

Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca

Fábio Martins Mercante^{1*}, Rogério Ferreira da Silva¹, Carla Silvana Fabbro Francelino², Juliana Cristina Touro Cavalheiro¹ e Auro Akio Otsubo¹

¹Embrapa Agropecuária Oeste, Cx. Postal 661, 79804-970, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil. ²Centro Universitário da Grande Dourados, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: mercante@cpao.embrapa.br

RESUMO. Objetivou-se avaliar a influência de cultivos de mandioca, em diferentes sistemas de manejo sobre a biomassa microbiana de solo, sua atividade e índices derivados. O estudo foi conduzido no Município de Glória de Dourados, Estado do Mato Grosso do Sul, em Argissolo Vermelho, de textura arenosa, em sistema de preparo convencional, plantio direto, sobre resíduos culturais de mucuna, sorgo e milheto, além de sistema com vegetação nativa, usado como referencial para comparação. As avaliações foram realizadas em seis épocas distintas: maio/2003, junho/2003, novembro/2003, abril/2004, agosto/2004 e novembro/2004. A presença ou ausência de resíduos vegetais influenciou diretamente a microbiota do solo, indicando que o uso de plantas de cobertura, no cultivo de mandioca, favorece a melhoria da qualidade do solo, representando alternativa promissora para melhor manejo desta cultura.

Palavras-chave: plantio direto, carbono orgânico, atividade microbiana, *Manihot esculenta*.

ABSTRACT. Microbial biomass on an Oxisol in cassava using different cover species. The objective of this work was to evaluate the effect of cassava cultivation under different management practices on soil microbial biomass, its activity and its derived indexes. The field experiment was carried out in Glória de Dourados, Mato Grosso do Sul State, Brazil, in a sandy soil (Oxisol), under conventional drilling, no-tillage system under *Estilozobium pruriens*, *Sorghum bicolor* and *Pennisetum glaucum* mulching, compared to the native vegetation system. Evaluations were done in May/2003, June/2003, November/2003, April/2004 and November/2004. Soil microbiota was directly influenced by the presence or absence of vegetable residues, indicating that the use of covering plants in cassava cultivation favors the improvement of soil quality, representing a promising alternative for better management practices of this cultivation.

Key words: no-tillage, organic matter, microbial activity, *Manihot esculenta*.

Introdução

Os microrganismos do solo estão presentes tanto na matriz do solo como na rizosfera, onde realizam atividades metabólicas relevantes para o crescimento das plantas (Andrade e Silveira, 2004). Dentre as características biológicas do solo, a biomassa microbiana é definida como parte viva da matéria orgânica, composta por todos os organismos menores que $5.10^{-3} \mu\text{m}^3$, tais como fungos, bactérias, actinomicetos, leveduras e outros componentes da microfauna (Gama-Rodrigues, 1999). A biomassa microbiana representa, pois, o compartimento central do ciclo de carbono no solo e, de acordo com as condições edafoclimáticas do ecossistema e da composição dos resíduos vegetais existentes sobre a superfície do solo, pode funcionar como compartimento de reserva, dreno ou como um

catalisador na decomposição da matéria orgânica (Paul e Clark, 1989).

A biomassa microbiana constitui a maior fração ativa na dinâmica da matéria orgânica do solo e, portanto, é sensível às mudanças iniciais no conteúdo da matéria orgânica, causadas pelas práticas de cultivo (Pascual *et al.*, 2001; Roscoe *et al.*, 2006a). Assim, alterações na comunidade microbiana e na sua atividade interferem diretamente nos processos biológicos e bioquímicos do solo, na produtividade agrícola e, conseqüentemente, na sustentabilidade dos agroecossistemas, atuando como indicador de degradação dos solos (Turco *et al.*, 1994; Matsuoka *et al.*, 2003). Tais alterações são ocasionadas, entre outros fatores, pelo tipo de cultura, condições ambientais, interações entre organismos e, principalmente, pelo sistema de cultivo e sucessões de culturas adotadas (Balota *et al.*, 1998).

Estudos têm demonstrado que os sistemas agrícolas convencionais, caracterizados pelo intenso revolvimento do solo e pelo uso de elevadas quantidades de adubos químicos e pesticidas, contribuem, mais intensamente, para as perdas de C orgânico do solo (Mielniczuk *et al.*, 2003). Essas perdas, geralmente, provocam alterações que influenciam o ciclo energético e biogeoquímico dos ecossistemas e a agregação do solo, onde os microrganismos tem papel preponderante (Siqueira *et al.*, 1991), conseqüentemente, tendo como resultado a redução de produtividade das culturas exploradas.

Por outro lado, tem aumentado o interesse em avaliar os efeitos das opções de manejo, com práticas conservacionistas, que priorizem o aporte de resíduos culturais, o que tem ocorrido também em cultivos de mandioca. A adoção de sistemas de manejo menos intensivo do solo e uso de plantas de cobertura propiciam proteção contínua da superfície, mantendo a umidade e diminuindo a amplitude térmica do solo e promovendo acréscimos consideráveis no conteúdo total de matéria orgânica (Xavier *et al.*, 2006), principal reservatório de energia para os microrganismos e de nutrientes para as plantas (Perez *et al.*, 2004).

Diversos trabalhos têm demonstrado incrementos da biomassa e atividade biológica, em solos cultivados no sistema de plantio direto, quando comparado ao sistema convencional (Balota *et al.*, 1998; Marchiori-Júnior e Melo, 1999; D'Andréa *et al.*, 2002; Costa *et al.*, 2006). Nesse contexto, torna-se de fundamental importância a avaliação dos indicadores mais sensíveis às práticas de manejo, visando ao monitoramento dos impactos positivos ou negativos sobre o solo. Assim, a biomassa microbiana e a sua atividade têm sido utilizadas como indicadores ecológicos do impacto das práticas de manejo agrícola (Wardle, 1992; Daniel *et al.*, 1999), possibilitando o seu uso como ferramenta na determinação de opções de manejo sustentáveis. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de cultivos de mandioca, em diferentes sistemas de manejo sobre a biomassa microbiana de solo, sua atividade e índices derivados.

Material e métodos

O trabalho foi conduzido no período de 2003 a 2004, no Município de Glória de Dourados, Estado do Mato Grosso do Sul (22°22'S e 54°30'W, 400 m de altitude), em solo classificado como Argissolo Vermelho, de textura arenosa. O clima de ocorrência, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, com estação quente e chuvosa, no verão, e moderadamente seca, no inverno.

Antes do estabelecimento da cultura da mandioca, a área experimental era utilizada com pastagem de *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf. Na safra agrícola 2001/2002, foi estabelecida a cultura do milho, em sistema de preparo convencional (aração e gradagem), visando à homogeneização da área. O presente estudo iniciou-se em outubro de 2002, com a divisão desta área em quatro talhões de 1.800 m², onde se efetuou a semeadura de mucuna-cinza (*Stizolobium cinereum* Piper e Tracy), sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench) e milheto (*Pennisetum americanum* L.), em preparo convencional, efetuado com uma aração e duas gradagens. No quarto talhão, a área foi deixada em pousio para posterior preparo com aração e gradagens (sistema convencional), que serviu como padrão comparativo. Realizou-se, ainda, amostragem de solo numa área com vegetação nativa (Cerrado), adjacente às parcelas experimentais, que serviram também como padrão para comparação.

Nas áreas com as diferentes coberturas vegetais, foram aplicados 495 kg ha⁻¹ de fertilizante mineral, contendo N-P-K (0-20-20) + Ca + Zn + S, nas concentrações de 8; 0,3 e 4%, respectivamente. Na floração plena, essas culturas passaram por um processo de rolagem, utilizando um "rolo-faca", seguido de dessecação, com aplicação de herbicidas glyphosate e 2,4-D, na dosagem recomendada. Após a dessecação, efetuou-se o plantio da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), em maio de 2003, variedade Fécula Branca, utilizando fileiras simples, com espaçamento de 0,90 m, entre fileiras, e 0,70 m, entre plantas, com aplicação de 456 kg ha⁻¹ de fertilizante mineral N-P-K (4-20-20) + Zn (0,3%). A colheita foi realizada em novembro de 2004, aos 18 meses após o plantio.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com cinco repetições. As parcelas principais, com cerca de 350 m², foram os sistemas de preparo do solo: sistema convencional (SC), plantio direto sobre resíduos culturais de mucuna (PDMu), sorgo (PDSO) e milheto (PDMi), além de sistema com vegetação nativa (VN) e as subparcelas, as épocas de avaliação (1ª época – maio/2003, 2ª época – junho/2003, 3ª época – novembro/2003, 4ª época – abril/2004, 5ª época – agosto/2004 e 6ª época – novembro/2004). As amostragens de solo foram efetuadas nas entrelinhas de cada parcela, na camada de 0 a 0,10 m de profundidade, sendo que cada amostra foi composta de oito subamostras. Após homogeneização, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, devidamente identificados, e armazenadas em câmara fria (4°C). O solo foi

caracterizado quimicamente, de acordo com Claessen (1997), no momento das amostragens de solo, para as determinações microbiológicas, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas de amostras do solo, em sistema convencional (SC), plantio direto (PD) sobre palhada de mucuna (Mu), sorgo (So), milheto (Mi), e com vegetação nativa (VN). Glória de Dourados, Estado do Mato Grosso do Sul. Valores médios de seis épocas de avaliação.

Uso do solo	pH	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	V
	H ₂ O	mg dm ⁻³	-----cmol. dm ⁻³ -----				%
SC	5,3	10,6	0,2	0,7	0,3	0,2	30,0
PDMu	5,2	25,1	0,2	0,8	0,4	0,2	28,4
PDSO	5,3	28,6	0,3	0,9	0,3	0,2	30,9
PDMi	5,5	18,5	0,3	0,8	0,5	0,1	34,3
VN	5,2	2,6	0,1	0,8	0,4	0,3	26,4

O carbono da biomassa microbiana (C-BMS) foi avaliado pelo método da fumigação-extração, de acordo com Vance *et al.* (1987). Determinou-se, ainda, a respiração basal (C-CO₂), obtida pela incubação das amostras com captura de CO₂ em NaOH, durante sete dias, pela adaptação do método da fumigação-incubação, proposto por Jenkinson e Powlson (1976). Após a realização das análises de C-BMS e C-CO₂ evoluído, foram determinados os quocientes metabólicos (*q*CO₂), conforme Anderson e Domsch (1990), sendo esse atributo obtido, a partir da relação C-CO₂/C-BMS, e os quocientes microbianos (*q*MIC) pela relação C-BMS/ C-orgânico total. O conteúdo de matéria orgânica (MO) foi determinado, conforme a metodologia descrita em Claessen (1997).

Os resultados dos atributos avaliados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade. Efetuou-se, também, o teste de coeficiente de correlação para os dados microbiológicos em função dos atributos químicos do solo. Além disso, os atributos microbiológicos foram submetidos à análise de agrupamento (*cluster analysis*), adotando-se o método do vizinho mais distante (*complete linkage*), a partir da Distância Euclidiana, para descrever a similaridade entre os sistemas estudados. As análises estatísticas foram processadas por meio de software Statistica (versão 5.0, StatSoft).

Resultados e discussão

No que se refere às variáveis avaliadas (C-BMS, C-CO₂, *q*CO₂, *q*MIC e MO), não houve interação significativa entre sistemas de cultivo e épocas de avaliação. Contudo, os sistemas de cultivo e épocas de avaliação afetaram isoladamente (*p* < 0,05) todas essas variáveis (Tabela 2). O sistema com vegetação nativa (VN), usado como referência nesse estudo,

apresentou significativamente os maiores teores de C-BMS, em relação aos sistemas cultivados. Nestas condições, há fornecimento constante de material orgânico mais susceptível à decomposição, permanecendo o solo coberto, com menor variação e níveis mais adequados de temperatura e umidade (Santos *et al.*, 2004).

Entre os sistemas de cultivo, constatou-se efeito benéfico das plantas de coberturas (PDMu, PDSO e PDMi), sobre a melhoria nas condições de desenvolvimento microbiano, refletindo em maior acúmulo de C-BMS, em relação ao sistema de preparo convencional do solo. Esse fato deve-se à manutenção de resíduos vegetais sobre o solo que, independente da composição da palhada, promove aumento da atividade dos microrganismos heterotróficos do solo (Vargas e Scholles, 2000). Resultados semelhantes foram observados por Mendes *et al.* (2003), na região dos Cerrados, e Balota *et al.* (2003), no Sul do Brasil, onde cultivos em sistema plantio direto (SPD) favoreceram aumento da biomassa microbiana do solo, comparativamente a solos em sistema convencional (SC).

Tabela 2. Valores médios de carbono da biomassa microbiana (C-BMS), respiração basal (C-CO₂), quociente metabólico (*q*CO₂), quociente microbiano (*q*MIC) e matéria orgânica (MO) de um Argissolo Vermelho em diferentes sistemas de cultivo de mandioca. Glória de Dourados, Estado do Mato Grosso do Sul, 2003 e 2004.

Parâmetros	C-BMS	C-CO ₂	<i>q</i> CO ₂	<i>q</i> MIC	MO
	µg C g ⁻¹ solo seco	µg C-CO ₂ g ⁻¹ solo dia ⁻¹	µg C-CO ₂ µg ⁻¹ C-BMS h ⁻¹	%	g kg ⁻¹
----- Sistemas de uso do solo -----					
SC	93,2 c	4,3 b	31,7 a	2,3 a	7,5 b
PDMu	103,0 b	4,5 b	22,1 a	2,8 a	7,2 b
PDSO	112,8 b	5,0 b	31,5 a	2,7 a	7,9 b
PDMi	105,0 b	4,7 b	29,3 a	2,7 a	7,8 b
VN	139,7 a	7,4 a	35,5 a	2,6 a	10,5 a
----- Épocas de avaliação -----					
mai/03	91,6 b	6,4 ab	31,7 b	2,8 b	6,6 c
jun/03	95,4 b	3,6 d	22,6 b	3,4 b	6,4 c
nov/03	36,8 c	5,2 bc	69,9 a	0,9 c	8,2 b
abr/04	81,0 b	4,2 cd	25,2 b	1,4 c	10,8 a
ago/04	134,7 a	4,8 cd	17,8 b	3,1 b	7,5 c
nov/04	224,9 a	6,8 a	12,9 b	4,2 a	9,5 a

Médias seguidas de letras diferentes, nas colunas, contrastam pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade. Sistema convencional (SC), plantio direto (PD) sobre resíduos de mucuna (Mu), sorgo (So) e milheto (Mi), além da vegetação nativa (VN).

A respiração basal (C-CO₂), resultante do metabolismo da maioria dos microrganismos no solo, tem se apresentado determinação sensível (Colozzi Filho *et al.*, 2001), podendo ser utilizada como indicador da qualidade do solo, em razão dos diferentes sistemas de manejo e rotações de culturas (Mercante, 2001). No entanto, neste trabalho, quanto ao teor de C-CO₂ liberado, não foram observadas influências dos sistemas de manejo (Tabela 2). A maior atividade microbiana ocorreu no

sistema com vegetação nativa (VN). Em outros estudos, foi demonstrado que a respiração microbiana decrescia com o revolvimento do solo, sendo influenciada, portanto, pelo seu manejo (Alvarez *et al.*, 1995; Vargas e Scholles, 2000).

O quociente metabólico ou taxa de respiração específica (qCO_2), que representa a quantidade de C-CO₂ liberada por unidade de biomassa microbiana em determinado tempo, não apresentou diferenças significativas entre os sistemas avaliados (Tabela 2). Isso indica que a biomassa microbiana foi mais eficiente na utilização dos compostos orgânicos, liberando menos carbono na forma de CO₂ e incorporando mais carbono aos tecidos microbianos (Mercante, 2001). O qCO_2 é considerado ferramenta importante na avaliação dos efeitos das condições ambientais sobre a população microbiana do solo (Anderson e Domsh, 1993), e maiores valores são encontrados em condições ambientais estressantes, nas quais a biomassa microbiana consome mais carbono para sua manutenção (Souza *et al.*, 2006). Balota *et al.* (1998) verificaram menores valores de quociente metabólico, em sistema de plantio direto, quando comparado aos do sistema convencional, o que não foi observado neste estudo. Provavelmente, tal resultado deveu-se à recente implantação do sistema de plantio direto, pois se sabe que, pelas condições edafoclimáticas do Cerrado, é provável que o quociente metabólico venha diminuir futuramente, com a adaptação da biomassa microbiana às condições do solo (Souza *et al.*, 2006).

A relação Cmicrobiano/Corgânico ($qMIC$) apresentou valores semelhantes ($p > 0,05$) entre os sistemas avaliados (Tabela 2). Os valores foram superiores a 1% em todos os sistemas, indicando possíveis acréscimos de C, no solo, ao longo do tempo. Esses valores estão de acordo com a porcentagem proposta por Jenkinson e Ladd (1981), que consideram normal que 1 a 4% do carbono total do solo corresponda ao componente microbiano. Essa relação tem sido reportada como indicador da qualidade da matéria orgânica do solo (Wardle, 1994), pois permite acompanhar, de forma mais rápida, as perturbações promovidas pelo desequilíbrio ecológico e variações no total de matéria orgânica, ocasionadas pelo manejo do solo, pois reage com maior rapidez que os indicadores físico-químicos (Alvarez *et al.*, 1995).

O conteúdo de MO foi maior nas amostras de solo com vegetação nativa, em relação aos sistemas de cultivo (Tabela 2). Isso indica que, em ecossistemas naturais, com maior diversidade de espécies, a decomposição diferenciada dos resíduos

vegetais retorna ao solo, de forma equilibrada, os nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas (Alvarenga *et al.*, 1999). Dentre os sistemas de manejo, não houve diferença significativa ($p > 0,05$) nos valores de MO. Desta forma, apesar da MO ser considerada um indicador sensível (Assis *et al.*, 2003), as alterações promovidas no solo não foram suficientes para promover alterações na sua concentração. Na maioria dos estudos sobre efeitos de sistemas de manejo, foi demonstrado que as alterações no conteúdo de matéria orgânica do solo ocorrem em médio ou em longo prazo, requerendo maior tempo para ser quantificada (Oliveira *et al.*, 2001; Roscoe *et al.*, 2006b).

Foi observada significância ($p < 0,05$) na análise de variância, na comparação entre as épocas de amostragens (Tabela 2). O menor valor de C-BMS foi observado na terceira época (novembro/2003), em relação às demais épocas de avaliação. Nesta mesma época, foi constatado maior valor de qCO_2 , indicativo de alto requerimento energético da população microbiana. Além disso, nesta mesma época, foi verificado que os valores de $qMIC$ foram inferiores a 1% (Tabela 2), demonstrando pequena quantidade de C imobilizado como biomassa, o que pode indicar que a biomassa microbiana encontrava-se em condições de estresse em solo com matéria orgânica de baixa qualidade nutricional, tornando-se incapaz de utilizar totalmente o C orgânico do solo.

Nesse estudo, não foi observada correlação entre os indicadores microbiológicos e os atributos químicos avaliados, exceto para MO (dados não apresentados). Em alguns estudos, foram observadas correlações significativas da biomassa microbiana com os teores de nutrientes do solo (Cattelan e Vidor, 1990; Perez *et al.*, 2004). Os valores de C-BMS e C-CO₂ obtidos nesse estudo, apresentaram correlação positiva e significativa ($p < 0,05$) com MO ($r = 0,17$ e $r = 0,21$, respectivamente), indicando a influência da matéria orgânica como fonte de energia para a microbiota do solo. Correlação significativa entre os indicadores microbiológicos e MO tem sido observada em vários trabalhos (Balota *et al.*, 1998; Santos *et al.*, 2004; Mercante *et al.*, 2004; Barreta *et al.*, 2005).

Na análise de agrupamento, técnica cujo objetivo é agrupar sistemas de manejo com base em características comuns, observou-se a formação de dois grandes grupos distintos com relação aos indicadores microbiológicos (Figura 1). Esses dois grupos não apresentaram nenhuma similaridade entre si, uma vez que a sua distância de ligação foi de 100%. O primeiro grupo engloba todos os sistemas avaliados em novembro/2004 (última avaliação),

com 67,5% de similaridade. Isso demonstra que os sistemas de cultivo voltam a ter características da microbiota do solo, próximas às verificadas na VN.

No outro grupo, observou-se a formação de três níveis de agrupamentos (subgrupos) distintos (Figura 1). O primeiro nível apresentou semelhança de 82% entre todos os sistemas avaliados em agosto/2004, com exceção do SC. A formação desse nível demonstra que os efeitos dos sistemas de manejo desaparecem no decorrer do desenvolvimento da cultura da mandioca e a consequente diminuição dos resíduos na superfície do solo.

No segundo nível, observou-se semelhança de 90% entre o plantio direto sobre resíduos de plantas de cobertura (maio/2003, junho/2003 e abril/2004) e VN (novembro/2003 e abril/2004). Provavelmente, esse agrupamento ocorreu em virtude do efeito marcante dos resíduos culturais das plantas de cobertura (mucuna, sorgo e milho) sobre a microbiota do solo. Dentre outros benefícios gerados pelos resíduos orgânicos, destacam-se a menor variação e níveis mais adequados de temperatura e umidade e o fornecimento de energia (carbono) e nutrientes para a maioria das populações microbianas do solo, favorecendo a atividade biológica e melhorando as relações ecológicas (Powlson *et al.*, 1987; Silva e Resck, 1997).

No último nível, verificou-se que os sistemas PDMu, PDSo e PDMi, avaliados em novembro/2003, apresentaram 82% de similaridade com SC, avaliado em todas as épocas, com exceção de novembro/2004. Provavelmente, o agrupamento ocorreu em virtude da redução na quantidade de resíduos culturais das plantas de cobertura, principal fonte de energia dos microrganismos do solo.

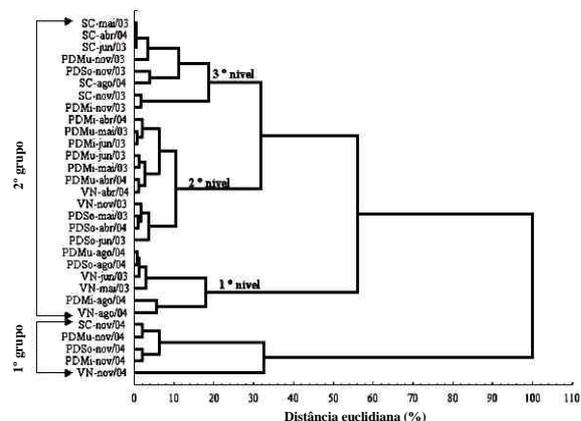


Figura 1. Dendrograma de similaridade dos indicadores microbiológicos entre os sistemas de manejo de solo, em diferentes épocas, com bases nas distâncias euclidianas. Sistema convencional (SC), plantio direto (PD) sobre resíduos de mucuna (Mu), sorgo (So) e milho (Mi), além da vegetação nativa (VN).

Conclusão

O ecossistema natural apresentou maior valor de carbono da biomassa microbiana, respiração basal e matéria orgânica, indicando maior equilíbrio natural em termos de desenvolvimento das plantas.

O uso de plantas de cobertura favoreceu o desenvolvimento da biomassa microbiana do solo, em relação ao sistema de preparo convencional, envolvendo aração e gradagens.

Os manejos de solo não afetaram, de maneira significativa, a respiração basal e os quocientes metabólicos e microbianos.

A presença de resíduos (palha), na superfície do solo, afetou diretamente a microbiota do solo, indicando que uso de plantas de coberturas, no cultivo de mandioca, in-fluencia positivamente a qualidade do solo, representando alternativa promissora para melhor manejo desta cultura.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado do Mato Grosso do Sul (Fundect), pelo suporte financeiro ao trabalho.

Referências

- ALVARENGA, M.I.N. *et al.* Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de Cerrado com diferentes usos. *Cienc. Agrotec.*, Lavras, v. 23, n. 3, p. 617-625, 1999.
- ALVAREZ, R. *et al.* Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from tree tillage systems. *Soil Till. Res.*, Amsterdam, v. 33, n. 1, p. 17-28, 1995.
- ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. Application of eco-physiological quotients (*q*CO₂ and *q*D) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biol. Biochem.*, Oxford, v. 22, n. 2, p. 251-255, 1990.
- ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO₂ (*q*CO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environment conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biol. Biochem.*, Oxford, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.
- ANDRADE, S.A.L.; SILVEIRA, A.P.D. Biomassa e atividade microbianas do solo sob influência de chumbo e da rizosfera da soja micorrizada. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 39, n. 12, p. 1191-1198, 2004.
- ASSIS, E.P.M. *et al.* Efeito da aplicação de nitrogênio na atividade microbiana e na decomposição da palhada de sorgo em solo de cerrado sob plantio direto. *Pesq. Agropecu. Trop.*, Goiânia, v. 33, n. 2, p. 107-112, 2003.
- BALOTA, E.L. *et al.* Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 22, n. 4, p. 641-649, 1998.

- BALOTA, E.L. et al. Microbial biomass in soils under different tillage and crop rotation systems. *Biol. Fertil. Soils*, Berlin, v. 38, n. 1, p. 15-20, 2003.
- BARETTA, D. et al. Efeito do monocultivo de *pinus* e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no Planalto Sul catarinense. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 29, n. 5, p. 715-724, 2005.
- CATTELAN, A.J.; VIDOR, C. Flutuação na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 14, n. 1, p. 133-142, 1990.
- CLAESSEN, M.E.C. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPQ, 1997. (Documentos, 1).
- COLOZZI FILHO, A. et al. Atividade microbiana em solos cultivados em sistema plantio direto. *Inf. Agropecu.*, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 84-91, 2001.
- COSTA, E.A. et al. Qualidade do solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1185-1191, 2006.
- D'ANDRÉA, A.F. et al. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do Cerrado no Sul do Estado de Goiás. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 26, n. 4, p. 913-923, 2002.
- DANIEL, O. et al. Sustentabilidade em sistemas agroflorestais: indicadores biofísicos. *Rev. Árvore*, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 381-392, 1999.
- GAMA-RODRIGUES, E.F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 227-243.
- JENKINSON, E.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil measurement and turnover. In: PAUL, E.A.; LADD, J.N. (Ed.). *Soil Biochemistry*. New York: Marcel Dekker, 1981. v. 5, p. 415-471. (Books in Soil and the Environment).
- JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.*, Oxford, v. 8, n. 3, p. 209-213, 1976.
- 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. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 23, n. 2, p. 257-263, 1999.
- MATSUOKA, M. et al. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste/MT. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 27, n. 3, p. 425-433, 2003.
- MENDES, I.C. et al. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 27, n. 3, p. 435-443, 2003.
- MERCANTE, F.M. Biomassa e atividade microbiana: indicadores da qualidade do solo. *Direto Cerrado*, Brasília, p. 9-10, 2001.
- MERCANTE, F.M. et al. *Parâmetros microbiológicos como indicadores da qualidade do solo sob sistemas integrados de produção agropecuária*. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2004. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 20).
- MIELNICZUK, J. et al. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURTI, N. et al. (Ed.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3, p. 209-248.
- OLIVEIRA, J.O.A.P. et al. Influência de sistemas de preparo do solo na produtividade da mandioca. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 25, n. 2, p. 443-450, 2001.
- PASCUAL, J.A. et al. Effect of long-term monoculture on microbiological and biochemical properties in semiarid soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, New York, v. 32, n. 3-4, p. 537-552, 2001.
- PAUL, E.A.; CLARK, F.E. *Soil microbiology and biochemistry*. San Diego: Academic Press, 1989.
- PEREZ, K.S.S. et al. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 39, n. 6, p. 567-573, 2004.
- POWLSON, D.S. et al. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw decomposition. *Soil Biol. Biochem.*, Oxford, v. 19, n. 2, p. 159-164, 1987.
- ROSCOE, R. et al. Biomassa microbiana do solo: fração mais ativa da matéria orgânica. In: ROSCOE, R. et al. (Ed.). *Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares*. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006a. p. 163-198.
- ROSCOE, R. et al. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R. et al. (Ed.). *Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares*. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006b. p. 17-42.
- SANTOS, V.B. et al. Biomassa, atividade microbiana e teores de carbono e nitrogênio totais de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. *Rev. Bras. Agrocienc.*, Pelotas, v. 10, n. 3, p. 333-338, 2004.
- SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M. (Ed.). *Biologia dos solos dos cerrados*. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1997. p. 467-524.
- SIQUEIRA, J. O. et al. Significance of phenolic compounds in plant-soil microbial systems. *Crit. Rev. Plant Sci.*, Boca Raton, v. 10, n. 1, p. 63-121, 1991.
- SOUZA, E.D. et al. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob Cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. *Acta Sci. Agron.*, Maringá, v. 28, n. 3, p. 323-329, 2006.
- TURCO, R.F. et al. Microbial indicators of soil quality. In: DORAN, J.W. et al. (Ed.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 107-124. (SSSA. Special publication, 35).
- VANCE, E.D. et al. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.*, Oxford, v. 19, n. 6, p. 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. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 24, n. 1, p. 35-42, 2000.

WARDLE, D.A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.*, Cambridge, v. 67, n. 3, p. 321-358, 1992.

WARDLE, D.A. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M.; ARAUJO, R.S. (Ed.). *Manual de métodos empregados em*

estudos de microbiologia agrícola. Brasília: Embrapa/SPI; Santo Antonio de Goiás: Embrapa/CNPAP; Londrina: Embrapa/CNPSo, 1994. p. 419-436.

XAVIER, F.A.S. *et al.* Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba – CE. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 30, n. 2, p. 247-258, 2006.

Received on June 06, 2007.

Accepted on October 17, 2007.