

# EFEITO DA APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NA ATIVIDADE MICROBIANA E NA DECOMPOSIÇÃO DA PALHADA DE SORGO EM SOLO DE CERRADO SOB PLANTIO DIRETO<sup>1</sup>

Éder Paulo Moraes Assis<sup>2</sup>, Meire Aparecida Silvestrini Cordeiro<sup>2</sup>,  
Helder Barbosa Paulino<sup>2</sup> e Marco Aurélio Carbone Carneiro<sup>2</sup>

## ABSTRACT

EFFECT OF NITROGEN APPLICATION IN THE MICROBIAL ACTIVITY IN THE STRAW DECOMPOSITION OF SORGUM IN NO TILL IN SOIL CERRADO

The microbial activity of the ground participates of diverse important processes in the ground, as the decomposition of plant and animal residues and the cycle of nutrients. Residues with high relation C/N suffer to slower decomposition, what it can immobilization of certain nutrients, mainly N. The objective from this study were to evaluate the effect of the nitrogen application in the microbial activity of the ground and in the straw decomposition of sorgum in ground of closed under no till. The study was composed of 2x6 factorial, being nitrogen applied at two levels (with N, at 30 kg ha<sup>-1</sup>, and without N), and six times (0; 15; 30; 45; 60 and 75 days after application the N), in the experimental area of Federal University of Goiás State at Jataí-GO. The carbon of the microbial biomass (C-BM), microbial respiration of the soil (Resp), organic carbon (C-org), quotient metabolic ( $qCO_2$ ), supply carbon (Est-C), rate of decomposition and half life of the straw of sorgum had been determined. The application of 30 kg ha<sup>-1</sup> of N did not influence the Resp, C-org and  $qCO_2$ , however, for C-BM the application of N provoked decrease in 20% in relation to the treatment without N. With exception of C-org, all the others had varied during the period of study. The decomposition tax was bigger in the treatments with N, that presented 21% increase. It is concluded that the application of N at 30 kg ha<sup>-1</sup> does not affect the microbial activity, however increases the rate of decomposition of the straw of sorgum.

KEY WORDS: Microbial biomass, rate of decomposition,  $qCO_2$ , microbial respiration.

## INTRODUÇÃO

A atividade biológica do solo participa de vários processos-chave no ecossistema solo, como na decomposição de resíduos vegetais e animais, na ciclagem de nutrientes e nas relações simbióticas, entre outras (Moreira & Siqueira 2002). Dentre as características biológicas do solo a biomassa

## RESUMO

A atividade microbiana do solo participa de diversos processos importantes no solo, como a decomposição de resíduos vegetais e animais e a ciclagem de nutrientes. Resíduos com alta relação C/N sofrem decomposição mais lenta, o que pode provocar imobilização de certos nutrientes, principalmente nitrogênio. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da aplicação de nitrogênio (N) na atividade microbiana do solo e na decomposição de palhada de sorgo em solo de cerrado sob plantio direto. Os tratamentos compreenderam um esquema fatorial 2x6, sendo o fator nitrogênio aplicado em dois níveis (com N, na dose de 30 kg ha<sup>-1</sup>, e sem N) e seis épocas de coleta de solo (0; 15; 30; 45; 60 e 75 dias após aplicação de N). Foram determinados o carbono da biomassa microbiana (C-BM), a respiração microbiana do solo (Resp), o carbono orgânico (C-org), quociente metabólico ( $qCO_2$ ), estoque de carbono (Est-C), a taxa de decomposição (K) e a meia vida da palhada de sorgo ( $t_{1/2}$ ). A aplicação de nitrogênio (30 kg ha<sup>-1</sup>) não influenciou as variáveis Resp, C-org e  $qCO_2$ , no entanto, a aplicação de N provocou decréscimo de 20% no C-BM em relação ao tratamento sem N. Com exceção do C-org e Est-C, todos os outros atributos variaram durante o período de estudo. A taxa de decomposição foi maior nos tratamentos com N, apresentando um aumento de 21% em relação ao controle. Conclui-se que a aplicação de 30 kg ha<sup>-1</sup> de N não afeta a atividade microbiana, no entanto, aumenta a taxa de decomposição da palhada de sorgo.

PALAVRAS-CHAVE: Biomassa microbiana, taxa de decomposição,  $qCO_2$ , respiração microbiana.

microbiana exerce importante papel, pois atua principalmente na decomposição e na ciclagem dos nutrientes e, por isso, é considerada um excelente indicador biológico da qualidade do solo (Doran & Linn 1994). A biomassa microbiana é definida como a parte viva da matéria orgânica, representa de 2 a 4% do carbono total do solo (Feigl *et al.* 1995) e é o agente de transformações bioquímicas (Jenkinson &

1. Trabalho recebido em abr./2003 e aceito para publicação em dez./2003 (registro nº 548).

2. Universidade Federal de Goiás, Centro Avançado de Jataí, Centro de Ciências Agrárias e Biológicas. Laboratório de Solos, Rod. BR 364, Km 192, Setor Parque Industrial, CEP 75800-000, Jataí, GO. E-mails: helder@jatai.ufg.br; mcarbone@jatai.ufg.br

Ladd 1981, Wardle 1994), participando ativamente do ciclo dos nutrientes (Jenkinson 1988). O entendimento dos processos microbianos é importante para o conhecimento da ciclagem de nutrientes, da dinâmica matéria orgânica, do fluxo de energia do solo e para a adoção de adequado manejo do solo (Smith & Paul 1990). Nesse sentido, a biomassa microbiana pode fornecer indicações sobre o estado de qualidade do solo (Doran *et al.* 1994).

Os resíduos orgânicos ou palhada são fonte de energia (carbono) e nutrientes para a maioria das populações microbianas do solo, aumentando a atividade biológica e melhorando as relações ecológicas (Powlson *et al.* 1987). Tão logo adicionados ao solo, os resíduos são desintegrados por processos físicos e pela ação dos componentes da macro e mesofauna e, em seguida, por processos biológicos envolvendo a ação dos microrganismos do solo. A liberação dos nutrientes a partir dos resíduos vegetais depende da atividade microbiana no solo e da qualidade desse resíduo vegetal. Materiais com alta relação C/N, como a palhada de milho (C/N=64), sofrem decomposição mais lenta (Silva & Resck 1997), e essa baixa disponibilidade de N pode prejudicar o desenvolvimento da cultura posterior pela competição entre biomassa microbiana e raízes das plantas. Isso porque o N presente nesse resíduo não é suficiente para que haja decomposição da palhada, tornando-se limitante (Jenkinson *et al.* 1990). Ocorrem, então, a imobilização microbiana desse e de outros nutrientes no solo, o que, apesar de ser por um período curto, torna-os indisponíveis para as plantas. A aplicação do nitrogênio poderá reduzir este efeito durante a decomposição dos resíduos de alta relação C/N pela biomassa microbiana.

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da aplicação de nitrogênio na atividade microbiana do solo e na decomposição da palhada de sorgo em um Latossolo submetido ao sistema de plantio direto.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em condições de campo, na área experimental do Centro de Ciências Agrárias e Biológicas/ Campus Avançado de Jataí - UFG (17°52'53" de latitude sul, 51°42'52" de longitude oeste e 696 metros de altitude), de junho a setembro de 2002, em um Latossolo Vermelho distroférrico, com quatro anos de plantio direto. O solo apresentava as seguintes características químicas e físicas: pH em água – 5,6; H+Al – 3,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Ca – 0,8

cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg – 0,6 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; K – 50,8 mg dm<sup>-3</sup>; P – 3,5 mg dm<sup>-3</sup>; MO – 25,85 g kg<sup>-1</sup>; Areia – 437 g kg<sup>-1</sup>; Silte – 230 g kg<sup>-1</sup>; Argila – 333 g kg<sup>-1</sup>. A área experimental apresentava resíduos da cultura anterior de sorgo, a qual foi roçada, sendo a palhada distribuída uniformemente (7.000 kg ha<sup>-1</sup> de palhada). A área foi irrigada por um sistema de irrigação de microaspersão, não havendo, portanto, limitação hídrica que pudesse prejudicar a atividade microbiana do solo.

O delineamento experimental foi o de blocos inteiramente casualizados, com cinco repetições, em esquema fatorial 2x6, sendo o primeiro fator constituído dos níveis de nitrogênio (com ou sem a aplicação – 30 kg ha<sup>-1</sup>, na forma de uréia), e o segundo, de seis épocas de coleta de solo (0, 15, 30, 45, 60 e 75 dias após a aplicação de N). Cada bloco, com dimensão de 6 m x 4 m, apresentava seis parcelas de 2 m x 2 m, que constituíram as diferentes épocas de amostragem. As amostras de solo foram coletadas sempre no centro das parcelas, na profundidade de 0-5 cm.

O carbono da biomassa microbiana (C-BM) foi determinado pelo método da fumigação-extração (Vance *et al.* 1987), que tem como princípio a lise das células microbianas pelo clorofórmio e a extração pelo sulfato de potássio. Foi obtido pela diferença entre as amostras fumigadas e não fumigadas utilizando o fator de correção de 0,30 proposto por Feigl *et al.* (1995). A respiração microbiana do solo foi mensurada pela captura do C-CO<sub>2</sub> produzido no solo pelo NaOH em ambiente hermeticamente fechado (Alef & Nannipiere 1995). O quociente metabólico (*q*CO<sub>2</sub>) foi determinado pela relação entre a respiração do solo e a biomassa microbiana (Anderson & Domsch 1993).

A determinação do carbono orgânico total foi realizada utilizando-se o princípio volumétrico pelo dicromato de potássio e a titulação feita com solução de sulfato ferroso amoniacal 0,05 M (Embrapa 1999). O estoque de carbono orgânico na camada de 0-5 cm (Est-C), expresso em Mg ha<sup>-1</sup>, foi estimado pela expressão: Est-C=(CO x Ds x p)/10 (D'Andréa 2001), em que: CO é o teor de carbono orgânico no solo; Ds, a densidade do solo em kg dm<sup>-3</sup> e p é a profundidade da camada estudada em centímetros.

A decomposição da palhada de sorgo foi determinada utilizando-se sacos de polietileno, com 3 g de palhada de sorgo, levados para o campo antes da aplicação do tratamento nitrogenado. Os sacos permaneceram no campo durante 75 dias e, ao final desse período, foram recolhidos e levados ao

laboratório, onde a palhada remanescente foi seca em estufa e pesada. De posse dos resultados foi determinada a constante de decomposição (K), pela equação exponencial de primeira ordem:  $A_t = A_0 e^{-Kt}$ , em que  $A_t$  é a concentração do substrato remanescente em qualquer tempo t,  $A_0$  é a quantidade de substrato no tempo zero; K é a constante de decomposição, e t é o tempo de decomposição. A estimativa da meia vida ( $t_{1/2}$ ) da palhada foi obtida pela equação (Paul & Clark 1989):

$$\ln [(A_0/2)/A_0] = -Kt_{1/2}, \text{ em que } t_{1/2} = 0,693/K$$

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância com teste F e à comparação de médias pelo teste Tukey, no nível de 5% de probabilidade.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

O carbono da biomassa microbiana (C-BM) apresentou efeito significativo ( $P \leq 0,05$ ) do tempo e do nitrogênio, não mostrando, porém, interação entre os fatores estudados. A aplicação de nitrogênio (30 kg ha<sup>-1</sup>) promoveu redução de 20% no C-BM em relação ao tratamento sem aplicação de N (Figura 1). Os teores de C-BM teve incremento no início do estudo apresentando um máximo de biomassa microbiana aos 15 dias com posterior decréscimo até os 60 dias (Figura 2). A importância principal da determinação da biomassa microbiana em áreas sob plantio direto está no fato da competição entre os microrganismos do solo e as raízes das plantas pelos nutrientes, principalmente por nitrogênio. A adoção desse sistema de cultivo requer a formação de palhada, que, geralmente, é obtida com espécies vegetais que apresentam alta relação C/N, como por exemplo, a aveia preta, milho e o sorgo entre outros.

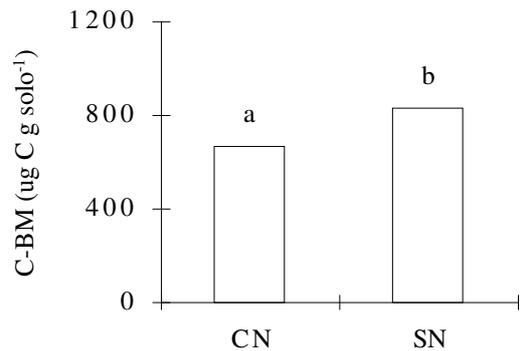


Figura 1. Carbono da biomassa microbiana (C-BM) na presença (CN) e na ausência (SN) da aplicação de nitrogênio (as letras acima das colunas indicam uma diferença estatística entre as médias, pelo teste Tukey, a 5 % de probabilidade)

Durante o processo de decomposição desses resíduos, os microrganismos utilizam os nutrientes do solo, imobilizando-os em sua biomassa, tornando-os indisponíveis para as plantas, mesmo que temporariamente.

Estudos conduzidos em áreas sob plantio direto, no Paraná, demonstram que a aplicação de nitrogênio, 30 kg ha<sup>-1</sup>, no plantio do milho, reduziu o efeito da competição durante o processo de decomposição dos resíduos vegetais (no caso, de aveia preta) pela biomassa microbiana do solo (Sá 1999). Apesar da biomassa microbiana, neste estudo, ter apresentado efeito negativo, quando se aplicou nitrogênio, o seu comportamento nesse período foi semelhante ao de outros estudos (Constantini *et al.* 1998, Tarafdar *et al.* 2001), isto é, um aumento da biomassa microbiana e conseqüentemente maior imobilização de nutrientes, principalmente de nitrogênio, no início do estudo (até 15 dias).

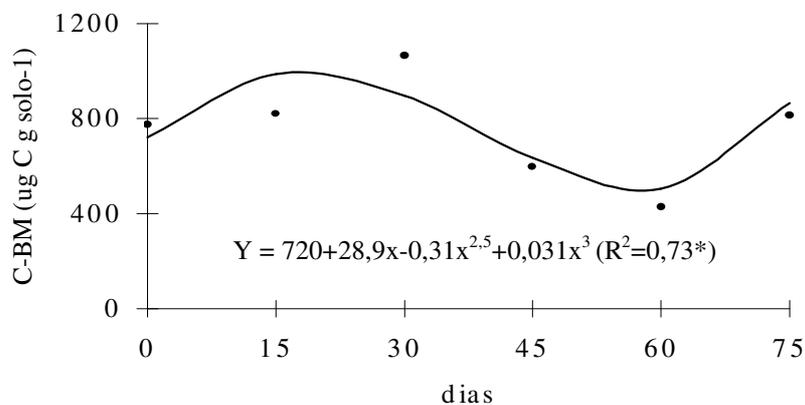


Figura 2. Evolução do carbono da biomassa microbiana (C-BM) em solo sob palhada de sorgo (\* valor significativo a 5% de probabilidade)

Tabela 1. Tabela 1. Respiração (Resp), quociente metabólico ( $qCO_2$ ), carbono orgânico (Corg) e estoque de carbono (Est-C) em função do tempo nas amostras

Variáveis	tempo (dias)						equação
	0	15	30	45	60	75	
Resp (mg C g solo h <sup>-1</sup> )	2,67	2,88	5,50	3,18	4,99	4,45	Y=2,61+0,067x+0,00006x <sup>2</sup> (R <sup>2</sup> =0,42*)
$qCO_2$ (μg C-CO <sub>2</sub> μg C-BM)	3,64	4,31	5,25	6,90	12,24	5,36	Y=2,65+0,19x-0,002x <sup>2</sup> (R <sup>2</sup> =0,42*)
Corg (g C Kg solo <sup>-1</sup> )	16,40	15,51	15,65	15,59	15,15	16,12	ns <sup>1</sup>
Est-C (Mg ha <sup>-1</sup> )	10,17	9,62	9,70	9,66	9,39	10,00	ns <sup>1</sup>

<sup>1</sup> - ns: regressões não significativas a 5% de probabilidade (Teste F).

A respiração do solo não apresentou efeito significativo com a adição de nitrogênio, no entanto, houve aumento com o tempo (Tabela 1). Observou-se que a partir de 30 dias a respiração foi máxima, liberando 5,5 μg C-CO<sub>2</sub> g h<sup>-1</sup>, mantendo-se semelhante até o final do estudo, aos 75 dias. Até aos 15 dias pode estar ocorrendo mudança na composição microbiana do solo, ou seja, seleção de microorganismos capazes de decompor esse resíduo, por isso, não foi observado aumento na respiração. Após esse período de 30 dias, ocorre o máximo de respiração, associada ao aumento do carbono da biomassa microbiana do solo. Já a partir dos 45 dias, observou-se um maior gasto de energia (liberação de C pela respiração) para manter uma menor biomassa microbiana, o que pode ser confirmado pelo aumento do  $qCO_2$  (Tabela 1), que se apresentou menor no início do estudo, atingindo o máximo aos 60 dias. O quociente metabólico ( $qCO_2$ ) é considerado como a taxa de respiração específica da biomassa microbiana (Anderson & Domsch 1993) e maiores valores são encontrados em condições adversas à população microbiana, onde os microrganismos gastam mais energia (C) para a sua manutenção. Isso

pode ocorrer em sistemas jovens ou que receberam adição recente de substrato (Grisi 1996), o que corrobora os resultados do presente estudo.

Para o carbono orgânico (C-org) e o estoque de carbono no solo (Est-C), não houve efeitos significativos dos tratamentos estudados. Apesar de C-org ser considerado um indicador sensível às alterações promovidas no solo, o tempo de estudo não foi suficiente para promover alterações na sua concentração. Segundo Turco *et al.* (1994), alteração na concentração do C-org podem levar mais de dois anos.

A constante de decomposição (K) e a meia vida ( $t_{1/2}$ ) da palhada de sorgo foram influenciadas significativamente pela aplicação de N (Figura 3). Observou-se que a constante K no tratamento com nitrogênio (decomposição dada por:  $y = 3,0.e^{-0,00601.x}$ , com R<sup>2</sup>=0,99\*\*, em que y é o substrato remanescente e x é expresso em dias) foi superior ao tratamento sem nitrogênio ( $y = 3,0.e^{-0,00509.x}$ , com R<sup>2</sup>=0,99\*\*). Isso reflete na meia vida da palhada que, quando se aplica nitrogênio, tem uma aceleração do seu processo de decomposição em 21%, relativamente ao tratamento sem aplicação desse elemento. Em

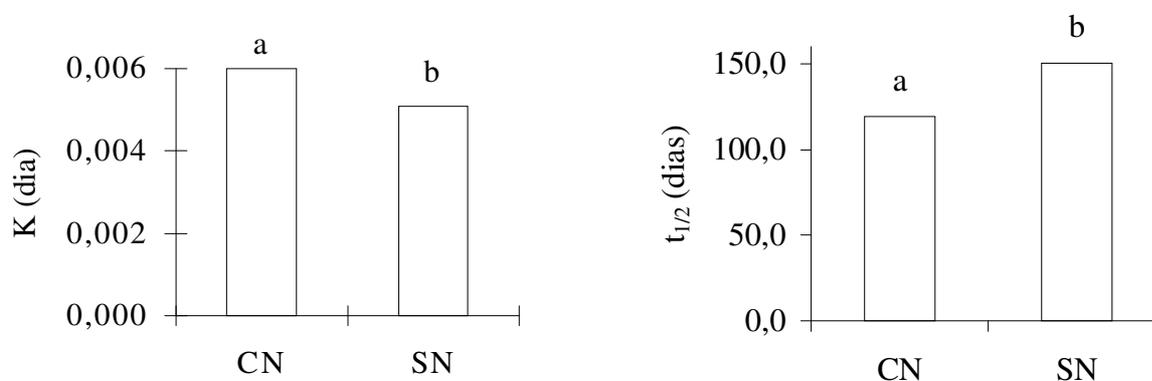


Figura 3. Taxa de decomposição (K) e 000meia vida da palhada de sorgo ( $t_{1/2}$ ), sob a presença (CN) e ausência (SN) de aplicação de N (as letras acima das colunas indicam uma diferença estatística entre as médias, pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade)

palhada de aveia (C/N: 40:1), a aplicação de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N promoveu aumento de 69% na sua decomposição em relação ao tratamento sem N (Ernani *et al.* 2002). No sul do Brasil, Bortoluzzi & Eltz (2000) encontraram resultados semelhantes, onde a palhada de aveia, numa lavoura de soja, foi reduzida em 50% após 53 dias da aplicação de N. No presente estudo, estimou-se que após 119 dias ocorrerá a decomposição de 50% da palhada de sorgo, quando se aplica o nitrogênio, sendo que na ausência, este fato somente ocorrerá após 150 dias. O tempo necessário para decompor essa palhada, no presente estudo, foi superior ao de estudos anteriormente citados devido à menor quantidade de nitrogênio aplicada.

O conhecimento da decomposição de resíduos é importante para a adoção de um manejo adequado à proteção e manutenção da sustentabilidade de solo. Essa proteção ocorre por dois processos, primeiro devido à proteção mecânica do resíduo contra o impacto da gota de chuva no solo e da compactação do solo promovida pela movimentação de maquinários agrícolas, e segundo, que após a decomposição, várias substâncias microbianas e mesmo advindas dos resíduos são agentes cimentantes que proporcionam maior agregação do solo. A aplicação de nitrogênio diminui a relação C/N da palhada de sorgo e ativa o processo microbiano de decomposição, realizado principalmente por bactérias e fungos, que são considerados os decompositores primários (Smith 1994). No presente estudo não foi detectado aumento da biomassa microbiana, o que se deve principalmente à baixa quantidade de N aplicado. Além disso, a palhada não foi incorporada ao solo, e o N aplicado provavelmente ficou retido nela, o que proporcionou aumento da sua decomposição (K), sem, no entanto, afetar a atividade microbiana do solo, corroborando outros estudos (Constantini *et al.* 1998, Sakamoto & Oba 1991). Portanto, a aplicação de nitrogênio sobre a palhada aumenta a sua decomposição, o que pode proporcionar maior liberação de nutrientes imobilizados na palhada.

## CONCLUSÃO

A aplicação de nitrogênio sobre a palhada de sorgo, na dose de 30 kg ha<sup>-1</sup>, não afeta a atividade microbiana do solo, o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico, porém aumenta a taxa de decomposição e diminui a meia vida dessa palhada.

## REFERÊNCIAS

- Alef, K. & P. Nannipieri (Ed.). 1995. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. London, Academic Press. 576 p.
- Anderson, J. P. E. & K. H. Domsch. 1993. The metabolic quotient ( $qCO_2$ ) as specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 25 (3): 393-395.
- Bortoluzzi, E. C. & F. L. F. Eltz. 2000. Efeito do manejo mecânico da palha de aveia preta sobre a cobertura, temperatura, teor de água no solo e emergência da soja em sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24 (2): 449-457.
- Constantini, A., A. Segat, D. L. Almeida & H. De-polli. 1998. Efecto de diferentes fertilizantes sobre el carbono de biomassa microbiana, respiración y rendimiento bajo cultivo de lechuga. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 33 (1): 71-76.
- D'Andréa, A. F. 2001. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema de manejo no sul de Goiás. *Dissertação de mestrado*. Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais. 106 p.
- Doran, J. W., D. C. Coleman; D. F. Bezdicek, & B. A. Stewart. (Ed.) 1994. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Wisconsin: ASA. 244 p.
- Doran, J. W. & D. M. Linn. 1994. Microbial ecology of conservation management systems. p 3-21. In J. L. Hatfield & B. A. Stewart (Ed.). *Soil Biology: Effects on soil quality*. Adv. Soil Sci. CRC Press Inc. 353 p.
- Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa agropecuária. 1999. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Embrapa Solos, Brasília. 370 p.
- Ernani, P. R., L. Sangoi & C. Rampazzo. 2002. Lixiviação e imobilização de nitrogênio num nitossolo como variáveis da forma de aplicação da uréia e da palha de aveia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26 (4): 993-1000.
- Feigl, B. J., M. J. Melillo & C. C. Cerri. 1995. Changes in the origin and quality of soil organic matter after pasture introduction in Rondônia (Brazil). *Plant and Soil*, 175 (1): p.21-29.
- Grisi, B.M. 1996. Participação da microbiota na ciclagem de nutrientes. In *Simpósio Brasileiro sobre Microbiologia do Solo*, 4. Águas de Lindóia, São Paulo. Campinas, Software Gráfico Comercio e Serviços/Bicca Produções S/C. CD-ROM (Anais).
- Jenkinson, D. S. 1988. Determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil. p. 368-386. In J. R. Wilson. (Ed.). *Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems*. CAB Int., Wallingford, England. 687 p.
- Jenkinson, D. S. & J. N. Ladd. 1981. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. p. 425-471. In E. A. Paul

- & J. N. Ladd (Eds.). *Soil Biochemistry*. Marcell Dekker, New York. 286 p.
- Jenkinson, D. S., J. A. Ocio & P. C. Brookes. 1990. Field incorporation of straw and its effects on soil microbial biomass and soil inorganic N. *Soil Biology Biochemistry*. 23 (1):171-176.
- Moreira, F. M. S. & J. O. Siqueira. 2002. *Microbiologia e bioquímica do solo*. UFLA, Lavras. 626 p.
- Paul, E. A. & F. E. Clark. 1989. *Soil microbiology and biochemistry*. San Diego: Academic Press. 275 p.
- Powlson, D. S., P. C. Brookes & B. J. Christensen. 1987. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw decomposition. *Soil Biology and Biochemistry*. 19 (2): 159-164.
- Sá, J. C. de M. 1999. Manejo da fertilidade do solo no Sistema Plantio Direto. p. 267-320. In J. O. Siqueira, F. M. S. Moreira, A. S. Lopes, L. R. G. Guilherme, V. Faquin, A. E. Furtini-Neto & J. G. Carvalho. (Ed.) *Inter-relação Fertilidade, Biologia do solo e Nutrição de Plantas*. SBCS, Viçosa; UFLA/DCS, Lavras. 818 p.
- Sakamoto, K. & Y. Oba. 1991. Relationship between the amount of organic material applied and soil biomass content. *Soil Science and Plant Nutrition*, 37 (2): 387-397.
- Silva J. E. & D. V. S. Resck. 1997. *Matéria orgânica do solo*. p. 465-516. In M. A. T. Vargas & M. Hungria. *Biologia dos solos do cerrado*. Embrapa-CPAC, Planaltina. 524 p.
- Smith, J. L. & E. A. Paul. 1990. The significance of soil microbial biomass estimations. p. 357-396. In J. M. Bollag, & G. Stotzky, (Eds.). *Soil Biochemistry*. Vol. 6. Marcel Dekker, New York. 367 p.
- Smith, J. L. 1994. Cycling of nitrogen through microbial activity. p.91-120. In J. L. Hatfield & B. A. Stewart. (Ed). *Soil Biology: effects on soil quality*. CRC Press, Boca Raton. 317 p.
- Tarafdar, J. C., S. C. Meena, & S. Kthju. 2001. Influence of straw size on activity and biomass of soil microorganisms during decomposition. *Eur. J. Soil Biol.*, 37 (1): 157-160.
- Turco, R. F., A. C. Kennedy & M. D. Jawson. 1994. Microbial indicators of soil quality. p.73-90. In J. W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek, & B. A. Stewart. (Ed.). *Defining soil quality for sustentable environment*. Soil Science Society of America, Madison. Special Publication Number 35. 410 p.
- Vance, E. D., P. C. Brookes & D. S. Jenkinson. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology Biochemistry*, 19 (6): 703-707.
- Wardle, D. A. 1994. Metodologia para a quantificação da biomassa microbiana do solo. p. 419-436. In M. Hungria & R. S. Araújo. (Ed.). *Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola*. Embrapa-SPI, Brasília. 312 p.