão polinomial ortogonal

Descrição do comportamento	Parâmetros e coeficientes da equação que formam o polinômio
Tendência zero (efeito médio dos tratamentos)	$\hat{y} = p_0$
Tendência linear	$\hat{y} = p_1 x_L$
Tendência quadrática	$\hat{y} = p_1 x_L + p_2 x_Q$

DINÂMICA DO CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA EM CINCO ÉPOCAS DO ANO...

e p_3 representam a quantidade e a direção (sinal) de cada tendência linear, quadrática e cúbica dos teores de C_{mic} e de C_{solo} em profundidade (cm), respectivamente. X_L , X_Q e X_C referem-se ao coeficiente linear, quadrático e cúbico dos polinômios ortogonais para a interpolação, obtidos por meio de um programa escrito em linguagem Fortran (Quadro 2) (Colwell, 1978).

Utilizou-se também a regressão não-ortogonal $\hat{y} = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3$, em que b_0 , b_1 , b_2 e b_3 são interdependentes e representam os estimadores dos parâmetros para o intercepto e os efeitos linear, quadrático e cúbico, respectivamente, para cálculos estimativos dos valores finais das variáveis C_{mic} , C_{solo} e da relação $C_{mic}:C_{solo}$ (expressa em %) no que se refere à profundidade x (cm). No presente trabalho, para os modelos ortogonal e não-ortogonal, não houve ajuste significativo em todos os tratamentos, para os efeitos quadrático e cúbico.

Quadro 2. Coeficientes para interpolação de polinômios ortogonais nos diferentes sistemas de manejo

Profundidade	Coeficiente de interpolação		
	X_L	X_Q	X_C
cm	linear	quadrático	cúbico
2,5	-5,8	19,62093	-51,3099
7,5	-3,8	-2,38629	60,80235
15	-0,8	-20,3971	41,29568
25	3,2	-16,4115	-83,0397
35	7,2	19,57402	32,25171

Para efetuar as comparações entre épocas de cada tratamento e entre tratamentos de profundidade, foi utilizado o teste não-paramétrico Wilcoxon a 5 % (Conover & Inan, 1976).

As análises de comparação de médias e as de regressão foram realizadas utilizando-se o estatístico SAS (SAS, 1989).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparação do carbono da biomassa microbiana (C_{mic}) entre as cinco épocas

Houve diminuição significativa do C_{mic} da colheita da soja e a época da plantio do milho entre os tratamentos AVPP, AVPC e PDAV, e entre a colheita da soja e a floração do milho nos tratamentos ADPC e PDAD (Quadro 3).

Considerando que o método da fumigação mede a biomassa potencial do solo, verifica-se que na época da colheita da soja os restos vegetais abundantes e facilmente mineralizáveis proporcionaram substrato para que a biomassa microbiana desse se acumular rapidamente com a acentuada composição dos resíduos e expressasse seu efeito quando condições ideais de temperatura e disponibilidade de água foram fornecidas artificialmente durante sete dias de pré-incubação. A decomposição da leguminosa (soja) disponibilizou N para decomposição do estrato herbáceo de gramíneas invadidas, especialmente do gênero *Brachiaria*.

Segundo Vargas & Scholles (2000), a presença de leguminosas aumenta a disponibilidade de

Quadro 3. Comparação de médias do carbono da biomassa microbiana entre épocas na profundidade de 40 cm

Tratamento	Época				
	Colheita (Abril/00)	Pós-colheita (Maio/00)	Seca (Agosto/00)	Plantio (Novembro/00)	Floração (Fevereiro/01)
mg kg ⁻¹ de C-CO ₂ no solo					
ADPP ⁽¹⁾	224,90 a ⁽²⁾	221,40 a	207,02 a	167,02 ab	136,60 bc
ADPC	189,31 a	184,30 a	173,80 a	158,4 ab	115,60 bc
PDAD	251,74 a	232,27 a	228,56 a	205,96 ab	149,60 bc
AVPP	225,72 a	202,30 ab	198,75 ab	139,68 bc	133,60 bc
AVPC	204,70 a	178,63 a	155,59 a	120,05 b	100,60 bc
PDAV	261,00 a	232,22 ab	211,01 ab	180,20 b	178,60 bc
CE	414,60 a	393,30 a	383,70 a	374,20 a	350,60 bc

⁽¹⁾ ADPP: preparo com arado de discos pré-plantio, ADPC: preparo com arado de discos pós-colheita, PDAD: plantio direto.

o que, na presença de C, aumenta a atividade microbiana. A partir da época do plantio de milho, ocorrida na segunda metade de novembro, a planta estava em pleno período de desenvolvimento e oferecia pouco material degradável, além de, possivelmente, competir por nutrientes com os microrganismos do solo. No entanto, para Cheng et al. (1996), quando a cultura de verão está plenamente estabelecida, ela pode estimular a comunidade microbiana, por meio do efeito da rizosfera. Deve-se considerar ainda o fato de que nas épocas do plantio e da floração do milho o solo foi coletado sempre nas entrelinhas, e nas outras épocas, pela impossibilidade de detectar as linhas, a amostragem foi feita aleatoriamente em um raio de um metro e meio em torno do ponto central da amostragem, coletando-se em pontos com maior volume de raízes da soja e plantas invasoras, o que provavelmente propiciou condições para acumulação de biomassa microbiana.

Os menores valores de C_{mic} a partir do plantio da cultura de milho poderiam ser justificados pela precipitação de mais de 250 mm de chuva ocorrida nos meses antecedentes à amostragem de solo, o que deve ter aumentado a mineralização de C e diminuído a disponibilidade de resíduos para a biomassa microbiana, até mesmo no solo sob Cerrado (Quadro 3), onde a tendência de diminuição do C_{mic} foi de 16 %, durante o período estudado, embora não significativa. Segundo Moreira & Siqueira (2002), o tipo de vegetação e as condições ambientais são fatores que determinam a quantidade e a qualidade do material que se deposita no solo, influenciando a heterogeneidade da microbiota e a taxa de decomposição.

Quadro 4. Análise de variância dos parâmetros p_0 e p_1 da regressão polinomial ortogonal $\hat{y} = p_0 + p_1 x_L + p_2 x_Q + p_3 x_C$, para carbono da biomassa microbiana ($mg\ kg^{-1}$ de C-CO₂ no solo) em sete tratamentos, considerando todo o período de estudo

Tratamento	Parâmetro	
	p_0 (***)	p_1 (***)
ADPP ⁽¹⁾	191,62 bc ⁽²⁾	-9,103 ab
ADPC	164,69 bc	-4,418 a
PDAD	213,70 b	-12,180 b
AVPP	179,91 bc	-5,375 a
AVPC	151,59 c	-4,370 a
PDAV	212,75 bc	-13,819 b
CE	383,19 a	-33,239 c

Comparação do carbono da biomassa microbiana e do solo em diferentes situações

Carbono da biomassa microbiana

Considerando-se todo o período de estudo (todas as épocas em conjunto), em relação ao efeito do perfil (p_0), o valor encontrado para o C_{mic} no tratamento CE foi significativamente maior do que os outros tratamentos; nos sistemas agrícolas, as diferenças significativas apenas entre o tratamento AVPC (Quadro 4), comprovando os maiores valores de C_{mic} no sistema plantio direto, quando comparado ao sistema convencional com arado de aviceira. No revolvimento anual, esses resultados também foram encontrados em solos das diferentes regiões (Alvarez et al., 1997; Balota et al., 1998; Guglielmi et al., 1999).

A variação da biomassa microbiana no perfil é estimada pelo estimador do parâmetro p_1 , que representa a taxa de redução linear com a profundidade (mg de C no solo por cm de profundidade). Nesse caso, a taxa de redução linear nos sistemas agrícolas, no tratamento PDAV, apresentado no quadro, é diferente dos tratamentos PDAD e ADPP, e os demais tratamentos que sofreram algum tipo de revolvimento não houve diferença. O CE apresenta a maior taxa de redução linear. Semelhante à estratificação e diminuição da MO com o aumento da profundidade (Resck et al., 1995; Resck, 1999; Resck et al., 1999), há decréscimo acentuado dos valores de C_{mic} nos sistemas sob plantio direto, expresso por um valor negativo de p_1 .

Para se calcular o valor da biomassa microbiana no solo, nos tratamentos a uma determinada profundidade, deve-se multiplicar o estimador p_1 pelo coeficiente de interpolação linear X_L dessa profundidade (que é a soma de p_0 e p_1) e somar ao resultado ao efeito p_0 .

O modelo de regressão linear de primeira ordem (polinômio não-ortogonal) para todos os tratamentos, considerando todo o período de estudo, está apresentado na Tabela 4. Observa-se maior inclinação da reta nos tratamentos PDAD, PDAV e CE. Nessas situações, a biomassa microbiana está mais concentrada na superfície do solo (Vargas & Sholles, 2000), onde há maior quantidade de aporte de substrato, fazendo com que os processos de decomposição do substrato e de liberação de nutrientes aí ocorram com maior intensidade que nos outros tratamentos, com exceção do ADPP, a biomassa microbiana é melhor distribuída pelo perfil.

As diferenças entre os tratamentos podem ser explicadas principalmente até a profundidade de 10 cm, e daí em diante não houve mais diferenças significativas entre os sistemas cultivados, com exceção das profundidades de 10–20 e 20–30 cm (Quadro 4).

DINÂMICA DO CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA EM CINCO ÉPOCAS DO ANO...

como o sistema que representa 100 % do C da biomassa microbiana original, observa-se um gradiente de redução que vai dos sistemas menos perturbados, representados pelo PDAD com 59 % e o PDAV com 57 % da biomassa existente no Cerrado, até, na seqüência, o ADPP, com 53 %, o AVPP, com 52 %, e por fim aqueles sistemas que sofrem duplo revolvimento anual: o ADPC e o AVPC, com 47 e 43 %, respectivamente.

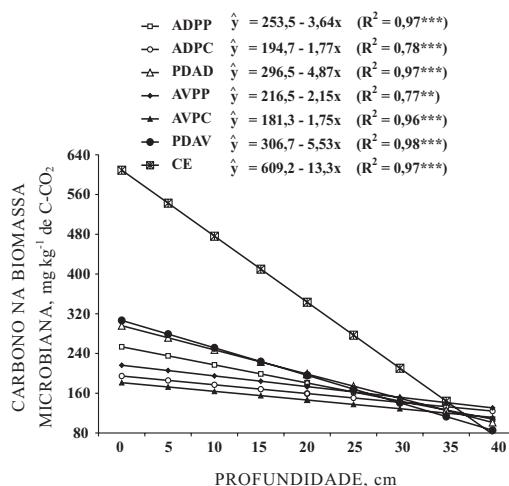


Figura 2. Equações de regressão polinomial não-ortogonal para carbono da biomassa microbiana (\hat{y} , mg kg^{-1} de C-CO_2 no solo) em função da profundidade (cm), considerando todo o período de estudo. ***, **: Significativos a 1 e 5 %, respectivamente, pelo teste F. Ver quadro 3 para descrição dos tratamentos.

Para os sistemas cultivados, há, em geral, menor C da biomassa microbiana que no solo sob vegetação nativa. Esses resultados são comparáveis aos encontrados por Renz et al. (1999), em um campo de Cerrado, e aos de Kirchmann et al. (1994), que compararam um solo sob savana com um campo adjacente com milho, no Zimbabué, encontrando menos C de biomassa microbiana no campo cultivado.

Carbono orgânico do solo (C_{sol})

Os resultados médios, considerando-se as cinco épocas de amostragem, para valores de C_{sol} apresentados no quadro 6 (perfil de 0 a 40 cm de profundidade). Os valores do efeito médio do solo foram divididos em três grupos distintos: os PDAD estão no grupo dos maiores valores; da, agrupam-se os tratamentos ADPP, AVPP e o terceiro grupo é composto pelos tratamentos de colheita (ADPC e AVPC). Os tratamentos de solo é revolvido duas vezes ao longo do ano, e AVPC tiveram perda de C_{sol} maior que as outras tratamentos. No ADPC e AVPC, 14 % de C_{sol} foi perdido em relação aos tratamentos pré-planados e AVPP. Considerando-se o teor original de C_{sol} encontrado no CE como referência, a perda de C_{sol} em ambos os sistemas, seria de 27 %. Comparando-se o CE ao PDAD, esse decréscimo no C_{sol} foi de 45 %. No entanto, em valores absolutos, corresponde a 4,5 t ha^{-1} de C perdido, num período de 20 anos, considerando a densidade média do perfil igual a $1,12 \text{ kg dm}^{-3}$. Segundo Rosa et al. (1999), em cinco anos, tanto o plantio direto de sequeiro quanto o plantio direto de safrinha como o irrigado não foram capazes de melhorar os níveis de MO original do solo no campo, além de terem causado compactação dos solos.

Quadro 5. Comparação de médias para o carbono da biomassa microbiana em sete tratamentos e profundidades, considerando todo o período de estudo

Tratamento	Profundidade				
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm
mg kg^{-1} de C-CO_2 no solo					
ADPP ⁽¹⁾	238,4 bc ⁽²⁾	227,6 bcd	200,2 ab	175,9 b	116,1
ADPC	176,7 d	186,4 d	186,8 b	144,3 b	129,3
PDAD	300,2 ab	247,6 bc	214,7 ab	174,8 b	131,2
AVPP	208,5 cd	190,0 cd	191,6 b	184,7 b	124,7
AVPC	170,9 d	170,6 d	160,9 b	139,0 b	116,1
PDAV	284,7 b	283,8 ab	212,6 ab	166,6 b	116,1

Quadro 6. Análise de variância dos parâmetros p_0 e p_1 da regressão polinomial ortogonal $\hat{y} = p_0 + p_1 x_L + p_2 x_Q + p_3 x_C$ para carbono orgânico do solo (C_{solo} em dag kg^{-1} de C no solo) em sete tratamentos, considerando todo o período de estudo

Tratamento	Parâmetro	
	p_0 (***)	p_1 (***)
ADPP ⁽¹⁾	1,49 b ⁽²⁾	- 0,042 ab
ADPC	1,29 c	- 0,035 a
PDAD	1,63 a	- 0,060 cd
AVPP	1,49 b	- 0,028 a
AVPC	1,27 c	- 0,027 a
PDAV	1,49 b	- 0,055 bc
CE	1,74 a	- 0,070 d

⁽¹⁾ Ver quadro 3 para descrição dos tratamentos. ⁽²⁾ Valores seguidos da mesma letra na mesma coluna não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste t a 5 %. ***: Significativo a 1 % pelo teste F.

Alguns dos fatores que contribuem para o declínio da MO são a aceleração dos processos de mineralização devido às operações de preparo do solo, as quais promovem a quebra dos agregados, com subsequente exposição da MO ao ataque dos microrganismos (Resck et al., 1991), e o aumento de processos erosivos ou baixa adição de C comparativamente aos sistemas sob vegetação nativa (Angers et al., 1992).

À semelhança da biomassa microbiana, a mais elevada taxa de redução linear do C_{solo} com a profundidade (p_1) também ocorreu no CE – valor significativamente maior que nos outros tratamentos, com exceção do PDAD, indicando que o CO está mais concentrado nas camadas superficiais do solo (Quadro 6). Também não foi observada diferença entre os tratamentos sob PD (média de $p_1 = -0,058$).

O C foi melhor distribuído no perfil do solo nos tratamentos ADPP, ADPC, AVPP e AVPC (Quadro 6), mas houve diminuição do CO com a profundidade; ainda assim, a maior inclinação da reta é observada nos sistemas plantio direto e no Cerrado em relação aos outros sistemas de manejo (Figura 3), fato confirmado por vários autores (Bayer & Mielniczuk, 1997; Guedes, 1997).

O fato de o C_{solo} estar mais concentrado nas camadas superficiais dos tratamentos sob sistema plantio direto indica que, no Cerrado, não se pode iniciar o cultivo dos Latossolos e Areias Quartzosas em uma área recém-desbrevada sob o sistema plantio

a adição de CO e a sua decomposição em profundiades maiores, além da correção e adubação química, cruciais para que as plantas cultivadas resistam às intempéries do clima estacional do Cerrado. A profundidade e relativamente rápida é alcançada a dinâmica de sistemas de preparo do solo proposta por Resck (1998), que tem como objetivo conservar o solo com sistemas convencionais, profundamente possível, química, biologicamente, para daí se adotar o cultivo no sistema plantio direto.

Relação C_{mic}/C_{solo} e equações de regressão entre C_{mic} e C_{solo}

O quociente entre o C microbiano (C_{mic}) e o solo (C_{solo}) é usado para relacionar a biomassa microbiana à disponibilidade do CO no solo.

Em ecossistemas temperados, a biomassa microbiana representa 0,27 a 5,0 % do CO no solo cultivados e 1,8 a 2,9 % para solos desmatados (Anderson & Domsch, 1986; Vance et al., 1996). Em ecossistemas tropicais, esses valores variam de 4 % (Luizão, 1992; Henrot & Robertson, 1992).

Em relação ao efeito médio dos tratamentos sobre o CO do solo presente na biomassa microbiana (C_{mic}/C_{solo}) em todo o perfil e para o período considerado de estudo, o CE apresentou valor significativamente maior: $C_{mic}/C_{solo} = 2,12\%$ (Quadro 7). Não houve diferenças significativas entre os outros tratamentos, cujos valores se situaram entre 1,19 % e 1,39 % (PDAV), comparáveis aos valores da literatura.

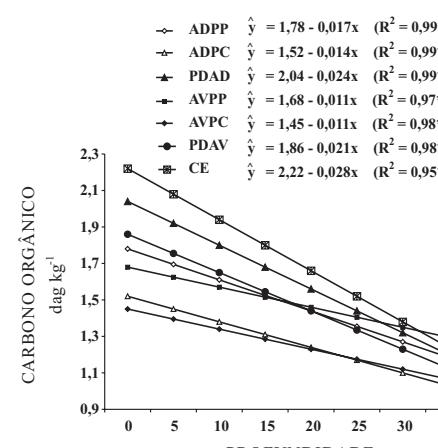


Figura 3. Equações de regressão polinomial ortogonal para carbono orgânico (C_{solo}) em função da profundidade (cm) considerando todo o período de estudo.

DINÂMICA DO CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA EM CINCO ÉPOCAS DO ANO...

No presente estudo (Quadro 7), em todos os sistemas a inclinação foi negativa, com exceção do ADPC, demonstrando decréscimo da relação C_{mic}/C_{solo} com a profundidade, ou seja, diminuição na disponibilidade do CO do solo para a biomassa microbiana em profundidade. No modelo linear não-ortogonal, o ajuste foi significativo nos tratamentos CE, PDAD e PDAV, indicando efeito negativo acentuado de profundidade para a relação C_{mic}/C_{solo} (Quadro 8). Não houve decréscimo significativo da relação C_{mic}/C_{solo} nos tratamentos sob aração com a profundidade.

Os resultados sugerem que os implementos com arados promovem a distribuição homogênea dos

resíduos vegetais e da MO no perfil do solo, consequência do revolvimento, estimulando o metabolismo da biomassa microbiana do solo nas camadas mais profundas. Segundo Heinemeyer (1993), o conteúdo de biomassa microbiana de um solo depende, além do conteúdo de C, de vários fatores, como a qualidade e disponibilidade do CO, que podem sofrer variação estacional e temporal.

Provavelmente, isso tenha ocorrido nos sistemas convencionais estudados, em que houve aumento da quantidade da porção mais humificada disponível da MO em profundidade, com exceção do ADPC. Isso sustentaria a hipótese de Andomsh (1986), de que altos valores para o C orgânico implicam aumento da disponibilidade de substratos disponíveis, enquanto razões menores implicam redução dessa disponibilidade. Lavahum et al. (1992) encontraram decréscimos, em cultivo de cana-de-açúcar, de 2,02 % nos primeiros 10 cm para a camada de 30 a 40 cm, e, em solo sob cultivo de espécies de forragem, de 1,31 % para 0,74 % nos 40 cm.

Considerando todo o período de estudo, a relação linear significativa entre o C da biomassa microbiana (C_{mic}) e o carbono orgânico do solo nos tratamentos: $C_{mic}CE = -235,56 + 3,02x$ ($R^2 = 0,61^{***}$); $C_{mic}PDAD = -104,83 + 1,54x$ ($R^2 = 0,54^{***}$); e $C_{mic}PDAV = -101,980 + 2,53x$ ($R^2 = 0,53^{***}$). Isso indica que altos teores de C do solo podem influenciar positivamente a biomassa microbiana em sistemas conservadores de solo, como o plantio direto e o Cerrado. Guedes (1997) observou que, na mesma área experimental do presente estudo, o sistema plantio direto resultou em mais C do solo que o sistema com arado de discos. Esse autor argumenta que no plantio direto o CO estaria localizado mais próximo à superfície, tornando-o mais disponível da MO do solo e, assim, estaria mais disponível como substrato para a biomassa microbiana.

Quadro 7. Análise de variância dos parâmetros p_0 e p_1 da regressão polinomial ortogonal $\hat{y} = p_0 + p_1x_L + p_2x_Q + p_3x_C$, para a relação C_{mic}/C_{solo} (%) em sete tratamentos, considerando todo o período de estudo

Tratamento	Parâmetro	
	p_0 (***)	p_1 (***)
ADPP ⁽¹⁾	1,29 b ⁽²⁾	- 0,0244 ab
ADPC	1,31 b	0,0007 a
PDAD	1,28 b	- 0,0289 ab
AVPP	1,21 b	- 0,0148 ab
AVPC	1,19 b	- 0,0090 ab
PDAV	1,39 b	- 0,0480 b
CE	2,12 a	- 0,1165 c

⁽¹⁾Ver quadro 3 para descrição dos tratamentos. ⁽²⁾Valores seguidos da mesma letra na mesma coluna não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste t a 5 %. ***: Significativo a 1 % pelo teste F.

Quadro 8. Equações de regressão polinomial não-ortogonal para a relação C_{mic}/C_{solo} (\hat{y} em percentual) em sete tratamentos em função da profundidade, considerando todo o período de estudo

Tratamento	Equação de regressão
ADPP ⁽¹⁾	$\hat{y} = 1,45^{***} - 0,010^{ns}x$ ($R^2 = 0,73$; $F = 4,8^{***}$)
ADPC	$\hat{y} = 1,30^{***} - 0,0003^{ns}x$ ($R^2 = 0,002$; $F = 0,01^{ns}$)
PDAD	$\hat{y} = 1,48^{***} - 0,012^{***}x$ ($R^2 = 0,89$; $F = 31,2^{***}$)
AVPP	$\hat{y} = 1,31^{***} - 0,006^{ns}x$ ($R^2 = 0,38$; $F = 1,48^{ns}$)
AVPC	$\hat{y} = 1,25^{***} - 0,004^{ns}x$ ($R^2 = 0,84$; $F = 1,74^{ns}$)
PDAV	$\hat{y} = 1,72^{***} - 0,019^{***}x$ ($R^2 = 0,93$; $F = 32,15^{***}$)

CONCLUSÕES

1. Considerando todo o período de estudo, os teores de C da biomassa microbiana (C_{mic}) e de CO do solo (C_{solo}) foram menores nas camadas mais profundas em todos os sistemas de manejo e no Cerrado.
2. No solo sob sistema plantio direto os teores de C_{mic} e C_{solo} decresceram das camadas mais superficiais para as mais profundas e de forma mais acentuada do que no solo sob sistemas convencionais.
3. No Cerrado, a biomassa microbiana constituiu-se em maior percentagem do CO total do solo em comparação com a dos sistemas cultivados, que não apresentaram diferenças entre si.

AGRADECIMENTOS

À Embrapa Cerrados, pelas condições logísticas e apoio oferecidos, e à FAPDF (Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal), pelo financiamento parcial deste trabalho.

LITERATURA CITADA

- ADÂMOLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, L.G. & MADEIRA NETTO, J. Caracterização da região dos Cerrados. In: GOEDERT, W.J. Solos dos Cerrados: Tecnologias e estratégias de manejo. Planaltina, Embrapa-CPAC/São Paulo, Nobel, 1986. p.33-74.
- ALVAREZ, C.R.; ALVAREZ, R.; GRIGERA, M.S. & LAVADO, R.S. Associations between organic matter fractions and the active soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 30:767-773, 1997.
- ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. Mineralization of bacteria and fungi in chloroform-fumigated soils. *Soil Biol. Biochem.*, 10:207-213, 1978.
- ANDERSON, T-H. & DOMSCH, K.H. Carbon assimilation and microbial activity in soil. *Z. Pflanzenernährnachr. Bodenkdl.*, 149:457-468, 1986.
- ANGERS, D.A.; PESANT, A. & VIGNEUX, J. Early cropping-induced changes in soil aggregation, organic matter and microbial Biomass. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:115-119, 1992.
- BALOTA, E.L.; ANDRADE, D.S. & COLLOZO-FILHO, A. Avaliações microbiológicas em sistemas de preparo de solo e sucessões de culturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTIO DIRETO, 11., Ponta Grossa, 1996. Resumos expandidos. Ponta Grossa, IAPAR-PR, 1996. p.12-14.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultivo. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:105-112, 1997.
- CARTER, M.R. Microbial biomass as an index of induced changes in soil biological properties. *Soil Biol. Biochem.*, 7:29-40, 1986.
- CATTELAN, A.J. & VIDOR, C. Flutuações na atividade da população microbiana do solo, em variações ambientais. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:13-18, 1990.
- CERRI, C.C.; VOLKOFF, B. & EDUARDO, B.P. Desmatamento sobre a biomassa microbiana e amarelo na amazônia. *R. Bras. Ci. Solo*, 9:1-4, 1985.
- CHENG, W.; ZANGH, Q.; COLEMAN, D.C.; CARPENTER, J.R. & HOFFMAN, C.A. Is available carbon limiting soil respiration in rhizosphere? *Soil Biol. Biochem.*, 21:1281-1288, 1996.
- COLWELL, J.D. Computations for studies of soil fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 42:100-104, 1978.
- CONOVER, W.J. & INAN, R.L. On some exact significance tests based on ranks. In: Statistical designes. *Comm. Statistics. Part A: Theoretical and Applied Statistics*, 5:1349-1368, 1976.
- CORAZZA, E.J.; SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. & GOMES, J. Comportamento de diferentes sistemas de manejo em fonte ou depósito de carbono em relação à variabilidade do solo. In: Cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:425-432, 1999.
- FOLLET, R.F. & SCHIMEL, D.S. Effect of tillage on microbial biomass dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53:1096, 1989.
- GUEDES, H.M. Efeito de diferentes sistemas de manejo na distribuição de classes de agregados e no carbono orgânico em um Latossolo Vermelho-argiloso na região dos Cerrados. Brasília, Universidade de Brasília, 1997. 153p. (Tese de Mestrado)
- GUGGENBERGER, G.; FREY, S.D.; SIX, J.; PAUL, R. & ELLIOTT, E.T. Bacterial and fungal cell-wall polysaccharides in conventional and no-tillage agroecosystems. *Soil Biol. Biochem.*, 31:1188-1198, 1999.
- HENROT, J. & ROBERTSON, G.P. Vegetation management in two soils of the humid tropics: Effect on microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 26:111-116, 1994.
- JENKINSON, D.S. & POWLSON, D.S. The effect of different treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 9:197-199, 1976.

DINÂMICA DO CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA EM CINCO ÉPOCAS DO ANO...

- KIRCHMANN, H. & EKLUND, M. Microbial biomass in a savanna-woodland and an adjacent arable soil profile in Zimbabwe. *Soil Biol. Biochem.*, 26:1281, 1994.
- LAVAHUM, M.F.E.; JOERGENSEN, R.G. & MEYER, B. Activity and biomass of soil microorganisms at different depths. *Biol. Fert. Soils*, 23:38-42, 1996.
- LUIZÃO, R.C.C.; BONDE, T.A. & ROSSWALL, T. Seasonal variation of soil microbial biomass – The effects of clearfelling a tropical rainforest and establishment of pasture in the central Amazon. *Soil Biol. Biochem.*, 24:805-813, 1992.
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2002. 625p.
- OADES, J.M. & JENKINSON, D.S. Adenoside-triphosphate content of the soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 11:201-204, 1979.
- RENZ, T.E.; NEUFELDT, H.; AYARSA, M.A.; RESCK, D.V.S. & ZECK, W. Microbial biomass, microbial activity, and carbon pools under different land-use systems in the Brazilian Cerrados. In: THOMAS, R. & AYARSA, M.A. *Dinamics of soil organic matter and indicators of soil quality: Sustainable land manager for the Oxisols of the Latin America Savanas*. Cali, CIAT, 1999. p.187-197.
- RESCK, D.V.S. Agricultural intensification systems and their impact on soil and water quality in the Cerrados of Brazil. In: LAL, R. *Soil quality and agricultural sustainability*. Michigan, Ann Arbor Press, 1998. p.288-300.
- RESCK, D.V.S. Manejo de solos e sustentabilidade dos sistemas agroflorestais na região dos Cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 8.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL SAVANNAS, 1., Brasília, 1996. *Biodiversidade e produção sustentável de alimentos e fibras nos Cerrados: Anais / Biodiversity and sustainable production of food and fibers in the tropical savannas: Proceedings*. Planaltina, Embrapa-CPAC, 1996. p. 81-89.
- RESCK, D.V.S. O plantio direto como alternativa de sistema de manejo e conservação do solo e da água na região dos Cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. *Anais*. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. CD-ROM.
- RESCK, D.V.S.; PEREIRA, J. & SILVA, J.E. Densidade matéria orgânica na região dos Cerrados. Embrapa-CPAC, 1991. 22p. (Embrapa Documentos, 36)
- RESCK, D.V.S. & SILVA, J.E. Efeito de diferentes tipos de preparo do solo no teor e na meia-vida da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho-Escuro da região dos Cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. Resumos, MG, 1995. p.1837-1839.
- REZENDE, L.A.; ASSIS, L.C. & NAHAS, E. Carbon and phosphorous mineralization in two soils with distillery yeast. *Biores. Technol.*, 94:159-163.
- ROSA, M.E.C.; OLSZEVSKI, N. & MENDONÇA, E. Densidade de carbono em Latossolo Vermelho Eutrófico com plantio direto no sistema biogeográfico do Cerrado. *Bras. Ci. Solo*, 27:911-923, 2003.
- SAS INSTITUTE. *SAS/STAT: User's guide, version 6*. Cary, 1989. v.1. 943p.
- SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to organic carbon as a sensitive indicator of changes in organic matter. *Aust. J. Soil. Res.*, 30:195-200.
- van GESTEL, M.; LADD, J.N. & AMATO, M. Microbial responses to seasonal change and imposed dryness at increasing depths of undisturbed topsoil profiles. *Soil Biol. Biochem.*, 24:103-111, 1992.
- VANCE, E.D.; BROOKES, P.C. & JENKINSON, D.S. A colorimetric extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.*, 19:703-707, 1987.
- VARGAS, L.K. & SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um Latossolo Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:35-42, 2000.
- WALKLEY, A. & BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic titration. *Soil Sci.*, 37:29-38, 1934.