

ATRIBUTOS BIOLÓGICOS INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJO NA REGIÃO DO CERRADO NO SUL DO ESTADO DE GOIÁS⁽¹⁾

A. F. D'ANDRÉA⁽²⁾, M. L. N. SILVA⁽³⁾, N. CURI⁽⁴⁾,
J. O. SIQUEIRA⁽⁴⁾ & M. A. C. CARNEIRO⁽⁵⁾

RESUMO

O estudo da quantidade e da atividade da biomassa microbiana pode fornecer subsídios importantes para o planejamento do uso correto da terra, considerando a natureza dinâmica dos microrganismos do solo. Este trabalho objetivou verificar alterações em atributos biológicos indicadores da qualidade do solo na adoção de sistemas de manejo em áreas originalmente sob cerrado nativo, e selecionar os atributos com melhor desempenho em indicar tais alterações. Amostras de solo foram coletadas em três profundidades (0-10, 10-20 e 20-40 cm) em Latossolo Vermelho distrófico típico textura argilosa no município de Morrinhos (GO). Foram selecionadas cinco propriedades agrícolas, baseadas na sua representatividade para a região com relação ao histórico de uso e às características dos sistemas de manejo adotados. Estes consistiram de: cerrado nativo, pastagem, plantio direto, plantio direto com histórico de gradagem superficial, plantio convencional de longa duração e plantio convencional recente após pastagem. O cerrado nativo foi tomado como referência, uma vez que todos os sistemas foram instalados em área originalmente de cerrado. Foram avaliados: carbono da biomassa microbiana (Cmic), respiração basal, quociente metabólico (qCO_2) e relação Cmic/CO. Em adição, foram avaliados o carbono orgânico total (CO) e alguns atributos de fertilidade do solo. A adoção dos sistemas agrícolas e da pastagem reduziu os teores de Cmic na camada superficial, em relação ao cerrado nativo. Excetuando o sítio sob cerrado, o maior valor de Cmic foi observado na pastagem e o menor no plantio convencional de longa duração.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras – UFLA. Trabalho apresentado no XXVIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Londrina (PR), 1 a 6 de julho de 2001. Recebido para publicação em junho de 2001 e aprovado em agosto de 2002.

⁽²⁾ Professor do Centro Federal de Educação Tecnológica – CEFET de Urutai. Fazenda Palmital, Km 2,5, CEP 75790-000 Urutai (GO). E-mail: dandrea@ufla.br

⁽³⁾ Professor Adjunto do Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras – UFLA. Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras (MG). Bolsista do CNPq. E-mail: marx@ufla.br

⁽⁴⁾ Professor Titular do Departamento de Ciência do Solo, UFLA. Bolsista do CNPq. E-mails: niltcuri@ufla.br; siqueira@ufla.br

⁽⁵⁾ Professor Adjunto do Centro de Ciências Agrárias e Biológicas, Campus Avançado de Jataí, Universidade Federal de Goiás – UFG. Br 364 Km 192, CEP 75800-000 Jataí (GO). E-mail: mcarbone@jatai.ufg.br

Não foram observadas diferenças significativas entre os sistemas de manejo para respiração basal e qCO_2 . O Cmic indicou alterações significativas na instalação de sistemas de manejo em relação ao cerrado nativo e, embora tenha apontado diferenças apenas entre dois dos cinco sistemas cultivados, foi indicativo de maior equilíbrio da microbiota do solo no cerrado.

Termos de indexação: sustentabilidade, plantio convencional, plantio direto, matéria orgânica.

SUMMARY: BIOLOGICAL INDICATOR ATTRIBUTES OF SOIL QUALITY UNDER MANAGEMENT SYSTEMS IN THE CERRADO REGION OF THE SOUTHERN GOIÁS STATE, BRAZIL

Due to the dynamic nature of soil microorganisms, the study of microbial biomass quantity and activity can furnish important information for the planning of adequate land use. The objective of this work was to verify alterations in biological attributes of soil quality indicators after the adoption of management systems in originally native cerrado areas, and to select the attributes with the best performance of indicating such alterations. Soil samples were collected at three depths (0-10, 10-20, and 20-40 cm) in a clayey texture, typical Dysotrophic Red Latosol (Oxisol) in Morrinhos county, Goiás State. Five farms were chosen, based on their representativeness for the region in relation to their history of use and the characteristics of the adopted management systems. These systems included: native cerrado, pasture, no-till, no-till with a history of superficial harrowing, long-term conventional tillage, and recent conventional tillage following pasture. The native cerrado was considered reference, once all test areas had originally been covered by this vegetation type. The following attributes were evaluated: carbon of microbial biomass (Cmic), basal respiration, metabolic quotient (qCO_2) and Cmic/OC ratio. In addition, the total organic carbon (OC) and some soil fertility attributes were evaluated. The introduction of agricultural systems and pasture reduced the Cmic amounts in the surface layer in comparison to the native cerrado. Without considering the site under cerrado, the highest Cmic value was observed in the pasture and the lowest one in the long-term conventional tillage soil. No significant differences in basal respiration and qCO_2 values were observed among the management systems. The Cmic indicated significant alterations caused by the implantation of management systems in relation to the native cerrado. Though it had revealed differences only between two of the five cultivated systems, the Cmic was an indicator for a higher microbiota equilibrium in the soil under cerrado.

Index terms: sustainability, conventional tillage, no-till, soil organic matter.

INTRODUÇÃO

Os conceitos de qualidade do solo mais difundidos são aqueles que ressaltam o seu aspecto funcional, como proposto por Doran & Parkin (1994), que consideraram a qualidade do solo a capacidade deste de funcionar dentro dos limites do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde de plantas e animais. Esta abordagem leva em consideração não apenas o papel do solo na produção agrícola, mas também a sua participação em funções específicas no ecossistema, das quais depende a sustentabilidade em longo prazo. A restauração da qualidade do solo após a ocorrência de processos de degradação relaciona-se diretamente com o restabelecimento dessas funções (Kimpe & Warkentin, 1998).

No Brasil Central, grande parte da vegetação original do cerrado foi substituída por pastagens e culturas anuais (Carvalho Filho et al., 1998). Na passagem de sistemas naturais para agrícolas, muitos atributos do solo são alterados, alguns dos quais, por estarem relacionados com processos do ecossistema e serem sensíveis a variações no uso e manejo do solo, indicam alterações na sua qualidade (Doran & Parkin, 1996). De maneira geral, é possível obter informações bastante detalhadas sobre propriedades químicas e físicas do solo, enquanto o aspecto biológico é pouco conhecido. Nesse contexto, as populações de organismos do solo revelam natureza dinâmica e são facilmente afetadas por distúrbios físicos, causados pelo cultivo, ou químicos, resultantes da aplicação de fertilizantes e pesticidas (Kimpe & Warkentin, 1998).

A biomassa microbiana, que representa a parte viva da matéria orgânica do solo, contém, em média, de 2 a 5 % do carbono orgânico, de 1 a 5 % do nitrogênio orgânico e de 2 a 20 % do fósforo orgânico nos solos tropicais (Smith & Paul, 1990). Ela é composta por bactérias, fungos e representantes da microfauna, que participam de importantes funções do solo, como a ciclagem de nutrientes e energia, regulando as transformações da matéria orgânica (Turco et al., 1994).

Além de sua função catalisadora das transformações bioquímicas do solo, a biomassa microbiana representa um compartimento lábil de muitos nutrientes, que são reciclados rapidamente, com tempo de residência em torno de três meses (Duxbury et al., 1989). O carbono contido na biomassa microbiana é o destino inicial do carbono em transformação no solo e funciona como energia armazenada para processos microbianos e, por apresentar respostas rápidas a alterações no solo, pode ser utilizado como identificador precoce de alterações na matéria orgânica (Rice et al., 1996) e, assim, indicar a qualidade do solo (Dick et al., 1996).

A relação entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico do solo reflete processos importantes relacionados com adições e transformações da matéria orgânica, assim como a eficiência de conversão do carbono desta em carbono microbiano (Sparling, 1992). A atividade heterotrófica da biomassa pode ser avaliada pela liberação de $C-CO_2$ em amostras coletadas no campo, sendo a quantidade de carbono liberado indicativo do carbono lábil ou prontamente metabolizável do solo (Doran & Parkin, 1996).

A interpretação dos resultados da atividade biológica deve ser feita com critério, uma vez que elevados valores de respiração nem sempre indicam condições desejáveis: uma alta taxa de respiração pode significar, em curto prazo, liberação de nutrientes para as plantas e, em longo prazo, perda de carbono orgânico do solo para a atmosfera (Parkin et al., 1996). Anderson & Domsch (1993) propuseram a determinação do quociente metabólico, qCO_2 (relação entre a quantidade de CO_2 produzido por unidade de C da biomassa microbiana e por unidade de tempo), como componente relevante na avaliação dos efeitos ambientais e antropogênicos sobre a atividade microbiana no solo. De fato, trabalhando em solos sob floresta, Gama-Rodrigues et al. (1997) verificaram que o qCO_2 foi um indicador sensível para estimar o potencial de decomposição da matéria orgânica.

Atualmente, considerando a importância dos atributos biológicos para os processos que ocorrem no solo, verifica-se que estudos a respeito da quantidade e atividade da biomassa microbiana podem fornecer subsídios para o planejamento do uso correto da terra.

O presente trabalho teve por objetivo verificar alterações em atributos biológicos em decorrência

da adoção de sistemas de manejo distintos em áreas originalmente sob cerrado nativo, a fim de selecionar os atributos sensíveis capazes de indicar tais modificações no ecossistema, em Latossolo Vermelho distrófico típico da região sul do estado de Goiás.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado a partir de amostras de solo coletadas no município de Morrinhos, no sul do estado de Goiás, situado na unidade geomorfológica do Planalto Central Goiano, subunidade Planalto Rebaixado de Goiânia. O solo foi desenvolvido a partir de cobertura detrito-laterítica Pleistocênica sobre micaxistos do grupo Araxá do Proterozóico Inferior (Projeto RadamBrasil, 1983). O clima da região recebe a classificação Aw (tropical estacional de savana) no sistema de Köppen, com inverno seco e verão quente, e temperatura do mês mais frio superior a 18 °C. A precipitação média da região é de 1.380 mm, com período chuvoso de outubro a abril e período seco de maio a setembro, estando 80 % das chuvas concentradas entre dezembro e março (Freitas & Blancaneaux, 1998).

Foram selecionadas cinco propriedades agrícolas para as amostragens (uma para cada sistema de manejo), escolhidas com base na sua representatividade para a região em estudo, no que se refere ao histórico de uso da terra e às características dos sistemas de manejo adotados. Estudos anteriores realizados na microbacia piloto do estado de Goiás em Morrinhos revelaram que a maior parte dos estabelecimentos agrícolas encontra-se sob pastagens ou culturas anuais, principalmente com milho, soja e arroz, o que reflete a condição existente, em geral, para a região dos cerrados (Carvalho Filho et al., 1998; Teixeira et al., 1998).

Assim, no presente estudo, foram escolhidas duas situações de plantio direto, duas de plantio convencional e uma pastagem, no município de Morrinhos. Em adição, foi selecionada uma área sob vegetação de cerrado nativo, empregada como referência por se tratar de um sistema em equilíbrio e sem histórico de intervenção humana (Quadro 1). Em todos os locais em que foram coletadas as amostras, o solo pertence à unidade Latossolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 1999).

As amostragens foram efetuadas em fevereiro de 2000, em três profundidades (0-10, 10-20 e 20-40 cm). Para cada profundidade, em determinado sistema de manejo, foram retiradas três amostras compostas, cada uma constituindo uma repetição, não caracterizando repetição espacial, no sentido estrito de áreas distintas e casualizadas. Por ocasião da amostragem nas áreas agrícolas cultivadas, o sistema convencional de longa duração (PC1) estava

Quadro 1. Características dos sistemas de manejo estudados em Latossolo Vermelho distrófico típico do sul de Goiás

Sistema	Símbolo	Histórico de uso
Cerrado nativo	CER	Vegetação típica de cerrado 'stricto sensu', sem histórico de interferência humana em uso agrícola.
Pastagem	PAS	Pastagem plantada de <i>Brachiaria decumbens</i> de longo uso, sob pastejo contínuo de gado bovino em regime extensivo e sem manejo de fertilidade nos últimos 10 anos.
Plantio direto irrigado	PD1	Plantio direto sob pivô central, desde o ano agrícola 1995/96, com cultivo principal de milho para semente sucedido por feijão na época seca. Em 1998, foi subsolado a 15 cm de profundidade para incorporação de termofosfato.
Plantio direto irrigado	PD2	Plantio direto sob pivô central, desde o ano agrícola 1995/96, com cultivo de milho, feijão e arroz e uma safra de tomate industrial em 1998, na qual foi efetuada uma gradagem superficial a 10 cm de profundidade.
Plantio convencional irrigado	PC1	Plantio convencional de longa duração com uso de grade pesada, sob pivô central desde o ano agrícola 1998/99, com cultivo de milho após mais de 15 anos de rotação soja/milho na condição de sequeiro.
Plantio convencional irrigado	PC2	Plantio convencional recente sob pivô central e uso de grade pesada, desde o ano agrícola 1998/99, com histórico de rotação de culturas com abóbora/feijão/milho-doce, após mais de 10 anos sob pastagem de <i>Brachiaria decumbens</i> .

na fase final do ciclo da cultura, enquanto os demais encontravam-se em fase posterior à colheita. As amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos, protegidas da luz e mantidas em caixas térmicas, sendo transportadas para o laboratório no prazo máximo de 48 horas após a coleta. As amostras foram peneiradas (2 mm) e a umidade ajustada para 50 a 60 % da capacidade de campo, sendo acondicionadas em sacos plásticos com suspiros e mantidas sob refrigeração (4 °C) até à realização das análises de biomassa e respiração. Antes desse procedimento, foram retiradas subamostras para as análises químicas e físicas.

A análise granulométrica foi efetuada pelo método da pipeta (Day, 1965), após dispersão da amostra com NaOH 1 mol L⁻¹ e agitação rápida (6.000 rpm) por 15 minutos. Em todos os sistemas de manejo estudados, a composição granulométrica remeteu o solo à classe textural argilosa (Quadro 2). O pH em água, os componentes do complexo sortivo e o fósforo disponível foram determinados segundo Vettori (1969) e EMBRAPA (1997), enquanto o carbono orgânico total foi determinado por oxidação a quente com dicromato de potássio e titulação com sulfato ferroso amoniacal (Walkley & Black, 1934).

O carbono da biomassa microbiana foi avaliado pelo método da fumigação-extração (Vance et al., 1987), sendo determinado após o ataque das amostras com clorofórmio, que provoca morte dos

microrganismos e liberação dos componentes celulares. O carbono de 25 g de solo de amostras fumigadas e não fumigadas foi extraído com K₂SO₄ 0,5 mol L⁻¹ e a uma alíquota desse extrato foram adicionados K₂Cr₂O₇ 0,0667 mol L⁻¹ e H₂SO₄/H₃PO₄ (1:2), com aquecimento. A titulação foi feita com solução de sulfato ferroso amoniacal 0,0333 mol L⁻¹. O carbono da biomassa microbiana foi calculado a partir da seguinte expressão:

$$C_{mic} = (F - NF) / K_{ec}$$

sendo C_{mic}: carbono da biomassa microbiana (µg g⁻¹);

F: µg g⁻¹ de carbono da amostra fumigada;

NF: µg g⁻¹ de carbono da amostra não fumigada;

K_{ec}: fator para converter o carbono extraído a C_{mic} (foi usado 0,30, o valor mais freqüente encontrado por Feigl et al., 1995).

O quociente microbiano, ou relação C_{mic}/CO, foi calculado de acordo com Sparling (1992), pela expressão:

$$C_{mic}/CO = (C_{mic}) / (CO) / 10$$

sendo C_{mic}/CO: quociente microbiano (%);

C_{mic}: carbono da biomassa microbiana (µg g⁻¹);

CO: carbono orgânico total (g kg⁻¹).

Quadro 2. Caracterização de um Latossolo Vermelho distrófico típico, para seis diferentes situações de manejo do solo

Sistema	pH	P	K	Ca	Mg	H + Al	Al	S	T	V	CO	Argila
		— mg kg ⁻¹ —		cmol _c dm ⁻³						%	— g kg ⁻¹ —	
		0-10 cm										
CER	4,8	1	64	0,7	0,7	6,3	0,7	1,6	7,9	20	18	335
PAS	5,0	1	44	0,8	0,6	7,9	0,4	1,5	9,4	16	19	433
PD1	5,5	82	292	3,4	1,7	5,0	0,0	5,8	10,8	54	19	443
PD2	5,8	13	69	1,8	0,5	4,5	0,0	2,5	7,0	36	19	363
PC1	5,4	26	97	2,4	1,2	4,5	0,0	3,8	8,3	46	14	331
PC2	5,6	2	73	1,5	1,0	3,6	0,0	2,7	6,3	43	16	325
		10-20 cm										
CER	5,1	1	41	0,7	0,2	5,6	0,7	1,0	6,6	15	12	391
PAS	5,3	1	30	0,7	0,2	7,0	0,4	1,0	8,0	12	15	397
PD1	5,8	3	128	2,3	0,9	3,2	0,0	1,1	6,7	52	13	407
PD2	5,6	6	51	1,6	1,1	4,0	0,0	2,8	6,8	41	14	340
PC1	5,5	1	34	1,1	1,0	4,0	0,0	2,2	6,2	18	13	402
PC2	5,7	1	34	1,0	0,5	2,6	0,0	1,6	4,2	38	12	356
		20-40 cm										
CER	5,5	1	47	0,7	0,2	4,0	0,3	1,0	5,0	20	8	440
PAS	5,4	1	17	0,6	0,2	5,6	0,2	0,8	6,4	13	12	391
PD1	5,6	1	61	1,6	0,8	2,9	0,0	2,6	5,5	47	8	440
PD2	5,6	2	37	1,3	1,0	3,6	0,0	2,4	6,0	40	11	428
PC1	5,5	1	20	0,8	0,6	4,0	0,0	1,5	5,5	27	10	410
PC2	5,9	1	11	1,0	0,4	2,1	0,0	1,4	3,5	41	9	355

CER: cerrado nativo; PAS: pastagem; PD1: plantio direto; PD2: plantio direto com histórico de gradagem superficial; PC1: plantio convencional de longa duração; PC2: plantio convencional recente após pastagem. S: soma de bases; T: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases; CO: carbono orgânico total.

A taxa de respiração basal foi estimada pelo CO₂ liberado a partir de 20 g de solo durante incubação por 72 h. O CO₂ foi capturado por solução de NaOH 0,05 mol L⁻¹ e determinado por titulação com HCl 0,05 mol L⁻¹ (Isermeyer, 1952 citado por Alef & Nannipieri, 1995). O quociente metabólico (*q*CO₂) foi calculado pela razão entre a taxa de respiração basal e o carbono da biomassa microbiana (Anderson & Domsch, 1993), sendo expresso em µg CO₂ µg Cmic⁻¹ dia⁻¹.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com estrutura em faixas de acordo com as profundidades de amostragem. Para verificar os pressupostos da análise de variância (aditividade do modelo e normalidade de distribuição dos erros), foram utilizados os procedimentos “Univariate” e “General Linear Models” do pacote estatístico SAS (SAS, 1985). Os resultados foram submetidos à análise de variância para verificação dos efeitos dos sistemas de manejo, da profundidade e da interação sistema x profundidade. Os valores de carbono orgânico total, respiração basal e quociente metabólico (*q*CO₂) foram transformados com o uso da função $y = \log x$ (logaritmo base 10) para as análises de variância. As comparações múltiplas de médias foram feitas pelo teste de Tukey a 5 %, utilizando o programa SISVAR (Ferreira, 2000). Após esse procedimento,

os valores desses atributos foram novamente transformados com o uso da função $y = 10^x$ para apresentação dos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Carbono da biomassa microbiana

O carbono da biomassa microbiana (Cmic) variou nas diferentes condições estudadas e também em profundidade (Figura 1). Diferenças significativas entre os sistemas de manejo foram observadas apenas na camada superficial, onde são mais intensos os processos de transformação da matéria orgânica pelos microrganismos do solo. Nessa profundidade, o cerrado nativo (CER) apresentou um teor elevado de Cmic (cerca de 1.310 µg g⁻¹), significativamente maior do que os valores obtidos para os demais sistemas. Dentre estes, o carbono da biomassa microbiana na pastagem de braquiária (PAS) foi de 666,2 µg g⁻¹ e superou o valor relativo ao sistema convencional PC1, que foi de 213,4 µg g⁻¹.

Tomando o sistema sob vegetação de cerrado nativo como referência, observou-se uma redução nos valores de Cmic da ordem de 49 %, para o sistema pastagem, e de 73 %, para a média dos sistemas com

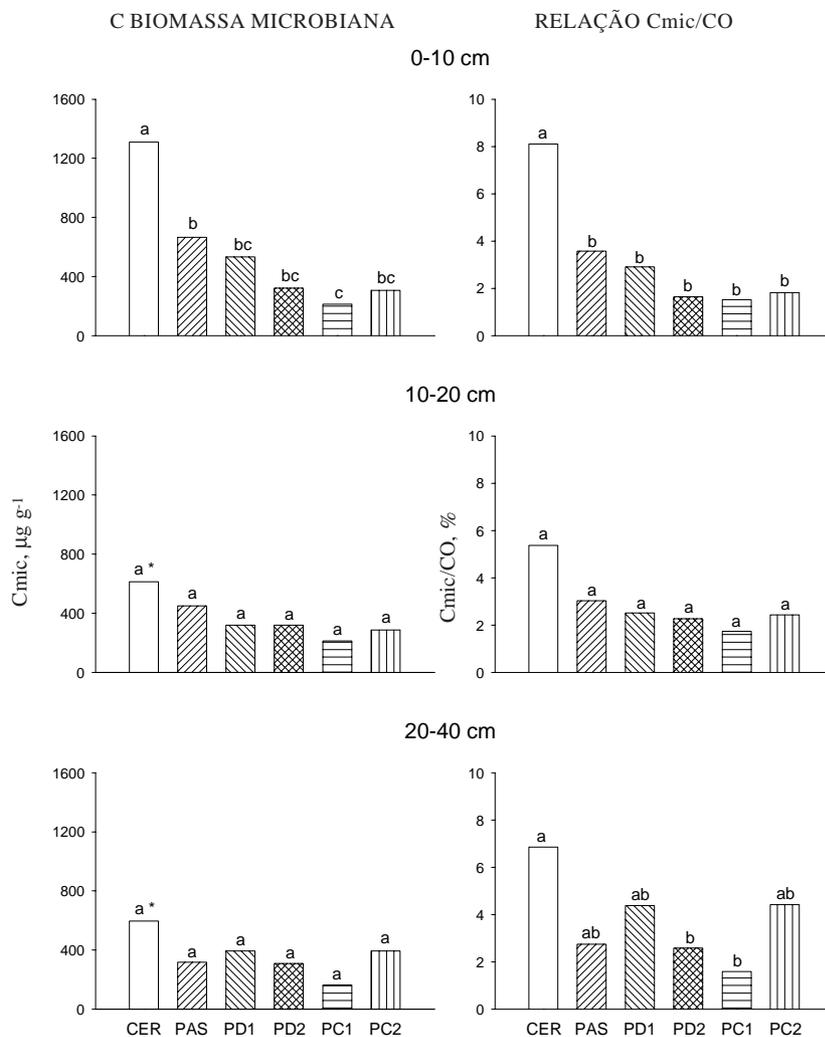


Figura 1. Carbono da biomassa microbiana (Cmic) e relação Cmic/carbono orgânico total (Cmic/CO), para seis sistemas de manejo e três profundidades. Para ambos os atributos, dentro de cada profundidade, médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey, a 5 %. CER: cerrado nativo; PAS: pastagem; PD1: plantio direto; PD2: plantio direto com histórico de gradagem superficial; PC1: plantio convencional de longa duração; PC2: plantio convencional recente após pastagem. * significativamente menor que na profundidade de 0-10 cm.

culturas anuais (sítios sob plantio direto e convencional). Apesar de não terem sido observadas diferenças significativas, o teor de Cmic na profundidade de 10-20 cm seguiu a mesma tendência da camada superficial. O mesmo padrão, não foi observado na camada mais profunda do solo (20-40 cm) (Figura 1).

Resultados semelhantes aos deste trabalho foram reportados por Mendes et al. (1999), em Latossolo Vermelho-Amarelo dos cerrados, com teores mais elevados de Cmic no solo sob vegetação nativa do que em sistemas cultivados, o mesmo ocorrendo nos estudos de Venzke Filho (1999), em Latossolo Vermelho-Escuro no Paraná. Valores de Cmic mais baixos no sistema pastagem (PAS) em relação ao cerrado nativo (CER) seguem a tendência dos

resultados obtidos por Fernandes (1999) em solos da Amazônia. O autor verificou que, após a retirada da vegetação nativa e estabelecimento da pastagem, houve aumento nos teores de Cmic durante os cinco primeiros anos, mantendo-se num patamar de estabilidade até 20 anos após a alteração da condição inicial. A partir deste período, esse autor observou reduções no Cmic, decorrentes das condições de degradação da pastagem adotada. Estudos de Marchiori Júnior & Melo (1999) mostraram maiores teores de Cmic em solo sob pastagens do que sob culturas anuais, do mesmo modo que o observado no presente trabalho entre os sistemas PAS e PC1.

O valor de biomassa microbiana mais elevado no cerrado nativo é reflexo de uma situação bastante particular para a microbiota do solo nesse sistema,

que é estimulada pelo fornecimento contínuo de materiais orgânicos com diferentes graus de susceptibilidade à decomposição, originados da vegetação. A diversidade das espécies vegetais do cerrado nativo, notadamente maior do que a dos demais sistemas de manejo avaliados, implica a deposição de substratos orgânicos oxidáveis com composição variada na serapilheira. Além disso, existe maior diversidade de compostos orgânicos depositados na rizosfera, o que constitui fator favorável à sobrevivência e crescimento dos diferentes grupos de microrganismos do solo. Neste sentido, a abundância de microrganismos decompositores pode contribuir para estimular também a microfauna saprófita e predadora destes, que é constituída por protozoários, nematóides e microartrópodos. Assim, as condições distintas do solo sob vegetação de cerrado nativo, juntamente com a ausência de perturbações decorrentes de atividade antrópica, tornam possível a existência de maiores teores de biomassa microbiana, indicando o maior equilíbrio da microbiota do solo nesse ecossistema.

No sistema pastagem (PAS), o carbono da biomassa microbiana não foi tão alto como no cerrado nativo, mas superou a média dos sistemas com culturas anuais e foi significativamente maior do que o sistema PC1 (Figura 1). Apesar da baixa diversidade de cobertura vegetal existente no sistema PAS (seu histórico de uso indica uma condição de pastagem plantada de *Brachiaria decumbens* de longa duração – Quadro 1), a biomassa microbiana foi, provavelmente, estimulada em decorrência do elevado efeito rizosférico da gramínea, amplamente documentado na literatura (Rovira, 1978; Alexander, 1980; Reid & Goss, 1980), com a liberação de substâncias orgânicas diversas (exsudatos, mucilagens, secreções) por um sistema radicular denso e de constante renovação, com maior disponibilidade de nutrientes para a microbiota do solo no ambiente rizosférico.

Com relação ao plantio convencional PC1, os resultados indicam que as características desse sistema de manejo (alto revolvimento e apenas duas espécies de culturas anuais por mais de 15 anos de cultivo) contribuem para reduzir a quantidade e, possivelmente, a diversidade dos microrganismos, com grande impacto na microbiota do solo. Acredita-se que as adições de carbono oxidável nesse sistema não estejam sendo suficientes para atender à demanda para a manutenção da biomassa existente, o que leva ao decréscimo acentuado observado nos valores de Cmic.

No presente estudo, não houve diferenças significativas nos teores de carbono da biomassa microbiana presentes no solo sob pastagem (PAS) e sob três sistemas com culturas anuais (PD1, PD2 e PC2), ao contrário do reportado para o PC1. É possível que se encontre uma explicação para esse fato ao considerar as diferenças no tempo de adoção

dos diversos sistemas estudados. Verifica-se que, dos quatro sistemas com culturas anuais, apenas o PC1 apresenta longo tempo de implantação (Quadro 1), sugerindo que ainda estejam ocorrendo alterações na biomassa microbiana dos sistemas recentes, as quais devem estender-se até que um novo nível de equilíbrio seja atingido.

Nesse sentido, comparando sistemas agrícolas, Balota et al. (1998) verificaram um aumento nos teores de Cmic no plantio direto em relação a sistemas convencionais, em experimento com 16 anos de duração, do mesmo modo que Carvalho (1997), em experimento de sete anos no Sul do Brasil. Todavia, Mendes et al. (1999) não observaram diferenças significativas no Cmic, em solos da região dos Cerrados, entre um sistema de plantio direto com dois anos de implantação e um convencional.

Estes resultados estão de acordo com os obtidos no presente estudo, uma vez que são recentes (quatro a cinco anos) os sistemas de plantio direto avaliados neste trabalho. Para Vasconcellos et al. (1999), a biomassa microbiana imobiliza mais carbono quando resíduos vegetais são deixados na superfície. Com isso, é possível esperar que, com o decorrer do tempo de cultivo, os sítios sob plantio direto apresentem aumento nos valores de Cmic, principalmente na camada de 0-10 cm, onde a média deste atributo nos dois sistemas de plantio direto ($428,5 \mu\text{g g}^{-1}$) superou a média dos convencionais ($260,6 \mu\text{g g}^{-1}$), ainda que a diferença entre os sistemas não tenha sido significativa.

O efeito da profundidade sobre o Cmic foi significativo apenas no cerrado nativo (CER), no qual maiores valores de Cmic foram encontrados na camada de 0-10 cm em relação às subjacentes (Figura 1 e análise de variância). Nos demais sistemas, o Cmic apresentou valores relativamente constantes ao longo do perfil, não havendo variação significativa desse atributo em profundidade.

Relação Cmic/CO

A distribuição do quociente microbiano (relação Cmic/CO) seguiu a mesma tendência apresentada pelos resultados de carbono da biomassa microbiana, principalmente na camada superficial do solo (Figura 1). A contribuição do carbono da biomassa microbiana para o carbono orgânico total do solo variou, na camada de 0-10 cm, de 1,52 a 8,10 %. O maior valor, referente ao cerrado, destacou-se daqueles calculados para todos os demais sistemas (Figura 1).

Em trabalho desenvolvido na Nova Zelândia, Sparling (1992) observou uma relação Cmic/CO maior em pastagens, quando comparadas com florestas nativas ou exóticas. No Brasil, em experimento realizado por Geraldtes et al. (1995), na Amazônia, a relação Cmic/CO foi mais elevada em pastagem de quatro anos do que na mata natural. No

entanto, com o aumento do tempo de estabelecimento da pastagem, os autores observaram um decréscimo na relação, indicando redução da participação do carbono da biomassa microbiana em relação ao carbono orgânico total. Nesse experimento, o solo sob pastagem por 15 anos apresentou valores de C_{mic}/CO menores do que aqueles sob floresta, o que foi atribuído a modificações causadas pelo pisoteio dos animais.

No presente trabalho, a tendência apresentada por Geraldtes et al. (1995) para as florestas amazônicas também foi observada, uma vez que os valores de C_{mic}/CO calculados no sistema pastagem foram significativamente menores do que no cerrado nativo (Figura 1).

Com relação aos sistemas agrícolas, não se observou uma distribuição diferenciada da relação C_{mic}/CO entre os dois sistemas de plantio (direto e convencional), o que vai de encontro aos resultados reportados por Balota et al. (1998), que verificaram valores de C_{mic}/CO mais elevados no plantio direto do que em sistema convencional.

Entretanto, segundo Sparling (1992), a razão C_{mic}/CO é influenciada por diversos fatores, como o grau de estabilização do carbono orgânico e o histórico de manejo do solo, alertando que, para se saber o quanto a razão C_{mic}/CO está em equilíbrio ou se encontra ainda em fase de degradação ou recuperação, é necessário estabelecer um valor base para cada situação particular, sendo aparentemente pouco extrapoláveis para condições distintas tais valores de referência. O autor observou que a recuperação dos teores de carbono da biomassa microbiana após o reestabelecimento de pastagens em área de cultivos anuais foi rápida e que, em razão dos baixos teores de CO nos solos sob cultivo, a relação C_{mic}/CO atingiu os níveis da pastagem permanente após apenas dois ou três anos. Por esse motivo, a proporção de carbono da biomassa microbiana em relação ao carbono orgânico do solo não pode ser considerada um indicador da recuperação do estado da matéria orgânica nos solos cultivados, caso seja analisada isoladamente.

Respiração basal e quociente metabólico (qCO_2)

Não foram verificadas diferenças significativas nos valores da respiração basal entre os vários sistemas de manejo, o mesmo ocorrendo com o qCO_2 (Quadro 3). No entanto, para esse atributo, houve efeito de profundidade, e os valores médios da camada de 20-40 cm superaram os da camada superficial do solo.

A influência do pH do solo sobre o quociente metabólico foi estudada por Anderson & Domsch (1993), em experimento envolvendo diversos sítios florestais. Os autores verificaram que, na camada superficial, valores baixos de pH reduziram a biomassa microbiana e a produção de $C-CO_2$ em

Quadro 3. Respiração basal e quociente metabólico (qCO_2) em Latossolo Vermelho distrófico típico, para seis sistemas de manejo

Sistema	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-40
Respiração basal, $\mu g CO_2 g^{-1} h^{-1}$			
CER	19,41	24,78	25,64
PAS	17,97	10,89	20,87
PD1	12,83	11,89	17,96
PD2	21,20	26,55	22,35
PC1	18,25	19,73	27,74
PC2	17,99	35,06	44,26
Média	17,94 a	21,48 a	26,47 a
qCO_2 , $\mu g CO_2 \mu g C_{mic}^{-1} dia^{-1}$			
CER	0,36	1,06	1,09
PAS	0,72	0,59	1,62
PD1	0,58	0,91	1,23
PD2	1,76	2,13	1,88
PC1	2,14	2,31	4,81
PC2	1,48	2,97	3,22
Média	1,17 b	1,66 ab	2,31 a

CER: cerrado nativo; PAS: pastagem; PD1: plantio direto; PD2: plantio direto com histórico de gradagem superficial; PC1: plantio convencional de longa duração; PC2: plantio convencional recente após pastagem. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 %.

relação à faixa neutra de pH. No entanto, os valores de qCO_2 foram maiores sob condição ácida, indicando aos autores uma maior liberação de $C-CO_2$ por unidade de C_{mic} .

No presente estudo, apesar de terem sido verificadas diferenças no pH do solo na camada superficial (Quadro 2 e análise de variância), não foram detectadas alterações na respiração do solo ou no quociente metabólico que refletissem essa condição. Pelo contrário, os sistemas com maior pH tenderam a apresentar os maiores valores de qCO_2 , ainda que a diferença não tenha sido significativa. Deve-se considerar, no entanto, que a condição ácida reportada por Anderson & Domsch (1993) refere-se a uma faixa muito menor de pH (pH_{KCl} variando em torno de 2,7 a 3,2) e que as condições de clima temperado são bastante dissimilares às dos trópicos.

No que se refere a sistemas agrícolas, Doran (1980) relatou que, em condições de pouco revolvimento do solo, como no plantio direto, existem melhores condições para o desenvolvimento das populações microbianas do que nos sistemas convencionais, na camada superficial. No caso dos sistemas convencionais, o revolvimento sistemático do solo contribui para provocar perturbações promotoras de estresse na população microbiana e, uma vez que as adições de carbono nesses sistemas

são menores, os microrganismos terminam por consumir o carbono orgânico do solo, causando sua redução. Nesse sentido, maiores valores de qCO_2 indicam que a população microbiana está consumindo mais carbono oxidável para a sua manutenção (Anderson & Domsch, 1993).

No plantio direto, aumentos na respiração do solo têm sido justificados pelo acúmulo de matéria orgânica rica em frações lábeis à superfície (Vargas & Scholles, 2000). Estudos de sistemas convencionais e de plantio direto, em Londrina (PR), mostraram valores mais elevados de respiração basal no plantio direto, o que foi atribuído à maior atividade biológica nesse sistema (Balota et al., 1998). No mesmo experimento, foram obtidos menores valores de qCO_2 no plantio direto em relação aos sistemas convencionais, do mesmo modo que em outros trabalhos desenvolvidos na região Sul (Silva-Filho & Vidor, 1984; Lima et al., 1994).

No presente estudo, este comportamento não foi verificado, uma vez que as diferenças na respiração basal e no qCO_2 entre os sistemas de plantio direto e os convencionais não foram significativas. No entanto, é importante considerar que as áreas sob plantio direto envolvidas neste trabalho são recentes (entre quatro a cinco anos) e que a biomassa microbiana pode estar ainda em adaptação às condições do solo. Além disso, diferenças climáticas entre os Cerrados e a região Sul do País influenciam diretamente a dinâmica de carbono no ecossistema e o comportamento e atividade dos microrganismos do solo, motivo pelo qual é possível supor que venha a ocorrer maior diferenciação entre os valores de qCO_2 dos sistemas convencionais e de plantio direto, ao longo do tempo.

Por fim, deve-se levar em consideração que apenas de 15 a 30 % da biomassa microbiana do solo é catabolicamente ativa (Mac Donald, 1986) e que o restante dos microrganismos do solo ocorre em formas latentes ou inativas, com baixa atividade metabólica (Moreira & Siqueira, 2002), o que pode causar dificuldades adicionais na interpretação dos resultados do qCO_2 , já que em seu cálculo é levado em conta o teor total de carbono da biomassa microbiana do solo.

Uma das aproximações propostas para estabelecer critérios de avaliação da qualidade do solo é a comparação efetuada com o solo no seu estado natural (Granatstein & Bezdicek, 1992). No presente estudo, o cerrado nativo foi estabelecido como referência para a maior parte das comparações entre sistemas de manejo. Considerando que os atributos de qualidade do solo devem ter sensibilidade o suficiente para indicar alterações decorrentes do uso, é possível verificar que o carbono da biomassa microbiana apresentou o melhor desempenho para tal. Por esse motivo, esse atributo é bastante útil em estudos a respeito da sustentabilidade de ecossistemas e pode ser indicado

como um componente potencial de um índice de qualidade do solo a ser desenvolvido para fins de monitoramento das atividades agrícolas na região. O carbono da biomassa microbiana está entre os atributos citados como de grande importância em estudos da qualidade do solo, tendo sido selecionado por Islam & Weil (2000) como um dos mais promissores para inclusão em índices de qualidade do solo, por ser influenciado de maneira diferenciada na maioria das comparações entre sistemas tidos como conservacionistas ou causadores de degradação.

CONCLUSÕES

1. A instalação de pastagens e sistemas de manejo agrícola em área de cerrado nativo reduziu os teores de carbono da biomassa microbiana na camada superficial do solo. Essa redução foi menor no sistema pastagem e maior no sistema agrícola convencional, com mais de 15 anos de instalação.

2. A atividade microbiana, avaliada por meio da respiração basal e do quociente metabólico (qCO_2), não diferiu entre o cerrado nativo e os diferentes sistemas de manejo estudados.

3. A profundidade exerceu efeito sobre o carbono da biomassa microbiana (maiores valores na camada superficial do solo sob cerrado nativo em relação às subjacentes) e sobre o quociente metabólico (valores crescentes em profundidade).

4. O carbono da biomassa microbiana indicou alterações significativas decorrentes da adoção de sistemas de manejo em relação ao cerrado nativo, embora, entre os mesmos, tenha apontado apenas diferenças entre a pastagem e o sistema convencional de longa duração.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo auxílio financeiro ao projeto. Aos produtores rurais do sul do estado de Goiás, pelas facilidades concedidas durante os trabalhos de campo e pela permissão de uso das áreas cultivadas, as quais serviram de base para o desenvolvimento deste projeto.

LITERATURA CITADA

ALEF, K. & NANNIPIERI, P., eds. Methods in applied soil microbiology and biochemistry. London, Academic Press, 1995. 576p.

- ALEXANDER, M. *Introducción a la microbiología del suelo*. México, D.F., Libros y Editoriales, 1980. 491p.
- ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. The metabolic quotient (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biol. Biochem.*, 25:393-395, 1993.
- BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S. & HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:641-649, 1998.
- CARVALHO FILHO, A.; MOTTA, P.E.F.; CHAGAS, C. S.; KER, J.C.; BLANCANEUX, P.; CARVALHO Jr., W.; AMABILE, R.F.; COSTA, L.D. & PEREIRA, N.R. A cobertura pedológica e as interações com as rochas, o relevo e a cobertura vegetal. In: BLANCANEUX, P., ed. *Interações ambientais no Cerrado: microbacia piloto de Morrinhos, estado de Goiás, Brasil*. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1998. p.69-143.
- CARVALHO, Y. Densidade e atividade dos microrganismos do solo em plantio direto e convencional na região de Carambeí (PR). Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1997. 108p. (Tese de Mestrado)
- DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. v.1, p.545-566.
- DICK, R.P.; BREAKWELL, D.P. & TURCO, R.F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. *Methods for assessing soil quality*. Madison, Soil Science Society of America, 1996. p.247-272. (SSSA Special Publication, 49)
- DORAN, J.W. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44:765-771, 1980.
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing 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, 1994. p.3-21. (SSSA Special Publication, 35)
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. *Methods for assessing soil quality*. Madison, Soil Science Society of America, 1996. p.25-37. (SSSA Special Publication, 49)
- DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORAN, J.W.; JORDAN, C.; SZOTT, L. & VANCE, E. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M. & UEHARA, G., eds. *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Honolulu, Niftal Project, 1989. p.33-67.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1997. 212p.
- FEIGL, B.J.; SPARLING, G.P.; ROSS, D.J. & CERRI, C.C. Soil microbial biomass in Amazonian soils: evaluation of methods and estimates of pool sizes. *Soil Biol. Biochem.*, 27:1467-1472, 1995.
- FERNANDES, S.A.P. Propriedades do solo na conversão de floresta em pastagem fertilizada e não fertilizada com fósforo na Amazônia (Rondônia). Piracicaba, Universidade de São Paulo, 1999. 131p. (Tese de Mestrado)
- FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do SISVAR (Sistema para análise de variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., São Carlos, 2000. Anais. São Carlos, Universidade de São Carlos, 2000. p.255-258.
- FREITAS, P.L. & BLANCANEUX, P. Avaliação sobre os aspectos climatológicos e hidrológicos da microbacia piloto de Goiás, Morrinhos. In: BLANCANEUX, P., ed. *Interações ambientais no Cerrado: microbacia piloto de Morrinhos, estado de Goiás, Brasil*. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1998. p.31-52.
- GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. & BARROS, N.F. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. *R. Bras. Ci. Solo*, 21: 361-365, 1997.
- GERALDES, A.P.A.; CERRI, C.C. & FEIGL, B.J. Biomassa microbiana de solo sob pastagens na Amazônia. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:55-60, 1995.
- GRANATSTEIN, D. & BEZDICEK, D.F. The need for a soil quality index: local and regional perspectives. *Am. J. Altern. Agric.*, 7:12-16, 1992.
- ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. *J. Soil Water Conserv.*, 55:69-79, 2000.
- KIMPE, C.R. & WARKENTIN, B.P. Soil functions and the future of natural resources. In: BLUME, H.P.; EGER, H.; FLEISHHAUER, E.; HEBEL, A.; REIJ, C. & STEINER, K.G., eds. *Towards sustainable land use - Furthering cooperation between people and institutions*. *Advances Geocol.*, 31:3-10, 1998.
- LIMA, V.C.; LIMA, J.M.J.C.; EDUARDO, B.J.F.P. & CERRI, C.C. Conteúdo de carbono e biomassa microbiana em agrossistemas: comparação entre métodos de preparo do solo. *Agrárias*, 13:297-302, 1994.
- MaC DONALD, R.M. Extraction of microorganisms from soil. *Biol. Agric. Hort.*, 3:361-365, 1986.
- MARCHIORI JÚNIOR, M. & MELO, W.J. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 23: 257-263, 1999.
- MENDES, I.C.; CARNEIRO, R.G.; CARVALHO, A.M.; VIVALDI, L. & VARGAS, M.A.T. Biomassa C e atividade microbiana em solos de cerrado sob plantio direto e plantio convencional. *Planaltina*, 1999. 5p. (Pesquisa em andamento - EMBRAPA Cerrados, 5)
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2002. 625p.

- PARKIN, T.B.; DORAN, J.W. & FRANCO-VIZCAÍNO, E. Field and laboratory tests of soil respiration. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. *Methods for assessing soil quality*. Madison, Soil Science Society of America, 1996. p.231-245. (SSSA Special Publication, 49)
- PROJETO RADAMBRASIL. Folha SE. 22. Goiânia: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1983. 768p.
- REID, J.B. & GOSS, M.J. Changes in the aggregate stability of a sandy loam effected by growing roots of perennial ryegrass (*lolium-perenne*). *J. Sci. Food Agric.*, 31:325-328, 1980.
- RICE, C.W.; MOORMAN, T.B. & BEARE, M. Role of microbial biomass carbon and nitrogen in soil quality. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. *Methods for assessing soil quality*. Madison, Soil Science Society of America, 1996. p.203-215. (SSSA Special Publication, 49)
- ROVIRA, A.D. Microbiology of pasture soils and some effects of microorganisms on pasture plants. In: WILSON, J.R., ed. *Plant relation in pastures*. Melbourne, CSIRO, 1978. p.95-110.
- SAS INSTITUTE. *SAS User's guide: statistics*. 5.ed. Cary, 1985. 956p.
- SILVA-FILHO, G.N. & VIDOR, C. As práticas de manejo de solo na população microbiana. *R. Bras. Ci. Solo*, 8:291-296, 1984.
- SMITH, J.L. & PAUL, E.A. The significance of soil microbial biomass estimations. In: BOLLAG, J.M. & STOTSKY, G. *Soil biochemistry*. New York, Marcel Dekker, 1990. p.357-398.
- SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Aust. J. Soil Res.*, 30:195-207, 1992.
- TEIXEIRA, S.M.; MILHOMEM, A.; FREITAS, P.L. & BLANCANEAUX, P. Microbacias hidrográficas e desenvolvimento rural. Uma abordagem socioeconômica. In: BLANCANEAUX, P., ed. *Interações ambientais no Cerrado: microbacia piloto de Morrinhos, estado de Goiás, Brasil*. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1998. p.261-282.
- TURCO, R.F.; KENNEDY, A.C. & JAWSON, M.D. Microbial indicators of 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, 1994. p.73-90. (SSSA Special Publication, 35)
- VANCE, E.D.; BROOKES, P.C. & JENKINSON, D.S. An 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 Podzólico Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:35-42, 2000.
- VASCONCELLOS, C.A.; CAMPOLINA, D.C.A.; SANTOS, F.G.; EXEL PITTA, G.V. & MARRIEL, I.E. Resposta da soja e da biomassa de carbono do solo aos resíduos de cinco genótipos de sorgo. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:69-77, 1999.
- VENZKE FILHO, S.P. Microbiota e sua atividade em uma cronossequência sob sistema plantio direto. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1999. 65p. (Tese de Mestrado)
- VETTORI, L. *Métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7)
- WALKLEY, A. & BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*, 37:29-38, 1934.

