

JERUSA SCHNEIDER

**ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DE UM LATOSSOLO BRUNO
SUBMETIDO A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO E CALAGEM.**

LAGES – SC

2007

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS
MESTRADO EM CIÊNCIA DO SOLO**

JERUSA SCHNEIDER

**ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DE UM LATOSSOLO BRUNO
SUBMETIDO A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO E CALAGEM.**

**Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de mestre no Curso de
Pós-Graduação em Ciência do Solo da
Universidade do Estado de Santa Catarina –
UDESC.**

Orientador: Prof. Dr. Osmar Klauberg Filho

LAGES – SC

2007

JERUSA SCHNEIDER
Graduada em Agronomia – CAV/UDESC - Lages-SC

**ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DE UM LATOSSOLO
BRUNO SUBMETIDO A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO E
CALAGEM.**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Aprovado em:

Pela banca examinadora

Homologado em:

Por

Prof. Dr. Osmar Klauberg Filho
UDESC/CAV

Dr. Osmar Klauberg Filho
Coordenador Técnico do Curso de Mestrado em
Ciência do Solo - Coordenador do Programa de
Mestrado em Agronomia.

Dr. Milton da Veiga
EPAGRI - SC

Prof. Dr. Julio Cesar Pires Santos
UDESC/CAV

Dr. Adil Knackfuss Vaz
Diretor Geral do Centro de Ciências
Agroveterinárias – UDESC/Lages-SC

Prof. Dr. Álvaro Luiz Mafra
UDESC/CAV

Prof. Dr. Jefferson L. M. Coimbra
UDESC/CAV

À Deus, pela preciosa vida

OFEREÇO.

Aos meu pais

Jaime Meskche e Ezoni Terezinha Schneider,
pela oportunidade de estudar e confiança em mim
depositada ao longo de toda minha vida

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida, saúde e condições físicas, morais e psicológicas para a realização de todas as tarefas em minha vida.

Ao Dr. Osmar Klauberg Filho, pela oportunidade, incentivo, orientação, ensinamentos e confiança depositados em mim durante o mestrado.

Ao curso de Agronomia e ao curso de Mestrado em Ciência do Solo da Universidade de Ciências Agroveterinárias, pelos ensinamentos e oportunidade para a realização desse curso.

À Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA) pela disposição do projeto de pesquisa, apoio, infra-estrutura para execução desse trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

À pesquisadora Dr. Sandra Mara Vieira Fontoura pela ajuda e incentivo durante a realização desse trabalho.

Ao Dr. Julio Cesar Pires Santos (Bijagica) pela amizade e ensinamentos.

Aos professores que contribuíram para a minha formação profissional, Álvaro Luiz Mafra, Jaime Antonio de Almeida, Paulo Roberto Ernani, Ildegardis Bertol, Jackson Albuquerque, Paulo Cezar Cassol e Jéfferson Coimbra, pela ajuda e boa formação que a mim foi concebida.

As colegas de mestrado, Aline, Cedinara, Cezar, Claudinei, Daniele, Denice, Diego, Elen, Elaine, Fabrício, Guilherme, Henrique, James, Jaqueline, João, Joni, Lisiane, Michele, Priscila, Rodrigo, Tatiana(s), Wilson, pela amizade e companheirismo.

Aos funcionários, Fernando Ramos, Claudia Ramos, Gilberto Luiz Françosi, Mario, Carlão e demais, pela ajuda direta ou indireta nestes dois anos de estudo e pesquisa.

Aos bolsistas de iniciação científica, Gabriel Martins e Guilherme Napoli.

Aos bolsistas colaboradores, Anelize Nunes, David Buratto, Andressa Calgarotto pelo apoio e ajuda na realização das análises.

Aos meus familiares, mãe, pai, avós, tios, tias, primos, pelo apoio incondicional.

Ao Mauricio Vicente Alves pela força, incentivo e companheirismo.

Sou grata também, a todos que direta ou indiretamente, com palavras ou com atitudes contribuíram para a realização desse trabalho.

ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DE UM LATOSSOLO BRUNO SUBMETIDO A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO E CALAGEM.

RESUMO

Autora: Eng. Agr. Jerusa Schneider

Orientador: Prof. Dr. Osmar Klauberg Filho

O trabalho foi conduzido no município de Guarapuava, PR, em um Latossolo Bruno aluminoso, utilizando-se um experimento implantado em 1978. O objetivo deste estudo foi analisar os efeitos dos diferentes sistemas de manejo do solo e calagem sobre a biomassa microbiana e sua atividade em relação ao C e N do solo. Avaliaram-se três sistemas de manejo do solo sem aplicação de calcário e três com calcário incorporado: Plantio direto sem calcário (PDsem) e com calcário incorporado (PDinc); Preparo reduzido sem calcário (PRsem) e com calcário incorporado (PRinc) e; Preparo convencional sem calcário (PCsem) e com calcário incorporado (PCinc). As amostragens foram realizadas na camada de 0-10 cm de solo, em janeiro e agosto de 2006, para a quantificação dos teores de carbono da biomassa microbiana (Cmic), pelo processo de oxidação úmida após fumigação por 24 horas; carbono orgânico total (Corg), através da análise química com oxidação sulfocrômica úmida; nitrogênio da biomassa microbiana (Nmic) e nitrogênio total (Ntotal), ambos através da destilação e digestão; relação Cmic:Corg e relação Nmic:Ntotal. A atividade microbiana foi estimada através da respiração basal microbiana das amostras de solo (evolução de C-CO₂) seguindo a metodologia descrita por Jäggi. Utilizou-se os resultados de C-CO₂ e do Cmic para calcular o quociente metabólico (qCO_2), que representa a quantidade de C-CO₂ evoluída em um determinado tempo, por unidade de C microbiano. A determinação do CBM foi realizada por titulação e do Nmic por pré-digestão e destilação, conforme o método de Kjeldahl. Foi avaliada, ainda, a colonização e comprimento extra-radicular total do solo, seguindo a metodologia proposta por Koske & Gemma e Melloni, respectivamente. A C-CO₂ e o qCO_2 tiveram taxas maiores no preparo convencional e menores no plantio direto permitindo, assim, discriminar os sistemas quanto à sustentabilidade do C no solo. Os teores de CBM variaram conforme o sistema de manejo testado, diferentemente dos teores de C-orgânico, que variaram somente entre as épocas de amostragem. Os três fatores (sistemas de manejo, calagem e época de coleta) interagiram para determinar a variação do Nmic e a relação Cmic:Nmic. A colonização micorrízica e o seu comprimento extra-radicular foram maiores no sistema plantio direto em relação aos demais sistemas estudados.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas de manejo do solo, calagem, biomassa microbiana, atividade microbiana, micorrizas.

SOIL MICROBIOLOGICAL ATRIBUTTES OF A BROWN LATOSOL SUBMITTED TO DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS AND LIMING

ABSTRACT

Author: Eng. Agr. Jerusa Schneider

Adviser: Prof. Dr. Osmar Klauberg Filho

This work was performed conducted in the Guarapuava city, state of Paraná, in a southern brazilian oxisol, in a trial established in 1978. The aim of this work was to analyse the effect of different soil managment systems and liming on the microbial biomass and its activity related to C and N in the soil. The managment systems evaluated were: no-tillage with lime incorporated (PDinc); no-tillage without liming (PDsem); reduced tillage system with lime incorporated (PRinc); reduced tillage system without liming (PRsem); conventional tillage with lime incorporated (PCinc), and; conventional tillage without liming (PCsem). Soil samples were performed in the 0-10 cm soil layer, and in two distinct times (january and august, 2006), in order to quantify the levels of the microbial biomass carbon (MBC), by the wet oxidation method after fumigation for 24 hours; total organic carbon (TOC), by the chemical analyses with wet sulfocromic oxidation; microbial biomass of nitrogen (MBN) and total nitrogen (TN), both by distillation and digestion; MBC:TOC ratio, and MBN:TN ratio. The microbial activity estimation was determined through the microbial basal respiration of the soil samples (evoluted C-CO₂) according to Jäggi. The results of C-CO₂ and MBC were used to calculate the metabolic quotient ($q\text{CO}_2$), that represents the content of C-CO₂ evoluted in a range time for unity of microbial C. The MBC determination was performed by titulation, and MBN by pre-digestion and distillation according to Kjeldahl method. The colonization and hyphal length were also evaluated according to the methodology proposed by Koske & Gemma and Melloni, respectively. The C-CO₂ and $q\text{CO}_2$ showed the higher rates in conventional tillage, and the lower in No-tillage, what allows discriminate the systems in relation to C sustainability in the soil. The contents of MBC varied among the managment system, and the contents of organic-C did not varied among tillage systems, varying only between sampling times. The three factors (managment system, liming and sampling times) interacted to determine the MBN variation and MBC:MBN ratio. The mycorrhizal colonization and hyphal length were higher in the no-tillage system.

Key-words: soil managment systems, liming, microbial biomass, microbial activity, mycorrhiza.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Características químicas e físicas do solo determinadas em amostras coletadas na camada de 0-10 cm de profundidade, em seis sistemas de manejo do solo, em Guarapuava, PR, no ano de 2006. Médias de 2 épocas e 3 repetições. 24
- Tabela 2.** Análise da variância do teor de carbono orgânico total, em três sistemas de manejo do solo, dois sistemas de calagem e duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. 33
- Tabela 3.** Análise da variância do estoque de carbono orgânico total (Corg), em três sistemas de manejo do solo, dois sistemas de calagem e duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. 34
- Tabela 4.** Análise da variância do teor de carbono da biomassa microbiana (Cmic), em três sistemas de manejo do solo, dois sistemas de calagem e duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. 36
- Tabela 5.** Teor de carbono microbiano (Cmic), em dois sistemas de calagem e duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Médias de 3 sistemas de manejo do solo e 3 repetições. 38
- Tabela 6.** Análise da variância para a relação entre C-microbiano e C-orgânico total (Cmic/Corg) em três sistemas de manejo do solo, dois sistemas de calagem, duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. 39
- Tabela 7.** Relação entre o C-microbiano e o C-orgânico (Cmic/Corg) na camada de solo de 0-10 cm, em três sistemas de manejo do solo e dois sistemas de calagem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Médias de 2 épocas de amostragem e 3 repetições. (desdobramento da interação) 40
- Tabela 8.** Relação entre o C-microbiano e o C-orgânico (Cmic/Corg) na camada de solo de 0-10 cm, em três sistemas de manejo do solo e duas épocas de amostragem, em um

Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Médias de 2 sistemas de calagem e 3 repetições. (desdobramento da interação)	41
Tabela 9. Relação entre o C-microbiano e o C-orgânico (Cmic/Corg) na camada de solo de 0-10 cm, em dois sistemas de calagem e duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Médias de 3 sistemas de manejo e 3 repetições. (desdobramento da interação)	41
Tabela 10. Análise da variância para respiração basal microbiana e quociente metabólico em três sistemas de manejo do solo dois sistemas de calagem, duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR.	43
Tabela 11. Respiração microbiana basal do solo (evolução de C-CO ₂) na camada de 0-10 cm, em três sistemas de manejo e dois sistemas de calagem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Médias de 2 épocas de coleta e 3 repetições. (desdobramento da interação)	44
Tabela 12. Respiração microbiana basal (evolução de C-CO ₂) na camada de solo de 0-10 cm, em três sistemas de manejo do solo e duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Médias de 2 sistemas de calagem e 3 repetições. (desdobramento da interação).....	45
Tabela 13. Quociente metabólico do solo (qCO ₂) na camada de solo de 0-10 cm, em três sistemas de manejo do solo e dois sistemas calagem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Médias de 2 épocas de amostragem e 3 repetições. (desdobramento da interação).....	47
Tabela 14. Quociente metabólico (qCO ₂) na camada de solo de 0-10 cm, em três sistemas de manejo e duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Médias de 2 sistemas de calagem e 3 repetições. (desdobramento da interação)	48
Tabela 15. Análise da variância para Nitrogênio da Biomassa Microbiana (Nmic) e Nitrogênio Total (NT) em três sistemas de preparo do solo, dois sistemas de calagem e duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR.	49
Tabela 16. Nitrogênio total do solo (Ntotal) na camada de solo de 0-10 cm, em três sistemas de manejo e dois de calagem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Médias de 2 épocas de amostragem e 3 repetições. (desdobramento da interação)	50
Tabela 17. Nitrogênio da biomassa microbiana na camada de solo de 0-10 cm, em três sistemas de manejo do solo, calagem e duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Média de 3 repetições. (desdobramento da interação tripla).....	51

Tabela 18. Análise da variância para a relação entre o N-microbiano e o N-total (Nmic/NT) em três sistemas de preparo do solo, dois sistemas de calagem e duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR.....	52
Tabela 19. Análise da variância para a relação entre C-microbiano e N-microbiano (Cmic/Nmic) em três sistemas de preparo do solo, dois sistemas de calagem e duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR.	54
Tabela 20. Relação carbono da biomassa microbiana (Cmic) e nitrogênio da biomassa microbiana (Nmic) na camada de solo de 0-10 cm, em três sistemas de manejo e dois sistemas de calagem e duas épocas de amostragens, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Média de 3 repetições. (desdobramento da interação tripla).....	55
Tabela 21. Análise da variância para colonização radicular e comprimento de micélio extra radicular total, em diferentes três sistemas de preparo do solo, dois sistemas de calagem e duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR.	56
Tabela 22. Colonização micorrízica em três sistemas de manejo do solo e dois de calagem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Médias de 2 épocas de amostragem e 3 repetições. (desdobramento da interação)	57
Tabela 23. Colonização micorrízica em três sistemas de manejo do solo e duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Médias de 2 sistemas de calagem e 3 repetições. (desdobramento da interação)	58
Tabela 24. Comprimento micelial extra-radicular (CMET) na camada de 0-10 cm, em três sistemas de manejo e dois de calagem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Médias de 2 épocas de amostragem e 3 repetições. (desdobramento da interação).....	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Imagem de satélite do experimento no Campo Experimental da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA).....	21
Figura 2. Precipitação e temperatura média mensal, determinadas durante o ano de 2006 em estação meteorológica situada nas proximidades do experimento	25
Figura 3. Carbono orgânico total na camada de 0-10 cm, em três sistemas de manejo, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR.. Médias de 2 sistemas de calagem, 2 épocas de amostragem e três repetições....	31
Figura 4. Estoque de carbono orgânico total (ECOT) em duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Média de 3 sistemas de manejo do solo, 2 sistemas de calagem e 3 repetições.....	35
Figura 5. Teor de carbono microbiano (Cmic) em três sistemas de manejo do solo, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Médias de 2 sistemas de calagem, 2 épocas de amostragem e 3 repetições.....	36
Figura 6. Relação N_{mic}/N_{total} do solo na camada de 0-10 cm, em duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Média de 3 sistemas de manejo, 2 sistemas de calagem e 3 repetições.....	53
Figura 7. Comprimento micelial extra-radicular (CMET) na camada de 0-10 cm, em duas épocas de coleta, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Média de 3 sistemas de manejo do solo, 2 de calagem e 3 repetições.....	59

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	Hipóteses	2
1.2.	Objetivos.....	3
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1.	Qualidade do solo	4
2.2.	Indicadores microbiológicos da qualidade do solo	5
2.2.1.	Biomassa microbiana.....	5
2.2.2.	Respiração microbiana	7
2.2.3.	Nitrogênio microbiano.....	9
2.3.	O Sistema Plantio Direto e a biomassa microbiana do solo	10
2.4.	Efeito das raízes sobre a biomassa microbiana do solo.....	16
2.5.	Micorrizas e a dinâmica do carbono.....	18
3.	MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1.	O experimento	21
3.2.	Histórico da área, delineamento experimental e tratamentos	22
3.3.	Solo e localização	23
3.4.	Clima	25
3.5.	Sistemas estudados	26
3.6.	Amostragens e avaliações.....	27
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1.	Dinâmica do Carbono orgânico no solo	31
4.2.	Dinâmica do Nitrogênio do solo.....	48

4.3.	Relação entre C-microbiano e N-microbiano (Cmic/Nmic) do solo.....	53
4.4.	Colonização micorrízica e comprimento de micélio extra-radicular do solo.....	56
5.	CONCLUSÃO.....	63
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas conservacionistas de exploração agrícola, entre os quais o sistema de plantio direto (SPD), tem como princípio manter e/ou aumentar o teor de matéria orgânica no solo (MOS). O SPD se destaca de outros sistemas de manejo por propiciar aumento no teor de MOS, o que é atribuído à proteção física e química da MOS ocasionada pela manutenção dos resíduos na superfície, alteração da estrutura do solo e maior aporte de resíduos quando utilizada rotação de culturas (HAVLIN et al., 1990; CARTER, 1992, CAMBARDELLA & ELLIOT, 1992; BAYER & BERTOL, 1999; SÁ, J. 2001), resultando no aumento da fauna (MUELLER et al., 1990; PARMELEE et al., 1990) e da biomassa microbiana do solo (CARTER & RENNIER, 1982; FOLLET & SCHIMEL, 1986; LIMA et al., 1994; BALOTA et al., 1998).

Recentes estimativas elaboradas pela Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha (FEBRAPDP, 2006) indicam que aproximadamente 22 milhões de hectares na safra 2003/04, do território brasileiro são cultivados no SPD. A adoção desse sistema vem aumentando exponencialmente, principalmente em áreas de fronteira agrícola, como o cerrado brasileiro. Entretanto, as áreas que há mais tempo adotam o SPD estão localizadas na Região Sul do país, principalmente na região chamada de Campos Gerais do Paraná, que se destaca pela geração e difusão de tecnologia (BORGES, 1993). Essas áreas são de fundamental importância para os estudos que pretendem prever a dinâmica da MOS e seus compartimentos ao longo do tempo.

A biomassa microbiana do solo (BMS) constitui parte do componente vivo da MOS, que inclui as raízes ativas e os organismos menores do que 0,2 mm. Representa menos que 5% da MOS e é a fração mais lábil, com o tempo de ciclagem estimado em 0,24 anos na região tropical (PAUL & VORONEY, 1983). Estudos sobre a quantidade e qualidade da BMS no SPD e sobre os fatores que a influenciam ainda são escassos em solos das regiões subtropical e tropical.

Existe, portanto, necessidade de gerar informações sobre a BMS nesses solos com o propósito de, num futuro próximo, utilizar o estoque de nutrientes nela contida para otimizar o uso de fertilizantes químicos (ou minerais). Esse é o ponto forte a ser considerado na agricultura moderna, principalmente pelo elevado custo de aquisição e aplicação de adubos. A BMS atua como agente de transformação da MOS, na ciclagem de nutrientes e no fluxo de energia do solo, além de constituir uma fonte potencial de N, P, S, e outros nutrientes para as plantas. Os teores de C, N e P na BMS têm sido usados com indicadores sensíveis de alterações na dinâmica destes nutrientes no solo, auxiliando na escolha de sistemas de manejo do solo. Entretanto, a sua quantidade e qualidade estão associadas a diversos fatores intrínsecos e extrínsecos à matriz do solo, como variações de textura num mesmo tipo de solo, efeito cumulativo desse tipo de manejo, além da qualidade e quantidade dos resíduos produzidos acima e abaixo da superfície do solo pela sequência de culturas.

Outro atributo importante, e que é pouco estudado em sistemas de preparo do solo, é a biomassa micelial de fungos do solo, especialmente dos fungos micorrízicos, e sua relação com a estabilidade de agregados, já que estes podem atuar agrupando partículas individuais do solo, auxiliando em outros processos de formação e estabilização das unidades estruturais do solo (LEWANDOWSKI & ZUMWINKE, 1999). Assim, a determinação do comprimento do micélio fúngico pode também ser um indicador importante da qualidade do solo. Os fungos micorrízicos constituem importante componente da ciclagem do C no solo, devido à sua direta influência sobre a produtividade primária, graças ao seu impacto na absorção de nutrientes e água pelas plantas; sobre a estabilidade de agregados do solo; e por sua imensa biomassa e produção de glomalinas (ZHU & MILLER, 2003), proteínas de alta estabilidade produzidas por hifas de fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Apesar do impacto evidente, poucos são os estudos sobre o papel desses organismos no ciclo do C.

1.1. Hipóteses

A adoção de sistemas conservacionistas de manejo do solo, como o plantio direto e o preparo reduzido, favorece, à longo prazo, a densidade e atividade da biota do solo, em particular

a biomassa microbiana e a simbiose micorrízica arbuscular, com efeitos sobre a dinâmica do carbono e nitrogênio na camada superficial do solo, promovendo melhorias ou garantindo a manutenção da sua qualidade.

1.2. Objetivos

O presente trabalho teve por objetivo geral estudar o efeito de sistemas de manejo do solo e da calagem na dinâmica do C e N microbiano e total do solo e na associação micorrízica arbuscular em um Latossolo Bruno de Guarapuava (PR), com plantio de soja (verão) e consórcio nabo/ervilha (inverno). Assim, os objetivos específicos são:

- Avaliar o teor de C e N microbiano e total do solo e a atividade microbiana (respiração microbiana basal) do solo no plantio direto, preparo mínimo e convencional, com e sem calagem, durante a cultura da soja (verão) e da nabo/ervilhaca (inverno);
- Avaliar a colonização radicular da soja e ervilhaca e a produção de micélio extraradicular de fungos micorrízicos durante o cultivo de soja e ervilhaca nos diferentes sistemas de preparo do solo, com e sem calagem.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Qualidade do solo

Sabe-se que a rápida degradação do solo sob exploração agrícola no mundo, especialmente nos países tropicais, em desenvolvimento, resulta quase sempre do seu manejo inadequado, o que se constitui, portanto, uma ameaça para a sustentabilidade e qualidade do meio ambiente (LAL, 1989; REICOSKY et al., 1995). A qualidade do solo, conceito que atribui ao solo várias funções, entre as quais àquelas responsáveis por manter a produção vegetal, é proposta como um indicador integrado da qualidade do ambiente e da sustentabilidade do sistema de produção (KENNEDY & PAPENDICK, 1995). Os atributos do solo considerados indicadores de mudança de sua qualidade, devem ter a capacidade de serem sensíveis ao manejo, numa escala de tempo que permita a verificação de suas alterações e permita sua definição (ISLAM & WEIL, 2000). Entre os vários indicadores de qualidade do solo, os de caráter microbiológico são considerados como os mais sensíveis, dado o relacionamento entre atividade e diversidade microbiana na qualidade do solo e da vegetação e na sustentabilidade do ecossistema (DORAN & PARKIN, 1994).

Estimativas de diversidade, biomassa e atividade microbiana podem ser indicadores úteis de qualidade do solo, pois a biomassa microbiana assume função importante na decomposição da matéria orgânica do solo (MOS). Não existem dúvidas de que as atividades antrópicas são as grandes responsáveis pela diminuição da diversidade microbiana, e que as alterações na biomassa e na atividade microbiana são decorrentes das perdas de qualidade e/ou quantidade da MOS na superfície do solo (NDAW et al., 2002).

São várias as justificativas para o uso de microrganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade do solo, destacando-se a sua capacidade de responder rapidamente a mudanças no ambiente do solo derivadas de mudanças de manejo, além do fato de que a atividade microbiana reflete a influência conjunta de todos os fatores que regulam a degradação da MOS e a transformação dos nutrientes (KENNEDY & PAPENDICK, 1995; STENBERG, 1999).

A biodiversidade do solo é o indicador biológico que apresenta o comportamento mais desconhecido no ambiente, principalmente seu componente microbiano. Apesar de importante para a sustentabilidade dos agroecossistemas, a diversidade microbiana tem sido considerada uma “caixa preta” em estudos de qualidade do solo (WALDROP et al., 2000).

Chaer et al. (2002), objetivando quantificar a biomassa microbiana e avaliar as atividades de respiração, de enzimas ligadas à ciclagem de nutrientes, da nitrificação e mineralização de nitrogênio em solos de uma área experimental com eucalipto submetido a diferentes manejos, concluíram que os indicadores microbiológicos mostraram-se mais sensíveis do que os químicos ou físicos para se avaliar mudanças na qualidade do solo decorrentes do manejo.

2.2. Indicadores microbiológicos da qualidade do solo

2.2.1. Biomassa microbiana

A matéria orgânica do solo (MOS) constitui em uma mistura de resíduos de plantas e animais do solo, em vários estágios de decomposição, de substâncias sintéticas por processos químicos e biológicos e de corpos de microrganismos e pequenos animais mortos. Na sua formação ocorrem processos simultâneos de novas adições de materiais, de decomposição e de sintetização de novos compostos, o que mostra seu caráter transitório e dinâmico. Esses materiais estão continuamente submetidos ao ataque de microrganismos que, em busca de energia e de construção de sua biomassa, tornam o carbono o elemento de maior destaque no estudo da matéria orgânica (SCHNITZER, 1991).

A biomassa microbiana do solo (BMS) é o principal componente do subsistema de decompositores que regula a ciclagem de nutrientes, o fluxo de energia, a produtividade das plantas e dos ecossistemas, portanto, a medição desse compartimento e sua atividade são relevantes para a conservação dos solos (SPARLLING, 1992; WARDLE & GHANI, 1998; DE-POLLI & GUERRA, 1999).

O tamanho da comunidade microbiana e a sua atividade determinam a intensidade com que os processos bioquímicos acontecem. Logo, a atividade e a biomassa microbiana, entre outros fatores, são influenciadas pela temperatura, umidade, aeração e disponibilidade de substrato no solo (CATTELAN & VIDOR, 1990). A fertilidade natural do solo depende significativamente da ciclagem dos nutrientes contidos na matéria orgânica, podendo ser estimada pela biomassa do solo. Assim, o declínio na atividade microbiana terá alto impacto na fertilidade natural do solo, com grandes efeitos nos ecossistemas naturais (BROOKES, 1995).

Para Grisi (1996) a biomassa microbiana é uma característica muito dinâmica e nunca deve ser analisada isoladamente como a única maneira de se estimar a situação das populações de microrganismos. Ela deve ser analisada juntamente com a sua atividade, face à extrema heterogeneidade do ambiente natural da microbiota e da sua biodiversidade, sendo considerada mais sensível às mudanças a qualidade do solo do que as características químicas como C e/ou N orgânico total (ANDERSON & DOMSCH, 1989). Segundo Cattelan et al. (1997), diferentes sistemas de rotações de culturas e diferentes níveis de adubação e calagem podem alterar os resultados da biomassa microbiana e os teores de MOS.

Há relatos de que as mudanças nos atributos microbiológicos, causadas pelo preparo do solo e sucessão de culturas, podem ser detectadas anteriormente às mudanças nos teores de C e N total do solo (POWLSON & JENKILSON, 1981; CARTER, 1986; ANDRADE, 1995; BALOTA, 1997). Desse modo, a biomassa microbiana (BM) pode ser utilizada para indicar o nível de degradação do solo (HART, 1989; SMITH & PAUL, 1990; DORAN & PARKIN, 1994; BALOTA, 1998). Importantes resultados obtidos em trabalhos realizados por Ferreira et al (2000) relatam diferenças significativas na biomassa e atividade microbiana entre os sistemas de plantio direto e plantio convencional e entre sistemas de rotação e sucessão de culturas. O uso de diferentes implementos agrícolas no preparo do solo também pode alterar a biomassa microbiana do solo (RAMOS et al., 2001).

Silva et al., (2002) objetivando quantificar o carbono da biomassa microbiana em diferentes sistemas de manejo do solo, em cinco profundidades de um Latossolo Vermelho-Escuro, em uma área virgem típica do Cerrado, observaram que tanto a dinâmica de sistemas de preparo do solo, como a sucessão e/ou rotação de culturas, têm efeitos sobre a biomassa microbiana.

D'Andrea et al. (2002) concluíram, em trabalhos avaliando alterações nos atributos microbiológicos em solo de cerrado nativo, que a instalação de pastagens e sistemas de manejo agrícola reduziu os teores de biomassa microbiana na camada superficial do solo. Observaram ainda, que a profundidade exerceu efeito sobre o carbono da biomassa microbiana, com maiores valores na camada superficial do solo, sendo 100% maiores em relação a camadas mais profundas.

Avaliando a dinâmica do carbono da biomassa microbiana em diferentes profundidades de um Latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de manejo, Ferreira et al. (2002) observaram que, em relação ao comportamento médio no perfil, o valor encontrado para o carbono da BM na área de vegetação típica de cerrado foi significativamente maior do que os demais. Os maiores valores de carbono da BM foram encontrados nas camadas superficiais do solo.

2.2.2. Respiração microbiana

A respiração é um dos mais antigos processos utilizados para quantificar a atividade microbiana. A respiração reflete a degradação dos restos culturais, dos exsudatos das raízes, da matéria orgânica nativa, dos compostos orgânicos adicionados ao solo (pesticidas, esterco, etc), do carbono orgânico, ciclagem de nutrientes e resposta ao manejo do solo (PARKIN et al., 1996).

Os diferentes métodos de preparo do solo, com diferentes características, provocam modificações nos fatores como temperatura, umidade, aeração e disponibilidade de substratos no solo (dependente da forma como os resíduos das culturas anteriores são depositados) e do grau de revolvimento do solo, influenciando dessa forma na atividade e na biomassa microbiana.

Em trabalho desenvolvido por Balota (1998), os quais avaliaram as alterações na atividade microbiana em um Latossolo Roxo em Londrina (PR) sob diferentes sistemas de

manejo e sucessão de culturas, concluiu-se que a atividade da biomassa microbiana mostrou-se boa indicadora das alterações microbianas ocorridas no solo, conforme o manejo.

Avaliando a influência de diferentes sistemas de manejo do solo na biomassa microbiana em um Latossolo Vermelho (Dourados-MS), Mercante et al. (2002) observaram que as rotações/sucessão de culturas afetaram a biomassa microbiana do solo, quando comparado ao sistema natural (mata nativa), conforme o manejo do solo e a época de avaliação. Quanto à atividade microbiana os valores mais reduzidos foram obtidos no sistema convencional de manejo em relação aos demais sistemas.

Avaliando o efeito de diferentes sistemas de manejo na densidade do solo, atributos químicos e atividade microbiana, de um Latossolo Vermelho, Valpassos et al. (2001) concluíram que o uso continuado do plantio direto resultou nas mais altas taxas de C-biomassa microbiana e menor perda relativa de carbono pela respiração basal, podendo determinar, dessa forma, maior acúmulo de C no solo em longo prazo, proporcionando melhoria na densidade aparente e nos atributos químicos do solo. Assim, o sistema de plantio direto com rotação de culturas, mostrou-se uma alternativa para a conservação e manutenção das condições físicas e do potencial produtivo dos solos.

O quociente metabólico (qCO_2) é considerado muito importante na avaliação dos efeitos das condições ambientais sobre a atividade microbiana do solo, sendo referido como taxa de respiração específica da biomassa (ANDERSON & DOMSCH, 1993). Quociente esse que é expresso em quantidade de CO_2 por quantidade de carbono da biomassa microbiana por unidade de tempo. Apresenta grande potencial para a compreensão do desenvolvimento microbiana no ecossistema em estudo, e o seu uso pode ajudar a resolver questões sobre a estrutura da comunidade, como esta se relaciona com sua função, e decidir se o surgimento ou desaparecimento de populações na comunidade microbiana, em termos de energia, é vantajoso ou não. Portanto, também é um bom indicador do grau de desenvolvimento de um ecossistema, podendo ser indicador do grau de reabilitação (CARNEIRO, 2000).

Segundo Wardle e Ghani (1998) distúrbios no solo elevam o qCO_2 , enquanto o período de sucessão primária, desenvolvimento do ecossistema durante a sucessão secundária, adaptação do sistema de cultivo e diminuição da poluição promovem a diminuição desta relação. Entretanto, há várias limitações quanto ao uso desse quociente, porque se confundem efeitos de

distúrbios (por exemplo, alterações rápidas das condições ambientais) com aqueles de estresses (por exemplo, não tão severas).

Avaliando as alterações nos aspectos microbiológicos do solo em função da adoção de diferentes sistemas de cultivo, Marques et al. (2002) observaram, para a respiração do solo, interação entre os efeitos dos diferentes sistemas de manejo do solo e a posição de coletas das amostras, se na linha ou entrelinha. Observaram, também, maior taxa de respiração na área sobre manejo com glifosate nas entrelinhas, provavelmente em razão do mato presente na área na época da coleta das amostras. A menor taxa de respiração foi observada sob manejo de grade, não diferindo da grade/roçadeira e leguminosas.

2.2.3. Nitrogênio microbiano

A entrada de nitrogênio (N) no ciclo biológico ocorre via decomposição atmosférica de compostos nitrogenados, principalmente amônio, pela fixação biológica de N_2 (FBN) e pela mineralização da matéria orgânica (SCHLESINGER, 1997). A alternância de ciclos de seca e chuva acelera a ciclagem de N disponível no solo e as flutuações de umidade induzem oscilações na população de microrganismo, resultando na liberação de nutrientes que influenciam a assimilação de outros nutrientes essenciais pelas plantas (ORIANI et al., 1996).

Os componentes orgânicos do solo incluem resíduos de plantas e animais, biomassa microbiana, constituintes de metabólitos microbianos e paredes celulares adsorvidas em colóides e húmus (CAMPBELL et al., 1984). A disponibilidade de N para as plantas é limitada pela mineralização, onde as formas orgânicas de N são convertidas em amônio (NH_4^+) e depois em nitrato (NO_3^-), via nitrificação pelas bactérias *Nitrosomonas* e *Nitrobacter* (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002).

As formas de N inorgânico (NH_4^+ e NO_3^-) são assimiladas pela população microbiana do solo e pelas plantas. Sua disponibilidade para as plantas depende da taxa de mineralização. Se a demanda pela biomassa microbiana for alta, a concentração de N inorgânico no solo declina, o que é chamado de imobilização. O aumento das concentrações de N inorgânico do solo, que ocorre quando a demanda da população microbiana é reduzida, representa a mineralização líquida (SCHLESINGER, 1997), um índice de disponibilidade de N para as plantas.

A liberação de N pode também ocorrer devido à limitação da comunidade microbiana por carbono. As taxas de mineralização líquida de N são utilizadas como indicadores de fertilidade do solo e podem refletir o potencial de perdas de N por lixiviação ou pela emissão de gases (VITOUSEK & MATSON, 1985).

A biomassa microbiana do solo compreende fonte potencial de N e outros nutrientes para as plantas e os fluxos através do reservatório microbiano podem ter de particular relevância no solo (SANTOS & CAMARGO, 1999). O nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) indica o potencial de reserva de N. Quanto maior o compartimento de NBM, menores serão as perdas do N no sistema, e maior a fração lábil da matéria orgânica prontamente disponível no solo e potencialmente utilizada para as plantas.

A biomassa microbiana é considerada tanto um agente de transformação, por meio do qual passam todos os materiais orgânicos adicionados ao solo, quanto um reservatório de nutrientes (JENKINSON, 1977), sendo seu estudo de grande importância em sistemas de manejo do solo, uma vez que influencia na dinâmica dos nutrientes e na fertilidade do solo. As quantidades de nutrientes imobilizadas na biomassa podem atingir valores bastante elevados, podendo se situar acima de 100 kg ha^{-1} no caso do N (ANDERSON & DOMSCH, 1980).

O N retido na biomassa é liberado na medida em que os microrganismos morrem e são mineralizados pela população remanescente, razão pela qual, em solos submetidos a estresses ambientais, a maior parte do N mineralizado pode ser de origem microbiana (MARUMOTTO et al., 1982). Portanto, a biomassa microbiana atua como um tampão do N do solo, uma vez que controla a disponibilidade desse nutriente, por meio dos processos de mineralização e imobilização.

2.3. O Sistema Plantio Direto e a biomassa microbiana do solo

O SPD proporciona condições favoráveis ao desenvolvimento dos microrganismos na camada superficial do solo devido a princípios como o não revolvimento do solo, a calagem, a adubação e a deposição dos resíduos das culturas na superfície. Em consequência disso, a BMS e a sua atividade geralmente são maiores nas camadas superficiais do solo nesse tipo de sistema quando comparado com o preparo convencional (LYNCH & PANTICH, 1980; DORAN, 1980;

CARTER & RENNIE, 1982). O sistema de cultivo convencional, com maior perturbação, acarreta em maior perda de MOS e, por consequência, diminuição da BMS (DORAN, 1980). Já o SPD tende a aumentar tanto a MOS como seu compartimento microbiano, uma vez que a redução das interferências mecânicas diminui a amplitude do impacto de fatores ambientais como temperatura e precipitação.

McCarty et al (1998) observaram que mudanças em curto prazo ocorriam durante a transição de sistemas de cultivo mais intenso para SPD (três anos). Mostraram que a estratificação da matéria orgânica, mensurada como aumentos de N total, C orgânico e C e N microbianos, ocorreu da camada mais superficial (0-5 cm) para as mais profundas (5-20 cm) do solo. A mesma estratificação foi observada 20 anos após a adoção do SPD. Consequentemente, a atividade biológica e as reservas de C e N orgânicos também estavam concentradas na superfície (aproximadamente 0-7,5 cm) constituindo uma reserva potencial de nutrientes relativamente disponíveis para as plantas (DORAN et al., 1994). O SPD representa, portanto, um ecossistema diferente do sistema convencional para a atividade biológica na superfície do solo.

A maior retenção de C e N orgânicos no solo sob SPD está associada ao aumento da agregação das partículas do solo (BEARE et al., 1994). Os agregados protegem fisicamente a MOS por formar uma barreira que isola os microrganismos do substrato, influenciando também na interação da cadeia trófica e na ciclagem da BMS (ELLIOTT & COLEMAN, 1998).

Os resultados obtidos por Sá (2001) em áreas com 20 anos sob SPD na fazenda Sta. Branca em Tibagi (PR), sugerem que o acúmulo de C orgânico nas camadas superficiais pode estar relacionado com a macroagregação, que conduz à proteção física da MOS entre os agregados. A taxa de agregação mais elevada é favorecida quando se tem adição semestral de resíduos das culturas, liberação e deposição de polissacarídeos e outras substâncias orgânicas resultantes do processo de mineralização, combinadas com ausência de revolvimento do solo. O autor sugere que o tempo de ciclagem do C e os mecanismos de proteção física de MOS sejam os principais fatores que diferenciam os resultados obtidos em solos manejados sob SPD em clima tropical e temperado.

Os microrganismos, aliados às raízes e à fauna do solo, são os principais agentes iniciadores da formação dos agregados (AMÉZKETA, 1999). No entanto, segundo Six et al. (2002), em solos tropicais são encontrados outros agentes agregantes com ação físico-química na formação dos macroagregados, que são os óxidos de Fe e Al. Na fase inicial da formação dos

macroagregados atuam, portanto, forças de origem biológica e físico-química. Os microrganismos são classificados como agentes ligantes temporários dos agregados, pois polissacarídeos e outras substâncias orgânicas resultantes do seu metabolismo são transientes, enquanto os materiais humificados, associados aos cátions polivalentes, são persistentes no solo (TISDALL & OADES, 1982).

O teor de argila também é um fator de agregação no solo, porém seu efeito é dependente da mineralogia. Considerando as características físico-químicas, as argilas 2:1 possuem maior capacidade de formação de agregados que argilas 1:1, por exemplo. Do ponto de vista biológico, solos com alto teor de argila podem facilitar a aderência dos microrganismos, principalmente das bactérias, podem proteger de inimigos (nematóides), e reter os nutrientes. Por outro lado, dificultam as trocas de gases e a infiltração de água (JUMA, 1993; HASSINK, et al., 1993). Os fatores negativos podem, no entanto, ser amenizados com a mudança da estrutura do solo quando se emprega sistemas conservacionistas como o SPD (JUMA, 1993).

O estudo do efeito do SPD está em expansão em várias regiões do mundo. Experimento realizado na região central da Argentina comparou as propriedades biológicas dos solos cultivados continuamente por seis anos com milho de forma convencional (aração e gradagem), com cultivo mínimo e sob SPD. As concentrações de C-orgânico e de C-microbiano eram maiores no SPD do que no cultivo convencional na camada 0-5 cm devido à menor perturbação do solo. Nesse caso, o solo manejado sob SPD foi mais eficiente na conservação do C-orgânico e microbiano (CONSTANTINI et al., 1996).

Kandeler et al. (1999) também compararam as propriedades biológicas dos solos austríacos sob diferentes formas de manejo (convencional, mínimo e reduzido ou SPD) e observaram que a diversidade funcional (com base na atividade microbiana e enzimática) foi maior já no primeiro ano sob cultivo mínimo e sob SPD, assim permanecendo por oito anos. Tanto a BMS, a taxa de mineralização do N, o potencial de nitrificação, como a atividade enzimática (protease, xilanase e fosfatase), foram dependentes das mudanças do manejo do solo. A diversidade dos componentes da comunidade microbiana do solo pode ter sido uma das razões desse resultado, afetando a taxa de ciclagem do C-microbiano e a disponibilidade dos nutrientes para a planta.

Estudo realizado no México por Salinas-Garcia et al. (2002) mostrou que o SPD alterou a distribuição e a concentração dos resíduos das culturas, do C orgânico, do C e N-

microbianos, do potencial de mineralização do N, do N-total e do P-extraível no perfil do solo. Atribuíram a causa do fato à concentração dos resíduos na superfície do solo no SPD e cultivo mínimo, oferecendo condições ótimas para a ciclagem de nutrientes e aumento da BMS. O aumento da MOS foi considerado a mudança mais importante nesses solos. Solos cultivados de forma convencional têm a matéria orgânica distribuída de forma mais uniforme no perfil. No SPD, como já foi dito acima, ocorre uma estratificação, com maior concentração de MOS na superfície do solo. A biomassa e os processos microbianos acompanham esse padrão e, em consequência, são significativamente maiores do que no sistema convencional.

Vários estudos sobre a BMS foram realizados na região leste dos Estados Unidos, local de origem do SPD na América do Norte (Ohio, Kentucky e Illinois). Doran (1980) estudou o efeito do manejo do solo na composição microbiana, comparando SPD e sistema convencional. Observou aumento da BSM e mudanças nos grupos funcionais como nitrificadores (oxidantes de amônio e nitrito) e aumento considerável de desnitrificadores na camada 0-7,5 cm. Outros autores (LYNCH & PANTICH, 1980; CARTER & RENNIER, 1982) também verificaram aumento da BMS em SPD em relação ao sistema convencional.

Diversos estudos sobre biomassa também foram realizados no Brasil nos últimos anos. Começaram no Sul do país, região pioneira na adoção do SPD, com o grupo do professor Caio Vidor da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Em 1983, Silva & Vidor (1984) avaliaram o efeito de práticas de manejo na comunidade microbiana em três localidades da região fisiográfica das Missões (RS) e verificaram que o sistema convencional não diferiu do SPD. No entanto, a rotação de culturas e o cultivo de pastagens aumentaram a comunidade bacteriana e fúngica do solo. O método empregado na avaliação da comunidade microbiana foi a da contagem em placas de Petri. Como se sabe hoje, este método é pouco preciso para estimar a BMS.

Lima et al. (1994) verificaram no mês de julho, em um Latossolo Vermelho escuro manejado por 14 anos em SPD na região de Ponta Grossa (PR), que houve um aumento de 160% do C-microbiano na camada 0-5 cm em relação ao sistema convencional.

Balota et al. (1998) avaliaram o C e N-microbianos e a atividade da BMS por três anos (1992 a 1995) em um experimento instalado em um Latossolo Roxo distrófico com histórico de 20 anos de SPD em Londrina (PR). Os autores constataram que com a adoção do plantio direto promovem um aumento no C e N-microbianos de respectivamente 118% e 101% nas diversas épocas amostradas em relação ao preparo convencional.

Na região do cerrado brasileiro Mendes et al. (2000) verificaram que na época chuvosa os níveis de C-microbiano da camada 0-5 cm de um solo cultivado com milho e guandu sob SPD foram 1,7 e 1,5 vezes maiores que os teores observados no sistema convencional.

Balota et al. (2003) concluíram um estudo de longo tempo de duração em que o SPD foi comparado ao plantio convencional na estação experimental do Instituto de Agrônomo do Paraná (IAPAR) em Londrina (PR) e constataram que o manejo do solo ou rotação de culturas afeta a imobilização de nutrientes do solo. A grande quantidade de C imobilizado na forma de BMS sugere que o solo sob SPD confere maior quantidade de C-lábil à MOS do que o sistema convencional.

Como se pode observar, a maioria dos trabalhos encontrados na literatura compara a BMS no SPD com diferentes sistemas de manejo do solo. Entretanto, poucos tratam da evolução do SPD e seu impacto nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Carter & Rennier (1982) avaliaram os três tipos de propriedade em uma cronossequência formada por áreas com 2, 4, 12 e 16 anos de plantio direto no oeste do Canadá e observaram um aumento gradual do C e N total em função do tempo de adoção e diminuição do C e N-microbianos na área mais antiga. Stanley et al. (1988) estudaram uma cronossequência de 20 anos de plantio direto, onde verificaram que houve um aumento de 35% no C-microbiano na camada 0-7,5 cm e de 17% na camada de 7,5-15 cm em relação ao tempo zero, quando o solo era manejado sob preparo convencional. Na cronossequência formada por um campo nativo, uma área de preparo convencional sobre campo nativo e duas áreas de SPD com 10 e 20 anos, Venzke Filho (1999) verificou que C-microbiano diminuiu e o N-microbiano e a respiração basal permaneceram iguais em função tempo de adoção do SPD. O N-microbiano apresentou correlação positiva com o N-total e com a respiração basal do solo, ou seja, a atividade biológica do solo. Observa-se nos estudos acima que os teores de C e N-microbiano comportaram-se diferentemente em função do tempo de adoção do SPD, provavelmente devido à influência de outros fatores sobre a microbiota e a sua atividade, tais como os tratamentos culturais (adubação, calagem e aplicação de agroquímicos) e a sequência de culturas.

A BMS, por ter ação catalítica sobre a MOS, é a chave que controla os processos de mineralização-imobilização dos nutrientes no solo. Por esta razão ela é um dos principais componentes dos modelos de ciclagem de nutrientes (PAUL, 1983; VEEN et al., 1985), e

potencialmente um dos indicadores para recomendação de fertilizantes industrializados, principalmente os nitrogenados (SPARLING & ROSS, 1993). Entretanto, não está claro se a quantidade de BMS pode fornecer uma dimensão da taxa de mineralização da MOS, como sugerido por Parkinson & Paul (1982). Resultados obtidos por Puri & Ashman (1998) mostram que somente uma parte da biomassa microbiana está ativa e envolvida com a mineralização do N. Segundo Duxbury et al. (1991), o N-mineral, N-mineralizável e N-microbiano são compartimentos do N-ativo, devido à participação dos mesmos nos processos de mineralização-imobilização do N. Através de técnica de diluição isotópica, McCarty et al. (1995) mostraram que o N-microbiano tem uma alta correlação ($r= 0,96$) com N-ativo. Sendo o N-mineral um importante compartimento do processo de mineralização-imobilização do N no solo, cabe estudar a sua relação com a biomassa microbiana.

A quantidade e a composição da BMS são influenciadas por diversos fatores: o tempo de adoção do sistema de cultivo; a rotação de culturas e textura do solo. Com o passar do tempo ocorrem alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo no SPD. Dick et al. (1991) mostraram que as alterações nas propriedades do solo sob SPD em Ohio – EUA são detectadas nos primeiros 10 anos de adoção, mas que é difícil serem detectadas nos primeiros anos (2 ou 3 anos). Já Rhoton (2000) observou que os primeiros quatro anos de SPD acarretam alterações nas propriedades relacionadas à erodibilidade e fertilidade, demonstrando a sustentabilidade do sistema. Sá (2001) verificou, em Latossolo Vermelho sob SPD, melhora nas propriedades químicas e aumento da fertilidade do solo com carga variável ao longo tempo de adoção.

A rotação de culturas é uma das características essenciais do SPD, sendo que o seu uso é recomendado por aumentar a estabilidade dos agregados do solo (BRUCE et al., 1990; AMÉZKETA, 1999), além de disponibilizar mais C ao solo quando cultivada uma gramínea ou N ao solo (fixar N atmosférico) quando é cultivada uma leguminosa. Tais efeitos têm a capacidade de influenciar a disponibilidade de nutrientes para a cultura subsequente (AMADO et al. 1998). A influência de determinada planta sobre a BMS pode ser direta, como no caso do efeito seletivo da rizosfera (NEAL, et al., 1973), ou indireta, por meio da diversificação das fontes de C nos resíduos culturais, que podem ser mais ou menos susceptíveis à decomposição enzimática pelos microrganismos (HERMAN et al., 1977; STRUWE & KJELLER, 1985; RAHN & LILLYWHILE, 2001). A maioria dos produtores da região sul do Brasil adota na rotação a

seqüência de culturas: milho ou soja no verão e aveia ou trigo no inverno. A literatura conta com poucos estudos que abordam o efeito dessas seqüências sobre a BMS sob SPD. O uso de práticas conservacionistas destaca-se por recuperar gradativamente o teor de MOS, o que se reflete no aumento do tamanho dos agregados, ou seja, promove a proteção física das moléculas orgânicas (SIX et al. 2002). Maior proteção física da MOS foi comprovada em solos com textura fina em comparação com os de textura grossa, resultando em maiores teores de C e de BMS (JENKINSON, 1977; HASSINK, 1993).

2.4. Efeito das raízes sobre a biomassa microbiana do solo

A planta tem a capacidade de, através do seu sistema radicular, influenciar os microrganismos e vice-versa. O local físico no solo onde ocorre a interação entre o sistema radicular da planta com os microrganismos é chamado de rizosfera (BOLTON JUNIOR et al., 1993). O solo rizosférico tem características bem diferentes do solo mais distante das raízes (não rizosférico). A planta pode modificar a rizosfera através da mudança de pH, de potencial redox, de concentração de íons, e da liberação de compostos orgânicos (ROVIRA, 1979; MARSCHNER, 1995). Muitos destes compostos são fontes de nutrientes ou inibidores de crescimento para os microrganismos (CURL & TRUELOVE, 1986).

Do ponto de vista da absorção de nutrientes, da agregação das partículas minerais e da atividade microbiológica, é desejável que as plantas apresentem um amplo sistema radicular. Sua extensão e natureza podem variar desde raízes finas e fibrosas, comuns em gramíneas perenes, até raízes grossas, encontradas em espécies herbáceas. Em geral as raízes ocupam menos que 1% do volume da camada superficial dos solos agricultáveis (BARBER, 1995). A densidade de raízes no solo varia com a espécie vegetal. Situa-se no intervalo de 1 a 5 cm cm⁻³ na camada superficial em culturas anuais, podendo chegar a 50 cm cm⁻³ em gramíneas com hábito perene (BARBER, 1995).

A BMS depende da incorporação da MOS como fonte de energia para seu desenvolvimento. Na rizosfera, a entrada de MOS ocorre através da liberação de exsudatos, da escamação de células devido ao atrito contra as partículas minerais e da senescência dos pêlos radiculares e das raízes. O raio de influência do sistema radicular depende da textura do solo e da

morfologia da raiz (MERCKX et al., 1986; NEERGAARD & MAGID, 2001). Nos solos argilosos essa influência se limita à cerca de 2 mm em torno das raízes, podendo ser mais abrangentes em solos arenosos.

Carvalho (1997) estudou a variação da BMS mês a mês durante um ano em solo sob SPD. O autor verificou que o índice pluviométrico, a entrada de resíduos e a plena atividade rizosférica na fase de florescimento e enchimento de grãos, foram os parâmetros que influenciaram a BMS. Pesquisadores como Lynch & Panting (1980), Silva Filho & Vidor (1984), Cattelan & Vidor (1990) também observaram um aumento da BMS quando a planta se encontrava nos estádios fenológicos em que há grande atividade rizosférica. É sabido que a rizosfera exerce efeito sobre a BMS por disponibilizar fontes de carbono e nitrogênio facilmente assimiláveis (GRIFFIN et al., 1976).

Mello Ivo & Mielniczuk (1999) estudaram o efeito de três métodos de preparo do solo (convencional, reduzido com escarificação e plantio direto) sobre a morfologia de raízes de milho. Observaram no plantio direto que as raízes apresentaram, no final do ciclo, maior diâmetro médio nas camadas 10-15 cm e 25-35 cm e maior densidade de comprimento das raízes na camada de 0 a 5 cm. Por outro lado, no preparo convencional a maior concentração de raízes ocorreu entre os 10 e 15 cm de profundidade. Esses autores atribuíram esses resultados ao fato de ocorrer, no SPD, uma camada rígida (compactada) abaixo de 5 cm no solo analisado, e de haver maior umidade e maior concentração de nutrientes na superfície.

A entrada de MOS através do sistema radicular é expressiva. Evidentemente há variações entre espécies vegetais, porém, no geral, as gramíneas incorporam mais material que as leguminosas. Um estudo mostra que as raízes contribuem muito mais com o aumento do carbono orgânico no solo que os resíduos das culturas no SPD (GALE & CAMBARDELLA, 2000).

O SPD fundamenta-se na rotação de culturas. Entretanto, cada cultura tem características intrínsecas de morfologia e atividade fisiológica das raízes, o que poderá resultar em efeito diferenciado sobre a BMS. É evidente a falta do conhecimento do efeito da distribuição, da morfologia e da fisiologia das raízes e suas interações complexas com o ambiente físico, químico e biológico do solo sob SPD, especialmente com relação a BMS.

2.5. Micorrizas e a dinâmica do carbono

O ciclo do C de compostos orgânicos do solo é um componente fundamental de ecossistemas terrestres, sendo um dos elementos reguladores dos fluxos de gases entre a biosfera e a atmosfera. Os principais elementos definidores da magnitude e rapidez desse ciclo são: a relação entre a produtividade primária e a distribuição do C entre a parte aérea e as raízes, assim como os processos de mineralização e imobilização (BRADY, 1989). Um dos indicadores utilizados para determinar a eficiência desse processo é a biomassa microbiana e sua atividade. A quantidade de C drenada direta ou indiretamente da atmosfera pelas funções microbianas é incerta, mas certamente depende de variáveis como estrutura da cobertura vegetal, manejo, quantidade e qualidade de resíduos orgânicos adicionados, clima e fatores edáficos, as mesmas variáveis que regulam a abundância, riqueza e atividade de FMA (LOVELOCK & EWEL, 2005).

Os fungos micorrízicos constituem importante componente do ciclo do C no solo, devido à sua direta influência sobre a produtividade primária, graças ao seu impacto na absorção de nutrientes e água por plantas e na estabilidade de agregados do solo, bem como por sua imensa biomassa e produção de glomalinas (ZHU & MILLER, 2003), proteínas de alta estabilidade produzidas por hifas de FMA. Apesar do impacto evidente, poucos são os estudos, em especial em sistemas tropicais, sobre o papel desses organismos no ciclo do C.

Estudos usando ^{14}C demonstraram que fotossintetatos são deslocados da parte aérea para as hifas poucas horas após este elemento marcado ter sido fornecido (BUCKING & SHACHAR-HILL, 2005). Esses resultados confirmam que FMAs são um dreno importante de C da planta, podendo impor perdas de até 20% do C fixado pelo simbiote autotrófico. Como resposta da planta ao dreno imposto pelo sistema micorrízico, há aumentos significativos de sua taxa fotossintética, ocasionando aumentos no potencial da produtividade primária e dreno de C da atmosfera (JAKOBSEN et al., 2002). Estima-se que, globalmente, FMAs possam ser responsáveis pelo dreno anual de cinco bilhões de toneladas (5Gt) de C aos solos (BAGO et al., 2000). As consequências desse fenômeno são ainda desconhecidas, seja nas propriedades do solo, seja em escala global, nas relações referentes às mudanças globais e ao papel desta simbiose no sequestro de C da atmosfera. Pode-se especular sobre a necessidade de ampliar as linhas de investigação das FMAs para além de seus aspectos nutricionais.

Fungos micorrízicos podem, portanto, serem considerados canais de drenagem do C da atmosfera para o solo, via planta, por terem acesso direto a fontes de C da planta. Essa característica os diferencia de boa parte dos microrganismos saprófitas, que adquirem açúcares (energia) a partir de fontes diversas e espacialmente limitadas. Esses organismos obtêm energia de uma quantidade e qualidade de fontes orgânicas praticamente ilimitadas, desde que as plantas estejam metabolicamente ativas quando colonizadas. Essa vantagem competitiva lhes confere uma significativa parcela da biomassa microbiana do solo (BAGO et al., 2000; GRAHAM, 2000). Entretanto, alguns métodos tradicionais de quantificação da biomassa microbiana baseada na técnica de respiração induzida pelo substrato não conseguem detectar essa imensa contribuição micorrízica.

Esses métodos discriminam a detecção da biomassa micelial. Isso porque a técnica da respiração induzida (ANDERSON & DOMSCH, 1978) é aplicada a amostras de terra destorroadas e peneiradas. Nesse processo, hifas micorrízicas são fragmentadas e suas conexões às plantas, ou seja, à única fonte de C, são destruídas. Como consequência, a “indução” por adição de sacarose ao substrato é indiferente ao fungo, uma vez que este é incapaz de mobilizar açúcares que não sejam fornecidos por plantas. Dessa maneira, como os FMAs não conseguem mobilizar fontes externas de açúcares, sendo dependentes obrigatórios da planta para este fim, o método subestima a contribuição fúngica.

A biomassa de fungos micorrízicos não deve ser desconsiderada. Apesar de boa parte do C transferido ao fungo retornar à atmosfera via respiração, aproximadamente 25% deste C pode ser acumulado no micélio extra-radicular, o qual pode representar 90% da biomassa de hifas do FMA (OLSSON et al., 1999). O micélio intra-radicular, por sua vez corresponde a 3-20% do peso das raízes (SMITH & READ, 1997). Considerando-se a biomassa micelial e desconsiderando esporos, vesículas ou células auxiliares, podem ser encontrados valores de biomassa próximos aos do próprio sistema radicular. Extensões superiores a 70 m de hifas por grama de solo já foram registradas em solos sob pastagem. Em solos em regiões tropicais, esses valores são em geral menores (30-50 m g⁻¹ de hifa no solo), talvez devido à maior taxa de ciclagem ou acidez (VAN AARLE et al., 2002, 2003). Considerando-se que mais de 50% do comprimento de hifas no solo advêm de fungos micorrízicos (RILLIG et al., 2002), correspondendo a 0,03-0,5 mg g⁻¹ em peso de hifas extra-radulares secas, conclui-se que FMAs representam uma grande e funcionalmente significativa parcela da biomassa microbiana,

podendo, apenas as hifas extra-radiculares, chegar a 1 t ha^{-1} , considerando-se os 20 cm superficiais do perfil. Adicionalmente, se o solo não for perturbado e os agregados mantidos intactos, a meia-vida de hifas ricas em quitina, uma molécula recalcitrante e de difícil decomposição, pode chegar a 25 anos (RILLIG et al., 2001). Hifas são, portanto, um importante reservatório de C no solo, ainda não incorporado nos estudos de sua ciclagem.

Outro dreno não desprezível são os próprios esporos. Em condições controladas, em placas de Petri contendo raízes transformadas, podem-se observar mais de 40.000 esporos. Portanto, não existe restrição, do ponto de vista genético (da planta ou do fungo), na produção de imensas quantidades de propágulos fúngicos. Como de 45 a 95 % do pool de C em esporos é constituído por lipídeos, pode-se concluir que essas estruturas são potencialmente um importante dreno de C garantido pelos simbioses autotróficos, em algumas situações ainda mais significativas que as encontradas em hifas (BAGO, 2000).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. O experimento

O experimento foi instalado no Campo Experimental da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA), situado no município de Guarapuava, no Planalto Médio Paranaense (Figura 1).



Figura 1. Imagem de satélite do experimento no Campo Experimental da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA).

3.2. Histórico da área, delineamento experimental e tratamentos

Originalmente a área consistia de campo nativo, com sistema tradicional de pastagem extensiva. Foi arada pela primeira vez em 1950, e cultivada por 12 anos com arroz e trigo. De 1962 até 1968, após a introdução de trevo branco e de gramíneas de inverno, foi utilizada para pastoreio melhorado para o gado leiteiro. Nos anos seguintes, até 1978, foi cultivada com trigo e soja no sistema de preparo convencional do solo, com arações e gradagens. No inverno de 1978 a área foi corrigida com $1,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário e 300 kg ha^{-1} de Escoria de Thomas, semeando-se a soja na primavera-verão como a primeira cultura do experimento.

Originalmente, o experimento consistiu em cinco combinações dos sistemas de preparo convencional (PC), plantio direto (PD) e escarificação (ESC), são eles: PC-PC, PC-PD, PD-PC, PD-PD, e ESC-PD, realizados no inverno e no verão, respectivamente. O PC consistiu em aração com arado de discos, na profundidade de 20 cm, e duas gradagens, sendo uma com grade niveladora e a outra com grade de dentes; o PD foi realizado com semeadora adaptada para o plantio direto e; a ESC com escarificador de cinco hastes, na profundidade de 25 a 30 cm e distância entre hastes de 30 cm, com duas passagens de grade niveladora de discos após a escarificação, feitas pelo menos um mês antes da semeadura. O experimento seguiu um delineamento de blocos ao acaso, com três repetições, sendo o tamanho das parcelas de 12 cm por 100 m.

Até 1985, utilizou-se um sistema de rotação de culturas envolvendo trigo, soja, ervilhaca e cevada. A partir de 1985, ampliou-se o sistema de rotação, passando a cultivar-se aveia, cevada, trigo, ervilhaca, nabo, soja e milho.

A partir de 1987, o delineamento experimental foi alterado para a introdução do fator calagem. As parcelas foram subdivididas em três subparcelas com os tratamentos sem calcário, com calcário calcítico incorporado através da aração ($4,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) e calcário calcítico aplicado superficialmente ($4,5 \text{ Mg ha}^{-1}$). A partir deste ano agrícola, portanto, o delineamento passou a ser de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas, estas com tamanho de 12 m por 30 m. As parcelas continuaram com os sistemas de manejo do solo e as subparcelas passaram a ser dos três tratamentos de calagem. Em 1995 e 2001 foi aplicado calcário dolomítico nas doses de 3,0 e $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário dolomítico, respectivamente, no mesmo sistema de aplicação (incorporado e em superfície).

Todas as culturas receberam adubação NPK, exceto a ervilhaca que foi utilizada como fonte de N para o milho cultivado em sucessão. A dose de adubo aplicada foi de: 300 kg ha⁻¹ da fórmula 0-30-20 na base, com 20 a 30 kg ha⁻¹ de N (uréia) em cobertura para os cereais de inverno; 200 Kg ha⁻¹ da fórmula 0-30-20 ou, em alguns anos, da fórmula 2-30-20 para a soja, e; 350 kg ha⁻¹ da fórmula 8-30-20 e 50 kg ha⁻¹ de N em cobertura para o milho.

O controle de ervas daninhas nas culturas de trigo e cevada foi realizado com 2,4D até 1984 e posteriormente com o princípio ativo carbendozim. Para a soja foram utilizados herbicidas residuais e, posteriormente, substituídos por pós-emergentes de contato; para o milho, utilizaram-se herbicidas a base dos princípios ativos atrazina e simazina. Para a dessecação das ervas daninhas nos tratamentos de plantio direto se utilizou os princípios ativos paraquat e glyphosate, ou mistura de doses com Diuron ou 2,4 D.

A aplicação de fungicidas de contato ou sistêmicos nos cereais de inverno foi realizada quase todos os anos. Quando necessário, realizou-se controle de pragas com produtos químicos ou biológicos.

A coleta das amostras de solo para avaliação das características biológicas, químicas e físicas do solo foi realizada em Janeiro de 2006, durante o ciclo da cultura da soja. A adubação aplicada naquele ano agrícola foi de 150 kg ha⁻¹ da fórmula 0-25-25 e a cultivar utilizada foi CD-FAPA 220. Realizou-se o controle de ervas daninhas com a aplicação, em pós-emergência, de Pacto+ Ddinamz+Assist (45g ha⁻¹+70g ha⁻¹+0,2%) e Sselect+Lanzar (0,45L ha⁻¹+0,3%) e o controle de pragas com Oorthene (0,2 kg ha⁻¹), sendo que a aplicação desses produtos foram realizados por volta de três semanas antes da coleta das amostras de solo para análise biológica.

A segunda coleta das amostras foi realizada em Agosto de 2006, durante o ciclo da ervilha e nabo forrageiro, não sendo realizado nenhum tipo de adubação e controle fitossanitário.

3.3 Solo e localização

A maioria dos solos da região de Guarapuava pertence à classe Latossolo Bruno Alumínico típico, com relevo suave ondulado, perfil profundo, com horizonte A proeminente, textura argilosa, com baixa saturação de bases e alto teor de alumínio trocável (Embrapa, 1999). Em relevo mais ondulado ou nas encostas de vertentes curtas, ocorrem variações e inclusões de

outras classes de solo com perfis mais rasos e/ou com granulometria mais grosseira (pedregosa), como também a associação do Latossolo Bruno com Cambissolo, todos formados a partir de rochas de derrame basáltico (JASTER et al., 1993).

A área do experimento estende-se por 430 m ao longo da encosta de uma elevação, com declive para dois lados (Sul e Oeste) e uma ligeira depressão no centro. Nas posições mais altas e planas, o solo é profundo (Horizonte A > 60 cm) e nas de maior declividade encontra-se solo raso, com horizonte A de espessura menor e variável, com camadas de cascalho a 40 cm de profundidade (JASTER et al., 1993).

O solo da área experimental é um Latossolo Bruno alumínico câmbico – LB, com horizonte A proeminente, textura argilosa, relevo suave ondulado e substrato basalto (EMBRAPA, 1999), com declividade média de 0,05 m m⁻¹.

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo determinadas em amostras coletadas na camada de 0-10 cm de profundidade, em seis sistemas de manejo do solo, em Guarapuava, PR, no ano de 2006. Médias de 2 épocas e 3 repetições.

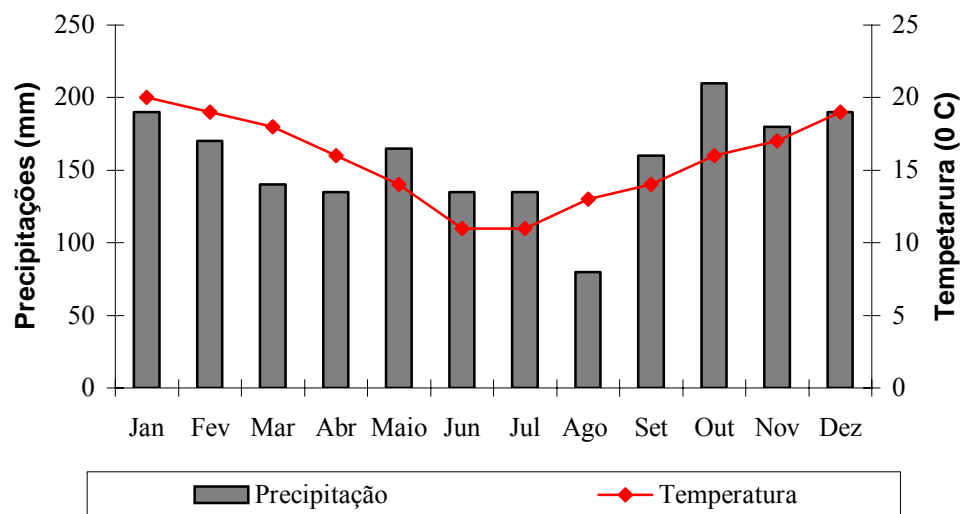
Tratamentos	Características químicas							
	pH		P	K	Al	Ca	Mg	COT
	H2O	SMP	-----mg dm ⁻³ -----		-----cmol _c dm ⁻³ -----			--g kg ⁻¹ --
PD inc	5,40	5,61	6,4	44	0,70	2,62	0,79	33,61
PD sem	5,02	5,20	5,6	44	2,44	1,34	0,47	26,69
PR inc	5,71	5,82	5,2	66	0,35	2,94	0,94	25,71
PR sem	5,17	5,23	6,5	52	2,04	1,21	0,38	23,49
PC inc	5,64	5,81	4,3	74	0,36	2,39	0,69	19,34
PC sem	5,33	5,62	3,8	78	1,71	1,27	0,33	18,00
	Características físicas							
	DS 0-5 cm	DS 5-10 cm	DP 0-5 cm	DP 5-10 cm	PT 0-5 cm	PT 5-10 cm		
	-----Mg m ⁻³ -----		-----Mg m ⁻³ -----		-----m ³ m ⁻³ -----			
PD inc	0,98	0,96	2,60	2,58	0,62	0,63		
PD sem	1,03	1,00	2,59	2,59	0,60	0,61		
PR inc	0,99	0,97	2,55	2,57	0,61	0,62		
PR sem	0,97	0,99	2,47	2,53	0,63	0,61		
PC inc	1,00	0,96	2,65	2,64	0,62	0,63		
PC sem	0,98	1,01	2,66	2,65	0,63	0,62		

DS = densidade do solo; DP = densidade de partícula; PT= porosidade total.

3.4. Clima

O clima da região é subtropical úmido com verões amenos, Cfb segundo a classificação de Koeppen, sem estações secas durante o ano e com geadas severas demasiado freqüentes. A altitude da região é de aproximadamente 1.000 metros.

Segundo o relatório de meteorologia a Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, com dados coletados do ano de 1976 a 2003: A temperatura média do mês mais quente (janeiro) é 20,6°C e a do mês mais frio (julho) 12,5°C, sendo a temperatura média anual de 16,8°C. A precipitação pluviométrica mensal da região varia entre 100,3 mm no mês de agosto e 211,6 mm, no mês de outubro sendo a média anual de 2.002,2 mm (JASTER et al., 1993).



FONTE: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária(2006)

Figura 2. Precipitação e temperatura média mensal, determinadas durante o ano de 2006 em estação meteorológica situada nas proximidades do experimento.

3.5. Sistemas estudados

Neste estudo, foram estudados três sistemas de manejo do solo sem aplicação de calcário e três com calcário incorporado:

- 1) Plantio direto sem calcário (PD sem);
- 2) Plantio direto com calcário incorporado (PD inc);
- 3) Preparo reduzido sem calcário (PR sem);
- 4) Preparo reduzido com calcário incorporado (PR inc);
- 5) Preparo convencional sem calcário (PC sem);
- 6) Preparo convencional com calcário incorporado (PC inc).

No sistema de manejo convencional, o solo foi arado e gradeado todos os anos antes da semeadura de cada cultura. No sistema de plantio direto, sem revolvimento do solo, foi utilizada uma semeadora/adubadora dotada de disco de corte e sulcador.

A escarificação, realizada no preparo reduzido, visou promover o afrouxamento do solo e a incorporação parcial dos restos da cultura anterior. A distância entre as hastes do escarificador utilizado foi de 30 cm, sendo a profundidade de trabalho de 25 a 30 cm, com duas passagens de grade niveladora de disco após cada escarificação, realizada pelo menos um mês antes da semeadura.

Em todos os sistemas de manejo, as operações foram realizadas com equipamentos utilizados em lavouras comerciais, obedecendo-se os mesmos critérios destas para tratamentos fitossanitários, épocas de semeadura e colheita.

O experimento foi constituído de blocos ao acaso, com esquema fatorial 3 x 2 x 2. As parcelas foram constituídas pela combinação dos fatores sistemas de manejo do solo, tratamentos de calagem e época de coleta das amostras. Os dados obtidos no presente estudo foram submetidos à análise da variância pelo teste F e os fatores significativos foram avaliados pela comparação de médias pelo teste de Tukey, com 5% de probabilidade. Na presença de interações entre sistemas de manejo e calagem e entre calagem e épocas de coleta de amostras, os efeitos de sistemas de manejo do solo, calagem e época de coleta das amostras foi avaliado o efeito simples.

3.6. Amostragens e avaliações

A coleta das amostras para determinação dos atributos biológicos, químicos e físicos, foi realizada em janeiro e agosto de 2006, sendo coletadas uma amostra composta por cinco subamostras em cada parcela do experimento, na profundidade de 0 a 10 cm. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos, acondicionadas em caixas térmicas e transportadas em caixas de isopor com gelo para o laboratório de Microbiologia do Solo, no Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV), da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), em Lages (Santa Catarina), e foram mantidas em geladeira a 4°C até serem analisadas. No laboratório, foram homogeneizadas e peneiradas em peneira de 2 mm de abertura da malha e armazenadas em geladeira a 4°C pelo período de 30 dias, quando foram efetivadas as análises microbiológicas. Uma subamostra foi retirada para determinação da umidade em cada coleta de verão e inverno.

Para determinação do carbono da biomassa microbiana (CBM) do solo, foi utilizado o método de fumigação-extração (VANCE et al 1987), com fator de correção de 2,78. Para cada ponto amostrado, foram realizadas seis determinações, sendo três em amostras fumigadas e três em amostras não fumigadas, cada uma contendo 20 gramas de solo em base úmida.

Para a fumigação das amostras foram adicionadas 25 mL de clorofórmio livre de etanol (CHCl_3), sob vácuo de aproximadamente 600 mm de Hg por cerca de 2 minutos após o início do processo de ebulição das amostras armazenadas em dessecador. Após a fumigação com clorofórmio, as amostras foram mantidas pelo período de 24 horas em estufa a uma temperatura de $27 \pm 2^\circ\text{C}$, sendo posteriormente realizadas várias sucções para a retirada do excesso de clorofórmio.

O CBM das amostras fumigadas e não fumigadas foi extraído com 50 mL de sulfato de potássio 0,5 M (K_2SO_4), agitadas por 30 minutos e posterior filtração do extrato em filtro de papel Whatmann 42. Alíquotas de 8 mL foram retiradas do filtrado, adicionando 2 mL de dicromato de potássio 66,7 mM ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) e 15 mL da mistura de 2:1 de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4 , 98%) e ácido fosfórico (H_3PO_4 , 88%). A mistura foi aquecida em chapa térmica por refluxo por 3 minutos após o surgimento da primeira bolha, oxidando o carbono presente nas amostras de solo. Após resfriamento, o $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ residual foi quantificado através da titulação com sulfato ferroso amoniacal 33,3 mM ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), na presença de solução de difenilamina (1%).

O nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) foi determinado na mesma solução utilizada para análise do CBM. O N contido nos extratos fumigados e não fumigados foi determinado por pré-digestão e destilação pelo método de Kjeldahl (SANTOS & CAMARGO, 1999). Alíquotas de 20 mL foram colocadas em tubos de vidro na presença de 3 mL de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) e de 1 g de catalizador (mistura de K_2SO_4 : $CuSO_4$: selênio em pó, na relação 1:0,1:0,001), e acondicionadas em bloco digestor, onde foi realizada uma pré-digestão a 80°C por 12 horas, seguida do aumento da temperatura a 150°C e mantida essa temperatura pelo período de 1 hora e 30 minutos. A digestão foi concluída a 300°C, após 3 horas. As amostras digeridas, acrescidas de 10 mL de NaOH 10 M, foram posteriormente destiladas em 5 mL de indicador ácido bórico, procedendo-se, então a titulação em ácido sulfúrico 0,025M (H_2SO_4) (TEDESCO et al., 1995).

A partir dos resultados de CBM e COT, NBM e NT, foram calculadas as relações CBM:COT e NBM:NT, expressas como a percentagem de C e N microbiano em relação ao C e N total do solo (ANDERSON, 1994).

A atividade microbiana (respiração basal) foi determinada pela quantificação de dióxido de carbono (CO_2) liberado pelo processo de respiração microbiana durante 3 dias de incubação à 25°C, conforme metodologia descrita por Jäggi, 1976. Para isso, pesaram-se 3 subamostras de 25 g de cada amostra de solo que foram coletadas em frascos de vidro, e estes, com potes plásticos, com capacidade de 1mL contendo 25 mL de NaOH (0,05 M), bem vedados para capturar o CO_2 liberado. Quatro potes controle (branco), com NaOH (0,05 M) e sem solo foram preparados. Após o período de incubação adicionou-se 5 mL de cloreto de bário ($BaCl_2$) 0,5 M à solução, para que ocorresse a precipitação do carbonato. No momento da titulação, adicionou-se 3 gotas de fenolftaleína (1%). Titulou-se com HCl (0,05 M) até a solução mudar de cor vermelho para branco (sob agitação, por causa do precipitado em suspensão). Para cálculo foi utilizado a seguinte fórmula:

$$CO_2 \text{ (mg)/SS/t} = \frac{(V_0 - V) \times f_c}{GSS}$$

Onde:

SS = quantidade de solo seco em gramas;

t = tempo de incubação em horas;

V_0 = quantidade (mL) de HCl utilizado para titular o controle;

V = quantidade (mL) de HCl utilizado para titular cada amostra de solo;

GSS = peso do solo seco (g);

$f_c = 1,1$ (1ml de NaOH 0,05 M equivale a 1,1 mg de CO_2).

Subamostras foram retiradas e secas ao ar para a determinação dos seguintes atributos químicos: COT (Carbono Orgânico Total); NT (Nitrogênio Total); Ca (Cálcio); Mg (Magnésio); K (Potássio); P (Fósforo); Al (Alumínio); pH, SMP e pH em água.

O cálcio, magnésio e alumínio trocáveis do solo foram extraídos da superfície de troca com KCl 1M. A determinação do Ca e do Mg foi realizada por espectrometria de absorção atômica. O Al foi determinado por titulação com base. O potássio trocável foi extraído com solução de P.A. e determinado por fotometria de chama e o fósforo disponível analisado por colorimetria. A acidez ativa do solo foi determinada através da medição do pH em água, na relação gravimétrica solo:água de 1:1.

Para o nitrogênio total foram realizadas pré-digestão e destilação, conforme o método Kjeldahl, sendo o destilado titulado com K_2SO_4 . O carbono orgânico total foi determinado pelo método Walkley & Black, por oxidação úmida com dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_4$ 1,5 N) e ácido sulfúrico (H_2SO_4 1N) e, posteriormente, calculado o teor de matéria orgânica desse solo. Todas estas metodologias são descritas por Tedesco et al. (1995).

O estoque de CO foi calculado na profundidade de 0–10 cm, a partir da expressão:

$\text{EstC} = (\text{COT} \times \text{Ds} \times e)/10$, em que EstC é o estoque de C orgânico em determinada profundidade (Mg ha^{-1}), o COT é o teor de carbono orgânico total (g kg^{-1}), Ds é a densidade do solo média da profundidade (kg dm^{-3}), determinada a partir de amostras indeformadas, segundo Blake & Hartge (1986); e e é a espessura da camada considerada (cm).

A quantificação do comprimento de micélio extra-radicular total no solo (CMET) foi feita por peneiramento úmido e filtração em membranas de celulose quadriculadas, segundo metodologia proposta por Melloni (1996). Duas subamostras de solo, com aproximadamente 10 g cada, foram usadas para a extração do CMET, sendo que uma terceira foi reservada para determinação da umidade após secagem em estufa durante 24 horas. A extração do micélio foi realizada suspendendo-se as amostras de solo em 0,5 L de água e passando-se o sobrenadante em peneiras sobrepostas, com malhas de 1 e 0,25 mm. Esta operação foi realizada por três vezes e o filtrado foi submetido à agitação em liquidificador durante 30 segundos na menor velocidade. Após um período de repouso de 2 minutos, foram retirados 500 mL de sobrenadante, que foi

passado por uma peneira de 0,053 mm. O material retido nesta peneira foi filtrado a vácuo em membrana de triacetato de celulose, com diâmetro de 4,7 cm e porosidade de 0,47 µm. Em seguida, a membrana foi colocada sob lâmina de vidro de 5 x 5cm, lubrificada com uma gota de óleo de amêndoas para facilitar a visualização no microscópio óptico. Foram avaliados 64 campos em cada membrana, determinando-se o número de interseções de hifas com as linhas horizontais de um gride (8x8) na ocular do microscópio. O comprimento do micélio extra-radicular total, expresso em centímetros de hifa por grama de solo seco, foi obtido pela seguinte relação:

$$C = [(0,0347 \cdot N) / (10 - U)] \cdot 100, \text{ onde :}$$

C = comprimento de micélio extra-radicular total, em centímetros de hifa por grama de solo seco;

N = soma do número de interseções entre as hifas e linhas horizontais do gride;

U = umidade da amostra de solo, expressa em gramas de água.

Para determinação da colonização micorrízica em raízes de soja e ervilhaca, estas foram clarificadas e coradas de acordo com a técnica proposta por KOSKE & GEMMA (1989). Inicialmente, as raízes foram submersas em KOH 10% e mantidas em banho-maria a 90°C por 30 minutos. Em seguida, foram lavadas e imersas em HCl 1% por 10 minutos. Posteriormente, o ácido foi retirado e adicionou-se solução corante (0,5 Glicerina : 0,25 Ácido Láctico : 0,25 Água Destilada; 0,05% Azul de Tripán). As amostras permaneceram em banho-maria por mais 20 minutos. Ao final desta etapa, foi necessária uma alteração metodológica para que as raízes apresentassem uma coloração satisfatória. Após este período elas foram então lavadas até a remoção total do excesso de corante e conservadas em geladeira até a observação em microscópio.

A avaliação da colonização das raízes por FMAs seguiu a metodologia proposta por McGonigle et al. (1990). Para este procedimento, tomou-se aproximadamente 120 segmentos em cada fragmento de raiz. Cada um deles foi avaliado quanto à presença de arbúsculos, hifas ou vesículas de FMAs. O percentual de colonização micorrízica (CM) foi expresso considerando-se os valores de fragmentos colonizados em relação aos não colonizados.

Foram avaliados também os atributos físicos temperatura e umidade do solo. A temperatura do solo foi determinada a 5 cm de profundidade em apenas uma repetição por sistema, utilizando-se geotermômetro com precisão de 0,2°C. A determinação, com leituras às 9 e

15 horas, foi realizada nos mesmos dias da coleta de amostras químicas e biológicas. . Após cada coleta, as amostras foram secas em estufa a 105°C por 24 horas, calculando-se em seguida a umidade gravimétrica.

Para determinação da Densidade do Solo (D_s), utilizaram-se anéis metálicos com 54 mm de altura e 50 mm de diâmetros interno. As amostras foram coletadas em duplicata, sendo acondicionadas em latas de alumínio e lacradas com fita adesiva, para evitar perda de água.

A Porosidade Total (PT), em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, foi calculada pela seguinte fórmula:

$$PT = 1 - (D_s / D_p)$$

Onde: D_s , em g cm^{-3} , é a densidade do solo e D_p , em g cm^{-3} , a densidade das partículas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Dinâmica do Carbono orgânico no solo

O teor de carbono orgânico total (Corg) do solo variou apenas entre os sistemas de manejo do solo estudados (Tabela 2). Os teores médios de Corg foram de $26,4 \text{ g kg}^{-1}$ no plantio direto, $24,6 \text{ g kg}^{-1}$ no preparo reduzido e $18,7 \text{ g kg}^{-1}$ no preparo convencional, sendo o PD e PR não apresentaram variações estatística significativa, e o PC apresentou o menor teor de Corg diferindo-se dos sistemas estudados (Figura 3).

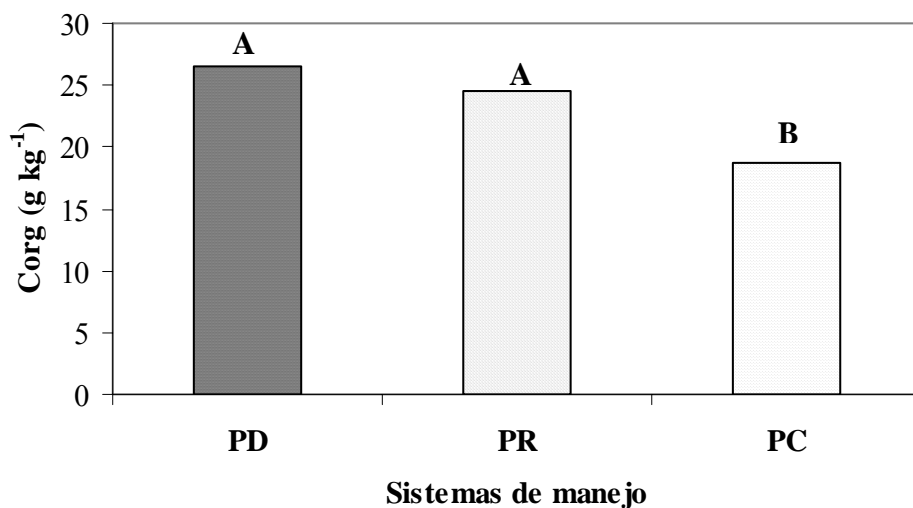


Figura 3. Carbono orgânico total na camada de 0-10 cm, em três sistemas de manejo, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR.. Médias de 2 sistemas de calagem, 2 épocas de amostragem e três repetições. PD = Plantio direto, PR = Preparo reduzido, PC = Preparo convencional

A calagem não influenciou nos teores de Corg do solo, como observado na Tabela 2. Possivelmente, as maiores adições de C fotossintetizados nos tratamentos com calcário foram

compensadas por um efeito benéfico da correção da acidez na decomposição microbiana da matéria orgânica (CIOTTA et al., 2004).

Costa et al., 2004 verificaram também diferenças significativas entre os sistemas de PD e PC, sendo que PD foi 20% superior em relação ao PC. O não revolvimento do solo e a adição dos resíduos das culturas na superfície do solo em PD desencadeia inúmeros processos físicos, químicos e biológicos fortemente interrelacionados, geralmente sinérgicos entre si, como é o caso dos processos que levam ao aumento da estabilidade dos agregados e dos estoques de matéria orgânica no solo. O maior carbono orgânico determina maior estabilidade de agregados, e esta, por sua vez, maior proteção física da matéria orgânica (COSTA et al., 2004).

Segundo Angers et al. (1993), a incorporação dos resíduos no preparo convencional, associada à ruptura de agregados e ao aumento da aeração, favorece as perdas de MOS, tanto por erosão, uma vez que o solo é mantido descoberto, como por oxidação, devido ao aumento da atividade microbiana. Bruce et al. (1992), verificaram que o aumento na quantidade de matéria orgânica, ocorrido em cinco anos de plantio direto, foi perdido em quase sua totalidade com apenas um revolvimento do solo. Por outro lado, Amado et al. (2001) verificaram perda de aproximadamente 25% do estoque da matéria orgânica de um Argissolo amarelo sob campo nativo, com apenas uma aração e duas gradagens para incorporação de calcário e fertilizantes.

Em comparação aos valores de 0,3 a 0,7 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ determinados em Argissolo do RS (BAYER et al., 2000; AMADO et al., 2001) a taxa de incremento do Corg nesse estudo sob PD pode ser considerada baixa, o que pode estar relacionada à textura argilosa do solo e sua mineralogia predominantemente gipsítica. Estes fatores determinam uma alta proteção física da MOS, mesmo sob preparo convencional. Esses valores podem ser considerados baixos em relação aos valores, em torno de 50%, verificados em solos de regiões frias ou semi-áridos (CAMBARDELLA & ELLIOT, 1992), e refletem as condições de temperatura e umidade altamente favoráveis a atividade microbiana nas condições de clima subtropical úmido presente nesse estudo, demonstrando que a fração lábil da MOS foi mais sensível às mudanças de manejo do que a MO total.

Tabela 2. Análise da variância do teor de carbono orgânico total, em três sistemas de manejo do solo, dois sistemas de calagem e duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR.

Causas de variação	Carbono orgânico total (g kg ⁻¹)				
	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Repetição	2	30,7	15,3	1,92	0,1893
Sistema de manejo(A)	2	395,2	197,6	24,72	<0,0001
Resíduo A	4	31,9	7,9		
Total A (parcela)	8	457,8			
Calagem (B)	1	9,5	9,5	1,19	0,2962
Interação AxB	2	11,4	5,7	0,72	0,5087
Resíduo B	6	71,6	11,9		
Total B (sub - parcela)	17	92,5			
Época de amostragem (C)	1	35,1	35,1	4,40	0,0479
Interação Ax C	2	350,5	175,2	21,92	<0,0001
Interação BxC	1	0,3	0,3	0,04	0,8414
Interação AxBxC	2	29,9	14,9	1,87	0,1959
Resíduo (A+B)	12	95,9	7,9		
Total	35	1062,2			

Nota-se, ainda na tabela 2, uma tendência de variação nos teores de Corg em relação as épocas de amostragem. Em um estudo conduzido em Campo Belo do Sul –SC, em um Nitossolo Háplico em áreas de reflorestamento, o Corg também variou com a época de amostragem sendo maiores no inverno e apresentando reduções na primavera-verão (SOUZA, 2005). Maluche (2004), em estudo de sistema convencional e orgânico de produção de maçãs, não encontrou variação significativa de Corg entre duas épocas de amostragem (dezembro e junho). O mesmo foi observado por Balota (1998), onde o Corg variou nos diferentes sistemas de preparo do solo e sucessão de culturas e não foram observadas variações nas épocas amostradas. Variações sazonais nos teores de Corg não são esperadas em solos sob vegetação natural e em sistemas florestais, onde as variações ocorrem a longo prazo (GAMA-RODRIGUES et al., 2005; ADDISCOTT, 1992).

Neste estudo, as maiores alterações nos estoques de C ocorreram no plantio direto (PD), onde se apresentou 58% maior em relação ao PC, enquanto o Corg, apenas 32%. Por outro lado a incorporação de resíduos vegetais no PC apresentou uma tendência de maiores estoques de C em comparação ao PD. Estes resultados estão de acordo com Ciotta *et al.*, 2004, porém não

houve diferenças estatísticas entre os sistemas de manejo do solo nesse estudo. No entanto, o estoque de C variou apenas entre as épocas de amostragem testadas (Tabela 3).

Tabela 3. Análise da variância do estoque de carbono orgânico total (Corg), em três sistemas de manejo do solo, dois sistemas de calagem e duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR.

Causas de variação	Estoque de carbono (kg m ²)				
	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Repetição	2	4,8	2,4	0,67	0,5320
Sistema de manejo(A)	2	35,9	18,0	4,95	0,0570
Resíduo A	4	16,9	4,2		
Total A (parcela)	8	57,6			
Calagem (B)	1	8,4	8,4	2,3	0,1532
Interação AxB	2	8,5	4,3	1,17	0,3424
Resíduo B	6	90,9	15,2		
Total B (sub - parcela)	17	107,8			
Época de amostragem (C)	1	2084,0	2084,0	574,63	<0,0001
Interação AxC	2	28,7	14,3	3,96	0,0879
Interação BxC	1	0,5	0,5	0,13	0,7238
Interação AxBxC	2	4,8	2,4	0,67	0,5320
Resíduo (A+B)	12	43,5	3,6		
Total	35	2327,0			

Na figura 4, observa-se que os teores de estoque de C foram de 24 kg m⁻² em janeiro e 22 kg m⁻² em agosto de 2006.

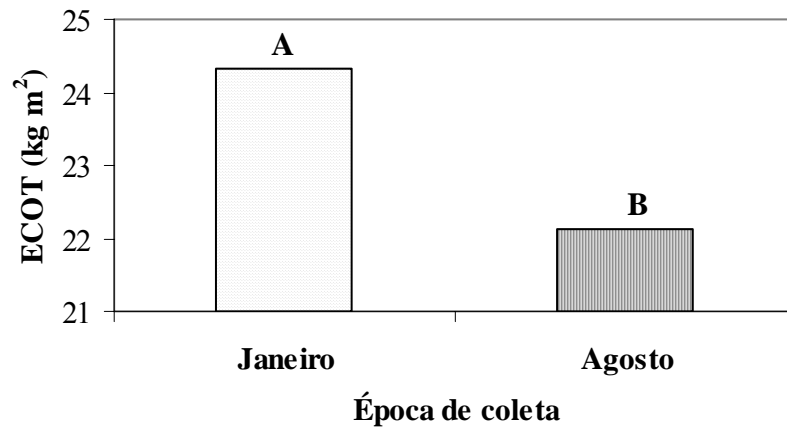


Figura 4. Estoque de carbono orgânico total (ECOT) em duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Média de 3 sistemas de manejo do solo, 2 sistemas de calagem e 3 repetições.

Ao longo do tempo, os métodos de preparo do solo interferem tanto na quantidade de Corg como na sua distribuição no perfil do solo. Bayer (1992), em um trabalho realizado em Eldorado do Sul (RS), verificou um aumento de Corg na camada de 0-2,5 cm no plantio direto em relação aos preparos reduzido e convencional, o que foi atribuído à deposição superficial dos resíduos e às menores perdas de matéria orgânica. Na camada de 7,5-17,5 cm, entretanto, o Corg foi maior no preparo convencional. A maior concentração de C microbiano nas camadas superficiais, pode ser explicada pelo acúmulo de resíduos vegetais na superfície e do Corg nos preparos reduzido e direto, resultados obtidos por Alvarez et al. (1995).

O teor de carbono microbiano (Cmic) do solo foi afetado pelos sistemas de manejo do solo ($P \leq 0,04\%$) e pela interação entre os fatores calagem e época amostragem do solo ($P \leq 1,31\%$) (Tabela 4). O sistema de preparo reduzido (PR) apresentou o maior teor de Cmic, ($188 \mu\text{g C g}^{-1}$) seguido do plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), 115 e $100 \mu\text{g C g}^{-1}$, respectivamente, que não diferiram entre si (Figura 5). Em média houve uma redução no Cmic de aproximadamente 42% no PD e PC em relação ao PR.

Tabela 4. Análise da variância do teor de carbono da biomassa microbiana (Cmic), em três sistemas de manejo do solo, dois sistemas de calagem e duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR.

Causas de variação	Carbono da biomassa microbiana ($\mu\text{g C g}^{-1}$)				
	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Repetição	2	1789,1	894,5	0,55	0,5908
Sistema de manejo(A)	2	53538,9	26769,5	16,46	0,0004
Resíduo A	4	7246,8	1811,7		
Total A (parcela)	8	62574,8			
Calagem (B)	1	31,4	31,4	0,02	0,8918
Interação AxB	2	12913,5	6456,8	3,97	0,0775
Resíduo B	6	18744,5	3124,1	1,92	0,1582
Total B (sub - parcela)	17	31689,4			
Época de amostragem (C)	1	5457,2	5457,2	3,36	0,0919
Interação AxC	2	8572,8	4286,4	2,64	0,1125
Interação BxC	1	13782,1	13782,1	8,47	0,0131
Interação AxBxC	2	2647,2	1323,6	0,81	0,4662
Resíduo (A+B)	12	19518,5	1626,5		
Total	35	144241,9			

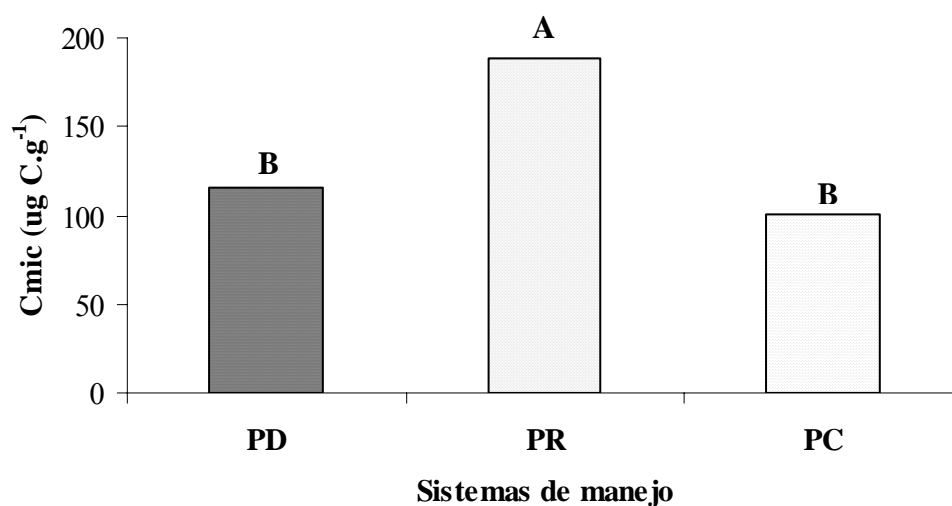


Figura 5. Teor de carbono microbiano (Cmic) em três sistemas de manejo do solo, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Médias de 2 sistemas de calagem, 2 épocas de amostragem e 3 repetições. PD = Plantio direto, PR = Preparo reduzido, PC = Preparo convencional.

Apesar de Angers et al. (1993) afirmarem que a presença de leguminosas, associada à redução do revolvimento do solo, promove o aumento do C da biomassa microbiana, não se observa um aumento significativo de C_{mic} em PD. A principal contribuição da presença de leguminosas se deve a um aumento na disponibilidade de nitrogênio no solo, em comparação com sucessões de gramíneas. Campbell et al. (1984) e Salinas-Garcia et al. (2002) verificaram que a fertilização nitrogenada teve pouco efeito sobre o C da biomassa microbiana. Os autores sugerem que o principal fator limitante para a população microbiana foi a disponibilidade de C. Assim, a influência da disponibilidade de N sobre o crescimento microbiano depende, também, da disponibilidade de C.

As pesquisas não tem sido conclusivas quanto ao acúmulo de C no PD. Enquanto em alguns trabalhos se observaram incrementos significativos nos teores de MOS, quando comparados a sistemas convencionais (BAYER & MIELNICZUCK, 1997; BAYER & BERTOL, 1999; RESCK et al., 1999; BAYER et al., 2000), em outros nenhuma diferença significativa foi observada entre os tratamentos (MARIA & CASTRO, 1993; FREITAS et al., 2000; ROSCOE et al., 2000; ROSCOE & BUURMAN, 2003). A discrepância nos resultados de pesquisa vem sendo atribuída às diferenças entre as condições experimentais e ao que se convencionou chamar de PD. Primeiramente, muitos trabalhos avaliam sistemas com tempos de usos diferentes. O acúmulo de MOS no PD tende a ocorrer lentamente, sendo necessário alguns anos para que se mostrem tais tendências (BAYER & BERTOL, 1999). Outro fator é o clima, sendo que os resultados referentes à Região Sul do Brasil geralmente apresentam incrementos significativos nos teores de C para PD (BAYER & MIELNICZUK, 1997). Isso pode estar relacionado às condições climáticas da região subtropical, onde as taxas de decomposição de C são menores, em comparação com a região tropical como ocorre no Cerrado e na Amazônia (FELLER & BEARE, 1997; BAYER & BERTOL, 1999).

Nos sistemas com adição de calcário, o teor de C_{mic} diferiu entre as épocas de amostragem, variando de 167 para 103 $\mu\text{g C g}^{-1}$ de janeiro para agosto de 2006, correspondendo a uma redução de 38%. O mesmo não foi encontrado nos tratamentos sem calagem, onde se observou um aumento de 10% no teor de C_{mic} (Tabela 5).

Tabela 5. Teor de carbono microbiano ($\mu\text{g C.g}^{-1}$), em dois sistemas de calagem e duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Médias de 3 sistemas de manejo do solo e 3 repetições.

Calagem	Épocas de amostragem	
	Janeiro	Agosto
Com calcário	167,60 Aa	103,85 Ba
Sem calcário	126,60 Aa	141,12 Aa

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Esses resultados demonstram influências das condições climáticas encontradas no período, com médias de precipitação e temperatura (Figura 2) em torno de 190 e 103 mm de chuva/mês, e 20,6 °C e 12,5 °C, respectivamente para as coletas de verão (janeiro/2006) e inverno (agosto/2006), bem como do efeito das condições mais amenas durante o inverno, permitindo crescimento microbiano para decomposição do material orgânico depositado ao solo.

A temperatura e a umidade do solo se apresentam como importantes fatores de controle da biomassa do solo e dos conteúdos de Cmic (DALAL, 1998; WARDLE & HUNGRIA, 1994; CATTELAN, 1989). Ambos os sistemas de preparo (PD e PR) apresentam como característica a manutenção de cobertura vegetal, o que aumenta a capacidade de infiltração da chuva e diminui as oscilações térmicas do solo. O PD e o PR, por sua vez, apresentaram maiores valores de matéria orgânica que PC, o que permite maior capacidade de armazenamento de água no solo. Tal capacidade confere uma maior umidade do solo no PD (44,34% e 36,17%, nas épocas de janeiro e agosto/2006, respectivamente) e PR (44,96% e 30,61% nas épocas de janeiro e agosto/2006, respectivamente) em relação ao PC (44,16% e 28,66% nas épocas de janeiro e agosto/2006, respectivamente).

Mesmo sendo a precipitação de janeiro superior à precipitação de agosto (Figura 2), a maior umidade do solo no primeiro período, foi resultado de precipitações intensas que antecederam o dia da coleta. Baixa umidade do solo seguida de aumento da mesma em função de um período intenso de chuvas permitiu um estímulo à população microbiana do solo, em resposta positiva ao aumento no teor de umidade do solo (WARDLE & HUNGRIA, 1994), associado a uma pequena elevação de temperatura durante o período (18,4 °C), muito próxima a temperatura

encontrada na primeira coleta (20 °C). Tal condição permitiu a oscilação do Cmic no sistema com adição de calagem, com menor valor de Cmic encontrado na segunda coleta.

Além de se constituir em uma fonte de C orgânico e de nutrientes, os resíduos mantidos na superfície, segundo Salton & Mielniczuk (1993), resultam em menores variações de temperatura e umidade do solo. Da mesma forma, Gupta et al. (1983) observaram que a incorporação dos resíduos vegetais resultou em maior temperatura do solo no preparo convencional. Também Cattelan & Vidor (1990) verificaram que a redução de Cmic coincidia com as temperaturas altas e estresses hídricos durante o verão. Portanto, além de menor disponibilidade de carbono, a ocorrência de temperatura alta associada à menor umidade do solo, afetou negativamente a população microbiana na camada superior do sistema com calagem em agosto de 2006.

A relação Cmicrobiano/Corgânico (Cmic/Corg) apresentou efeito significativo na interação dos fatores sistemas de manejo e calagem ($P \leq 1,33\%$), sistemas de manejo e época de amostragem ($P \leq 1,24\%$) e calagem e época de amostragem ($P \leq 1,04\%$) (Tabela 6).

Tabela 6. Análise da variância para a relação entre C-microbiano e C-orgânico total (Cmic/Corg) em três sistemas de manejo do solo, dois sistemas de calagem duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR.

Causas de variação	Cmic/Corg (%)				
	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Repetição	2	0,006	0,003	0,18	0,8385
Sistema de manejo(A)	2	0,70	0,35	21,44	0,0001
Resíduo A	4	0,07	0,02		
Total A (parcela)	8	0,78			
Calagem (B)	1	0,001	0,001	0,08	0,7764
Interação AxB	2	0,21	0,10	6,33	0,0133
Resíduo B	6	0,27	0,04		
Total B (sub - parcela)	17	0,481			
Época de amostragem (C)	1	0,21	0,21	12,92	0,0037
Interação AxC	2	0,21	0,11	6,46	0,0124
Interação BxC	1	0,15	0,15	9,21	0,0104
Interação AxBxC	2	0,09	0,04	2,72	0,1064
Resíduo (A+B)	12	0,20	0,02		
Total	35	2,1			

Esta relação (Cmic/Corg) representa a participação do carbono da biomassa microbiana sobre o carbono orgânico total do solo, e seus valores podem aferir modificações na dinâmica da matéria orgânica do solo (MARCHIORI Jr. & MELO, 1999) e refletir processos de adição e transformação da mesma (D'ANDREIA et al., 2002). Para o PD a relação Cmic/Corg foi maior com a adição de calcário (0,48%) comparado com sem calagem (0,29%), sendo que os demais sistemas não apresentaram variação significativa (Tabela 7). O PR apresentou a maior relação Cmic/Corg, sendo 16% e 40% superior ao PD e PC, respectivamente, nos tratamentos com a aplicação de calcário. Para o PR sem a aplicação de calcário, a relação Cmic/Corg representou 0,76% do Corg, enquanto no PD e PC representou 0,29% e 0,37% do Corg (Tabela 7). Esses dados sugerem, segundo Marchiori Jr. & Melo (1999), que a decomposição da MO no PD e PR ocorre de forma mais lenta, devido à menor entrada de material orgânico, tanto pela deposição superficial quanto pelo efeito rizosférico.

Tabela 7. Relação entre o C-microbiano e o C-orgânico (Cmic/Corg) na camada de solo de 0-10 cm, em três sistemas de manejo do solo e dois sistemas de calagem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Médias de 2 épocas de amostragem e 3 repetições. (desdobramento da interação)

Sistemas de manejo	Calagem	
	Com calcário	Sem calcário
PD	0,48 Aab	0,29 Bb
PR	0,57 Aa	0,76 Aa
PC	0,34 Ab	0,37 Aab

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. PD= Plantio direto, PR= Preparo reduzido, PC= Preparo convencional.

Analisando-se a interação sistema de manejo x época de coleta, observou-se diferença no sistema PR, onde no inverno se obteve a maior relação Cmic/Corg (0,85%). Para todos os sistemas estudados não se observaram diferenças no verão, mas somente no inverno (agosto de 2006), quando o sistema PR foi superior aos sistemas de PD e PC em 52% e 54%, respectivamente (Tabela 8).

Tabela 8. Relação entre o C-microbiano e o C-orgânico (Cmic/Corg) na camada de solo de 0-10 cm, em três sistemas de manejo do solo e duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Médias de 2 sistemas de calagem e 3 repetições. (desdobramento da interação)

Sistemas de manejo	Época de Coleta	
	Janeiro/2006	Agosto/2006
PD	0,37 Aa	0,40 Ab
PR	0,48 Ba	0,85 Aa
PC	0,32 Aa	0,39 Ab

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. PD= Plantio direto, PR= Preparo reduzido, PC= Preparo convencional.

Na média dos sistemas de preparo, o tratamento com aplicação de calcário apresentou o menor valor médio de Cmic/Corg (0,33 %) na coleta de verão. Não foram observadas diferenças tanto na coleta de inverno como nas comparações entre épocas dentro de cada tratamento de calagem (Tabela 9). Isso indica que ocorreu uma menor contribuição do C-microbiano para o COT do solo na época mais quente e sem a calagem. Estes valores podem expressar a ocorrência de acúmulo ou perda de C do solo, uma vez que maiores valores indicam acúmulo de C e menores indicam perda de C do solo. Logo, neste estudo, sistemas sem a calagem estão perdendo mais C do solo em épocas com maiores temperaturas.

Tabela 9. Relação entre o C-microbiano e o C-orgânico (Cmic/Corg) na camada de solo de 0-10 cm, em dois sistemas de calagem e duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Médias de 3 sistemas de manejo e 3 repetições. (desdobramento da interação)

Calagem	Época de amostragem	
	Janeiro	Agosto
Com calcário	0,45 Aa	0,62 Aa
Sem calcário	0,33 Ab	0,47 Aa

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

D'Andrea et al. (2002), em estudo realizado em Morrinhos (GO), verificou os maiores valores da relação C_{mic}/C_{org} em área de cerrado nativo, quando comparado com áreas agricultadas (pastagem, plantio direto, plantio direto com histórico de gradagem superficial, plantio convencional de longa duração, plantio convencional recente após pastagem), e citam em seu trabalho uma estabilização da relação C_{mic}/C_{org} em sistemas após a recuperação de um provável equilíbrio. A menor variação do C_{mic} entre épocas amostradas no tratamento sem calagem, e conseqüentemente para a relação C_{mic}/C_{org} , sugere uma maior capacidade de recuperação do equilíbrio do sistema ao longo do tempo, com menor condição de estresse e menores flutuações de C_{mic} .

Os teores de $C-CO_2$ liberados/evoluídos pela microbiota do solo (respiração basal) variaram em função da interação entre os sistemas de preparo do solo testados e a calagem e da interação entre os sistemas de preparo e as épocas de amostragem (Tabela 10).

Tabela 10. Análise da variância para respiração basal microbiana e quociente metabólico em três sistemas de manejo do solo dois sistemas de calagem, duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR.

Causas de variação	Respiração basal microbiana ($\mu\text{gC-CO}_2 \text{ g}^{-1}$)				
	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Repetição	2	19,9	9,9	0,72	0,5053
Sistema de manejo(A)	2	4154,3	2077,2	151,26	<0,0001
Resíduo A	4	20,8	5,2		
Total A (parcela)	8	4195,0			
Calagem (B)	1	36,5	36,5	2,66	0,1291
Interação AxB	2	356,2	178,1	12,97	0,0010
Resíduo B	6	124,1	20,7	1,51	0,2567
Total B (sub - parcela)	17	516,8			
Época de amostragem (C)	1	18,9	18,9	1,38	0,2636
Interação AxC	2	177,2	88,2	6,45	0,0125
Interação BxC	1	9,0	9,0	0,66	0,4340
Interação AxBxC	2	19,5	9,8	0,71	0,5105
Resíduo (A+B)	12	164,9	13,7		
Total	35	5101,3			
Causas de variação	Quociente metabólico ($\mu\text{gC-CO}_2 \mu\text{g}^{-1} \text{ C-biomassa g}^{-1}$)				
	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Repetição	2	125,6	62,8	0,63	0,5485
Sistema de manejo(A)	2	3817,3	1908,7	19,20	0,0002
Resíduo A	4	385,3	96,3		
Total A (parcela)	8	4328,2			
Calagem (B)	1	529,3	529,3	5,32	0,0397
Interação AxB	2	1611,0	805,5	8,10	0,0059
Resíduo B	6	738,0	123,0		
Total B (sub - parcela)	17	2878,3			
Época de amostragem (C)	1	57,4	57,4	0,58	0,4619
Interação AxC	2	1132,2	566,1	5,69	0,0182
Interação BxC	1	144,6	144,6	1,45	0,2511
Interação AxBxC	2	50,9	25,4	0,26	0,7784
Resíduo (A+B)	12	1192,9	99,4		
Total	35	9784,5			

O sistema PC apresentou os maiores valores de C-CO₂ sendo aproximadamente 75% superior ao sistema de PD e PR (Tabela 11). O sistema PD obteve menor valor sem calagem (3,7 $\mu\text{gC-CO}_2 \text{ g}^{-1}$) e o sistema PC apresentou o maior valor de C-CO₂ (35,3 $\mu\text{gC-CO}_2 \text{ g}^{-1}$), indicando que as maiores perdas de C-CO₂ estão ocorrendo nos sistemas sem calagem e principalmente, no sistema de PC. As maiores perdas de C-CO₂ por atividade microbiana ocorreram no sistema de PC (24,4 $\mu\text{gC-CO}_2 \text{ g}^{-1}$ e 35,3 $\mu\text{gC-CO}_2 \text{ g}^{-1}$ com adição de calcário e sem calcário, respectivamente) (Tabela 11).

Tabela 11. Respiração microbiana basal do solo ($\mu\text{gC-CO}_2\text{g}^{-1}$) na camada de 0-10 cm, em três sistemas de manejo e dois sistemas de calagem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Médias de 2 épocas de coleta e 3 repetições. (desdobramento da interação)

Sistemas de manejo	Calagem	
	Com calcário	Sem calcário
PD	6,36 Ab	3,65 Bb
PR	10,89 Ab	8,73 Ab
PC	24,36 Ba	35,26 Aa

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. PD= Plantio direto, PR= Preparo reduzido, PC= Preparo convencional.

A respiração basal normalmente é utilizada como um indicativo da atividade dos microrganismos aeróbicos e anaeróbicos do solo, medida em termos metabólicos através da quantidade de CO₂ liberada (GAMA-RODRIGUES, 1999). Vargas & Scholles (2000) verificaram efeitos de métodos de preparo, em interação com a profundidade do solo, sobre a produção de C-CO₂. As áreas sob plantio direto apresentaram os maiores valores de respiração basal, seguido do cultivo reduzido e do cultivo convencional.

França et al. (2002) também encontraram aumento na quantidade de C-CO₂ liberada pela atividade de microrganismos no solo em sistema orgânico em produção de citrus. Porém, convém ressaltar que nem sempre elevados valores de respiração basal indicam condições desejáveis no solo e aumento da qualidade do sistema (SWEZEY, 1998), podendo refletir, em longo prazo, perdas excessivas de carbono orgânico para a atmosfera (D'ANDREA et al., 2002).

O sistema de PD apresentou os menores valores de C-CO₂ nas diferentes épocas amostradas, seguidas de PR e PC, sendo 43% e 83% menores que PD, respectivamente. O sistema de PD apresentou o menor valor de C-CO₂ (4,6 µgC-CO₂ g⁻¹) no mês de agosto, sendo 15% superior no mês de janeiro (Tabela 12).

Tabela 12. Respiração microbiana basal (µgC-CO₂.g⁻¹) na camada de solo de 0-10 cm, em três sistemas de manejo do solo e duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Médias de 2 sistemas de calagem e 3 repetições. (desdobramento da interação)

Sistemas de manejo	Época de Coleta	
	Janeiro/2006	Agosto/2006
PD	5,39 Ac	4,62 Bb
PR	13,40 Ab	6,21 Ab
PC	28,00 Aa	31,62 Aa

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. PD= Plantio direto, PR= Preparo reduzido, PC= Preparo convencional.

Estes dados indicam que, além da matéria orgânica existem outros fatores, como a temperatura, que estão influenciando as populações de microrganismos. Temperatura e umidade têm grande influência sobre a atividade microbiana. A atividade microbiana no solo e, conseqüentemente, a taxa de respiração, são altamente dependentes das condições de umidade e temperatura do solo, as quais variam consideravelmente entre das estações de crescimento (VANHALA, 2002). Vargas et al. (2000), observou maior quantidade de C-CO₂ liberado em culturas de verão que estavam plenamente estabelecidas, podendo ser resultado do estímulo à população microbiana pelo efeito rizosférico.

Vanhala (2002) encontrou que, em condições de umidade constante (60% da capacidade de campo), as taxas de respiração foram controladas principalmente pela quantidade de matéria orgânica (nitrogênio e carbono orgânico) e pelo pH. Isto reforça os resultados encontrados pois, onde foi feita a calagem, a respiração basal do solo teve uma tendência a ser maior no PR (10,9 µgC-CO₂ g⁻¹) e no PD (6,4 µgC-CO₂ g⁻¹). Ou seja, quando foi melhorada a condição de acidez, possibilitou um aumento da atividade microbiana, que se refletiu na respiração.

Além da influência de fatores como temperatura e umidade, a cobertura vegetal pode interferir na atividade microbiana do solo, pois a liberação de C-CO₂ pode ser influenciada pelos sistemas de sucessão e rotação de cultura. A presença de leguminosas pode aumentar da liberação de C-CO₂. Observou-se em janeiro de 2006, onde se tinha presente a cultura da soja no período de coleta das amostras, uma maior atividade respiratória, tanto para PD (5,4 $\mu\text{gC-CO}_2 \text{ g}^{-1}$) como para PR (13,4 $\mu\text{gC-CO}_2 \text{ g}^{-1}$) (Tabela 12). Esses resultados concordam com Cattelan & Vidor (1990), que observaram que a liberação de C-CO₂ em sistemas de culturas foi sensivelmente menor para sucessão aveia/milho, na camada de 5-15 cm.

Deve-se ressaltar, no entanto, que a avaliação do C-CO₂ liberado reflete a atividade microbiana potencial do solo nos diferentes tratamentos. Como o solo foi peneirado, o maior conteúdo de matéria orgânica do solo no PD pode ter sido exposto, pelo rompimento dos agregados, liberando substratos que de outra forma não estariam disponíveis. Porém, Alvarez et al. (1995), avaliando amostras de solo intactas, obteve resultados semelhantes aos observados no presente trabalho.

Os teores do quociente metabólico do solo ($q\text{CO}_2$) variaram em função da interação entre os sistemas de manejo do solo testados e a calagem e da interação entre os sistemas de manejo e as épocas de amostragem (Tabela 13).

Tabela 13. Quociente metabólico do solo ($\mu\text{gC-CO}_2 \cdot \mu \text{ g}^{-1} \text{ C-biomassa.g}^{-1}$) na camada de solo de 0-10 cm, em três sistemas de manejo do solo e dois sistemas calagem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Médias de 2 épocas de amostragem e 3 repetições. (desdobramento da interação)

Sistemas de manejo	Calagem	
	Com calcário	Sem calcário
PD	4,23 Ab	2,93 Ab
PR	23,92 Aa	21,65 Aab
PC	14,05 Bab	40,63 Aa

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. PD= Plantio direto, PR= Preparo reduzido, PC= Preparo convencional.

Com relação ao $q\text{CO}_2$ se observou que, para o sistema sem calcário, o maior valor foi obtido no sistema PC (40,6 $\mu\text{gC-CO}_2 \mu\text{g}^{-1} \text{ C-biomassa.g}^{-1}$) e o menor valor para o sistema PD

(2,9 $\mu\text{gC-CO}_2 \mu\text{g}^{-1} \text{ C-biomassa.g}^{-1}$). Para o sistema com calcário incorporado, o sistema PR obteve o maior valor (23,9 $\mu\text{gC-CO}_2 \mu\text{g}^{-1} \text{ C-biomassa.g}^{-1}$) e novamente PD teve o menor valor (4,2 $\mu\text{gC-CO}_2 \mu\text{g}^{-1} \text{ C-biomassa.g}^{-1}$), sendo que PC não se diferenciou dos demais sistemas estudados (Tabela 13). O sistema de PD com calcário incorporado apresentou o menor valor de $q\text{CO}_2$ quando comparado com o sistema PC sem calcário, confirmando que existe influência do fator calagem sobre o sistema de manejo na variável $q\text{CO}_2$.

Os valores mais baixos de $q\text{CO}_2$ refletem uma menor condição de estresse da biomassa microbiana do solo no sistema PD que, ao se tornar mais eficiente, incorpora maiores quantidades de carbono orgânico em seu tecido microbiano e diminui as perdas de carbono sob a forma de CO_2 para a atmosfera (GAMA-RODRIGUES, 1999). Os resultados obtidos indicam que a população microbiana do solo no PD apresenta menor necessidade energética para a sua manutenção em relação ao PC, que se encontra em condições de maior estresse (CAMARGO et al. 1999). Condições adversas, como maiores oscilações de temperatura e umidade do solo, criam uma condição de estresse no PC, a qual promove o aumento da atividade microbiana, com conseqüente diminuição do conteúdo de material orgânico do solo, e menor acúmulo de nutrientes na biomassa microbiana do solo. Balota et al. (1998), em estudos realizados sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas, observaram valores de $q\text{CO}_2$ até 28% menores no plantio direto que no convencional.

No PR, a diferença do $q\text{CO}_2$ entre as épocas de verão e inverno expressa uma maior condição de estresse da biomassa microbiana no verão (Tabela 14). Altos valores de umidade e de temperatura, como observados no verão (Figura 2), afetam a atividade microbiana (CAMARGO et al., 1999) sendo responsáveis por variações no $q\text{CO}_2$, como observadas nesse estudo.

Mesmo ocorrendo perdas de carbono pela atividade respiratória em determinadas épocas, o sistema orgânico permite maior desenvolvimento da biomassa, refletido pelo seu desenvolvimento da biomassa microbiana, refletido pelo seu C_{mic} , promovendo ganhos líquidos nos conteúdos de carbono orgânico do solo. No período de amostragem de inverno, houve diminuição do $q\text{CO}_2$ em cerca de 38% em média em comparação a avaliação de verão, o que indica uma diminuição da relação existente entre a respiração total dos microrganismos e a sua biomassa no solo, em função das condições climáticas e, provavelmente, da sucessão ecológica no ecossistema (GAMA-RODRIGUES, 1999) em busca de um novo equilíbrio do solo.

Tabela 14. Quociente metabólico ($\mu\text{gC-CO}_2 \cdot \mu\text{g}^{-1} \text{C-biomassa.g}^{-1}$) na camada de solo de 0-10 cm, em três sistemas de manejo e duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Médias de 2 sistemas de calagem e 3 repetições. (desdobramento da interação)

Sistemas de manejo	Época de Coleta	
	Janeiro/2006	Agosto/2006
PD	4,18 Ab	2,98 Ab
PR	31,66 Aa	13,92 Bab
PC	31,82 Aa	22,86 Aa

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. PD= Plantio direto, PR= Preparo reduzido, PC= Preparo convencional.

Maiores valores de $q\text{CO}_2$ indicam maiores perdas de C no sistema na forma de CO_2 por unidade de C-microbiano, razão por que PC e PR apresentam as maiores perdas, possivelmente decorrentes de microrganismos de crescimento rápido. O PD, ao contrário, apresentou o menor valor de $q\text{CO}_2$, sendo, portanto o sistema com menor perda de C e de maior sustentabilidade no que se refere ao fluxo de C. Assim, a C-CO_2 e o $q\text{CO}_2$ permitiram discriminar os sistemas quanto à sustentabilidade de C no solo.

4.2. Dinâmica do Nitrogênio do solo

A interação tripla significativa no nitrogênio da biomassa microbiana do solo apontou a existência de influência mútua entre os fatores sistemas de manejo, calagem e época de coleta. Para o N_{total} existe uma interação entre o sistema de preparo do solo e calagem (Tabela 15).

Tabela 15. Análise da variância para Nitrogênio da Biomassa Microbiana (Nmic) e Nitrogênio Total (NT) em três sistemas de preparo do solo, dois sistemas de calagem e duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR.

Causas de variação	Nitrogênio da biomassa microbiana ($\mu\text{g C g}^{-1}$)				
	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Repetição	2	40,2	20,1	0,21	0,8165
Sistema de manejo(A)	2	754,1	377,1	3,87	0,0606
Resíduo A	4	496,9	124,2		
Total A (parcela)	8	1291,2			
Calagem (B)	1	112,9	112,9	1,16	0,3032
Interação AxB	2	95,0	47,5	0,49	0,6261
Resíduo B	6	826,6	137,8		
Total B (sub - parcela)	17	1034,5			
Época de amostragem (C)	1	1523,3	1523,3	1,88	0,1838
Interação AxC	2	87,2	43,6	0,45	0,6497
Interação BxC	1	167,8	167,8	1,72	0,2142
Interação AxBxC	2	1541,4	770,7	7,90	0,0065
Resíduo (A+B)	12	1170,2	97,5		
Total	35	6815,5			
Causas de variação	Nitrogênio total (g kg^{-1})				
	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Repetição	2	57,8	28,9	1,45	0,2733
Sistema de manejo(A)	2	354,5	177,3	8,89	0,0043
Resíduo A	4	85,1	21,3		
Total A (parcela)	8	497,4			
Calagem (B)	1	42,4	42,4	2,13	0,1705
Interação AxB	2	184,1	92,0	4,61	0,0726
Resíduo B	6	88,4	14,7		
Total B (sub - parcela)	17	314,9			
Época de amostragem (C)	1	35,3	35,3	1,77	0,2079
Interação AxC	2	47,9	24,0	1,20	0,3344
Interação BxC	1	16,2	16,2	0,81	0,3852
Interação AxBxC	2	25,7	12,9	0,65	0,5417
Resíduo (A+B)	12	239,3	19,9		
Total	35	1176,8			

O PC apresentou menores teores de Ntotal (Tabela 16), apresentando diferenças significativas do PD e PR, que não se diferiram entre si. O PD apresentou $4,39 \text{ g kg}^{-1}$ de Ntotal com aplicação de calcário, sendo 20% superior ao PC, e o PR apresentou $3,97 \text{ g kg}^{-1}$ de Ntotal, sendo 10% maior que PC. Sem a aplicação de calcário PD e PC apresentaram os menores teores de Ntotal, o mesmo foi observado para o PR onde houve uma tendência de redução do Ntotal (Tabela 16).

Tabela 16. Nitrogênio total do solo (g kg^{-1}) na camada de solo de 0-10 cm, em três sistemas de manejo e dois de calagem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Médias de 2 épocas de amostragem e 3 repetições. (desdobramento da interação)

Sistemas de manejo	Calagem	
	Com calcário	Sem calcário
PD	4,39 Aa	3,76 Ba
PR	3,97 Aa	3,90 Aa
PC	3,54 Ab	3,43 Bb

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. PD= Plantio direto, PR= Preparo reduzido, PC= Preparo convencional.

Os teores médios de Nmic observados no verão de 2006 variaram de 23,60 a 47,16 $\mu\text{g C.g}^{-1}$ no sistema de PD com adição de calcário e sem calcário respectivamente, sendo o maior teor de Nmic encontrado no PD sem calcário. Para o inverno de 2006, os teores médios de Nmic variaram em 63,4 a 41,6 $\mu\text{g C g}^{-1}$, sendo o maior teor no sistema PD com calagem (Tabela 17).

Tabela 17. Nitrogênio da biomassa microbiana na camada de solo de 0-10 cm, em três sistemas de manejo do solo, calagem e duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Média de 3 repetições. (desdobramento da interação tripla).

Tratamento	Épocas de amostragem			
	Janeiro/2006		Agosto/2006	
	Com Calagem	Sem Calagem	Com Calagem	Sem Calagem
	$\mu\text{g C.g}^{-1}$			
PD	23,60 Bb	47,16 Aa	63,38 Aa	41,60 ABb
PR	35,93 Aa	26,34 Aa	45,51 Aa	41,47 Aa
PC	33,82 Aa	22,19 Aa	36,45 Aa	38,70 Aa

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. PD= Plantio direto, PR= Preparo reduzido, PC= Preparo convencional.

Em janeiro de 2006, o PD teve o menor teor de Nmic, sendo em média 32 % menor que PR e PC que não se diferiram entre si onde teve a aplicação de calcário. O mesmo comportamento ocorreu em agosto de 2006, porém sem a adição de calcário, onde PD foi 4% menor que PR e PC.

O N microbiano foi menor no preparo convencional sem calcário e não houve diferenças entre o plantio direto e preparo reduzido, o que pode ser atribuído, de acordo com Angers et al. (1993), Bayer (1992) e Follet & Schimel (1986), a uma redução do C orgânico e N total em solos com preparo reduzido por longos períodos de tempo. Follet & Schimel (1986) também verificaram que o N da biomassa microbiana, da mesma forma que o N total do solo, foi reduzido no preparo convencional. É possível que a redução no N_{mic} no preparo convencional não esteja relacionado apenas a uma redução de N total do solo, mas também a uma redução na sua qualidade. Mengel (1996) afirma que a maior parte do N presente no solo é resistente à mineralização e a perda de N devida ao cultivo do solo leva a uma disponibilidade ainda menor de N mineralizável, uma vez que o N que permanece no solo se encontra em formas estáveis. Portanto, a diferença no N_{mic} entre os sistemas de manejo do solo pode ser explicada pelo efeito cumulativo dos vários anos de manejo sobre a quantidade e qualidade de N total do solo, e a sua disponibilidade para a microbiota.

A importância principal da determinação da biomassa microbiana em áreas sob plantio direto está na 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, o milheto, o sorgo, entre outros.

Para a relação N_{mic}/N_{total} observa-se que somente ocorreu variação para as épocas de coleta, não havendo mais diferenças significativas para interações (Tabela 18).

Complementando os dados encontrados de N_{mic} e N_{total} para expressar a qualidade nutricional da matéria orgânica disponível nos diferentes sistemas de preparo do solo, os valores da relação N_{mic}/N_{total} , representados em porcentagem, variaram de 0,80 % a 2,80% (Figura 6). A relação N_{mic}/N_{total} variou apenas entre as épocas de amostragem, sendo que no verão (Janeiro de 2006) ocorreu uma maior relação N_{mic}/N_{total} , o que pode estar associado a maior atividade microbiana resultante do aumento da temperatura do solo, já que a biomassa é um compartimento que reflete mudanças conforme os fatores abióticos e as práticas de manejo (GAMA-RODRIGUES, 2005).

Tabela 18. Análise da variância para a relação entre o N-microbiano e o N-total (Nmic/NT) em três sistemas de preparo do solo, dois sistemas de calagem e duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR.

Causas de variação	Nmic/Ntotal (%)				
	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Repetição	2	2,5	1,3	1,82	0,2035
Sistema de manejo(A)	2	1,4	0,7	1,03	0,3855
Resíduo A	4	3,6	0,9		
Total A (parcela)	8	7,5			
Calagem (B)	1	0,6	0,6	0,84	0,3762
Interação AxB	2	1,4	0,7	1,02	0,3884
Resíduo B	6	2,0	0,3	0,49	0,8042
Total B (sub - parcela)	17	4,0			
Época de amostragem (C)	1	49,8	49,9	71,48	<0,0001
Interação AxC	2	1,4	0,7	1,02	0,3902
Interação BxC	1	0,1	0,1	0,12	0,7299
Interação AxBxC	2	3,0	1,5	2,19	0,1550
Resíduo (A+B)	12	8,4	0,7		
Total	35	74,3			

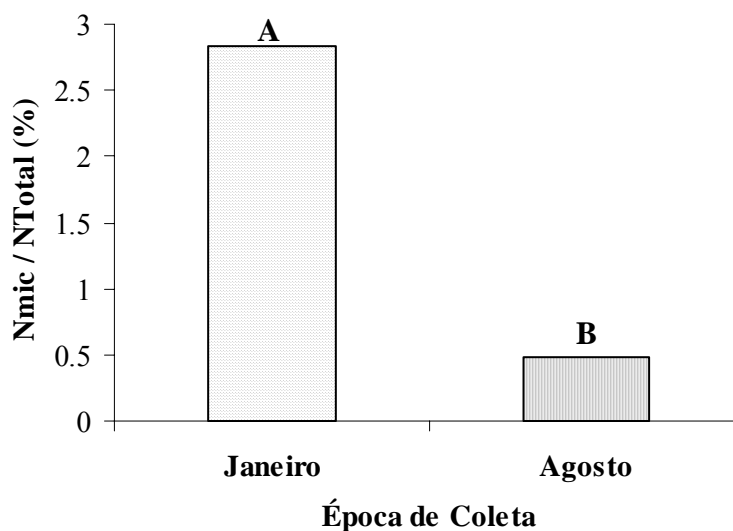


Figura 6. Relação Nmic/Ntotal do solo na camada de 0-10 cm, em duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Média de 3 sistemas de manejo, 2 sistemas de calagem e 3 repetições.

As relações C_{mic}/C_{org} e N_{mic}/N_{Total} são considerados medidas da qualidade nutricional da matéria orgânica do solo, expressando a eficiência da biomassa microbiana em imobilizar o C e o N orgânico do solo. Além disso, constituem boas indicadoras das alterações dos processos no solo e aqueles que apresentem valores maiores ou menores podem expressar ocorrência de acúmulo ou perda de C no solo, respectivamente (BARETTA et al., 2003). Em solos com adição de resíduos de baixa qualidade nutricional, os microrganismos se encontram sob estresse, tornando-se incapazes de utilizar totalmente o N e o C orgânico (WARDLE & GHANI, 1998).

4.3. Relação entre C-microbiano e N-microbiano (C_{mic}/N_{mic}) do solo

Os fatores sistema de manejo, calagem e época de amostragem, interagem para determinar a variação da relação C_{mic}/N_{mic} (Tabela 19).

Tabela 19. Análise da variância para a relação entre C-microbiano e N-microbiano (C_{mic}/N_{mic}) em três sistemas de preparo do solo, dois sistemas de calagem e duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR.

Causas de variação	Cmic/Nmic (%)				
	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Repetição	2	6,6	3,3	0,66	0,5360
Sistema de manejo(A)	2	30,1	15,0	3,01	0,0873
Resíduo A	4	7,2	1,8		
Total A (parcela)	8	43,9			
Calagem (B)	1	6,8	6,8	1,36	0,2669
Interação AxB	2	9,1	4,6	0,91	0,4271
Resíduo B	6	44,3	7,4		
Total B (sub - parcela)	17	60,2			
Época de amostragem (C)	1	35,1	17,6	3,52	0,0928
Interação AxC	2	8,1	4,1	0,81	0,4658
Interação BxC	1	22,3	22,3	4,46	0,0864
Interação AxBxC	2	55,5	55,5	11,11	0,0060
Resíduo (A+B)	12	59,9	5,0		
Total	35	285,0			

Não ocorreram diferenças significativas entre os sistemas de preparo do solo na primeira amostragem (janeiro de 2006). Já, para a segunda avaliação (agosto de 2006), houve variação da relação C_{mic}/N_{mic} , sendo que os maiores valores ocorreram em PR, sendo em média 38% e 4% maior que PD e PR respectivamente. Para PD e PC não ocorreram variações com a adição ou não do calcário, existindo essas variações para PR, onde os menores valores encontrados foram observados sem adição de calcário em agosto de 2006 (Tabela 20).

Tabela 20. Relação carbono da biomassa microbiana (C_{mic}) e nitrogênio da biomassa microbiana (N_{mic}) na camada de solo de 0-10 cm, em três sistemas de manejo e dois sistemas de calagem e duas épocas de amostragens, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Média de 3 repetições. (desdobramento da interação tripla).

Tratamento	Épocas de amostragem			
	Janeiro/2006		Agosto/2006	
	Com Calagem	Sem Calagem	Com Calagem	Sem Calagem
	----- % -----			
PD	4,93 Aa	3,94 Aa	1,16 Ab	2,53 Aab
PR	4,67 ABa	7,34 Aa	5,94 ABa	3,52 Ba
PC	3,06 Aa	8,71 Aa	2,82 Aab	1,76 Ab

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. PD= Plantio direto, PR= Preparo reduzido, PC= Preparo convencional.

De um modo geral, em média, a menor relação C_{mic}/N_{mic} e maior quantidade de N microbiano no plantio direto e no preparo reduzido podem indicar uma maior capacidade de imobilização de nitrogênio nestes sistemas. Doran (1980) afirma que a eficiência na utilização do N pelas plantas é menor no plantio direto, em parte devido a maior imobilização microbiana. Carter & Rennie (1982) também verificaram uma maior imobilização de N no plantio direto. Os sistemas com menor revolvimento do solo e manutenção de resíduos vegetais na superfície levam a uma maior disponibilidade de substratos, possibilitando uma maior concentração de nutrientes na biomassa microbiana (SALINAS-GARCIA et al., 2002). Garcia & Rice (1994) observaram que, em pastagens perenes, o aumento no N microbiano coincidiu com a diminuição na produção vegetal. Estes resultados sugerem que, em sistemas com disponibilidade limitada de N, a biomassa microbiana utiliza este nutriente mais eficientemente, com prejuízos para as culturas, especialmente quando a relação C_{mic}/N_{mic} for baixa. O plantio direto apresenta ainda um maior potencial de desnitrificação, levando a uma maior necessidade de adubação nitrogenada

(DORAN,1980). Por outro lado, o aumento da mobilização do solo resulta em decréscimo da capacidade de imobilizar e conservar o N (Follet & Schimel, 1986), levando a maiores perdas por lixiviação. Além disso, a imobilização de N pela biomassa é temporária. Na medida em que ocorre a morte dos microrganismos, estes são mineralizados pela biomassa remanescente, liberando os nutrientes imobilizados. Bonde et al. (1988) afirmam que a biomassa microbiana é a parte variável mais importante do N potencialmente mineralizável. Os autores verificaram que 55 a 89% do N mineralizado durante 40 semanas de incubação era derivado da biomassa microbiana.

4.4. Colonização micorrízica e comprimento de micélio extra-radicular do solo

A colonização micorrízica variou em função da interação entre os sistemas de manejo do solo e a calagem e da interação entre os sistemas de manejo do solo e a época de amostragem (Tabela 21).

Tabela 21. Análise da variância para colonização radicular e comprimento de micélio extra radicular total, em diferentes três sistemas de preparo do solo, dois sistemas de calagem e duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR.

Causas de variação	Colonização micorrízica (%)				
	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Repetição	2	42,7	21,3	3,62	0,0588
Sistema de manejo(A)	2	4208,2	2104,1	357,30	<0,0001
Resíduo A	4	45,2	11,3	1,92	0,1722
Total A (parcela)	8	4296,1			
Calagem (B)	1	49,0	49,0	8,32	0,0137
Interação AxB	2	969,5	484,8	82,32	<0,0001
Resíduo B	6	29,5	4,9	0,83	0,5657
Total B (sub - parcela)	17	1048,0			
Época de amostragem (C)	1	225,0	225,0	38,21	<0,0001
Interação AxC	2	77,2	38,6	6,55	0,0119
Interação BxC	1	1,0	1,0	0,17	0,6875
Interação AxBxC	2	7,2	3,6	0,61	0,5601
Resíduo (A+B)	12	70,7	5,9		
Total	35	5725,0			
Causas de variação	Comprimento de micélio (cm g ⁻¹)				
	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Repetição	2	51,0	25,5	24,44	<0,0001
Sistema de manejo(A)	2	95,0	47,5	45,53	<0,0001
Resíduo A	4	46,5	11,6		
Total A (parcela)	8	192,5			
Calagem (B)	1	18,5	18,5	17,78	0,0712
Interação AxB	2	805,3	402,7	386,08	<0,0001
Resíduo B	6	96,8	16,1		
Total B (sub - parcela)	17	920,6			
Época de amostragem (C)	1	37,7	37,7	36,15	<0,0001
Interação AxC	2	3,2	1,6	1,55	0,2521
Interação BxC	1	1,3	1,3	1,29	0,2782
Interação AxBxC	2	0,3	0,1	0,13	0,8778
Resíduo (A+B)	12	12,5	1,0		
Total	35	1168,1			

Os sistemas PD e PR com calagem apresentaram maiores valores de colonização em relação ao sistema PC, sendo 84% no PD e 79% no PR superior ao PC. Já, para o sistema sem calagem, verifica-se que o PD apresenta o maior valor de colonização, seguida do PR, sendo o PD 42% e 80% superior ao PR e ao PC, respectivamente (Tabela 22). Para o sistema PD verifica-se, ainda, o menor valor para colonização com calagem, sendo sem calagem 41% superior ao sistema PD com calagem. Os sistemas de PR e PC com calagem foram superiores ao sem calagem, sendo a calagem incorporada 23% e 54% maior que sem calagem para PR e PC, respectivamente.

Tabela 22. Colonização micorrízica em três sistemas de manejo do solo e dois de calagem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Médias de 2 épocas de amostragem e 3 repetições. (desdobramento da interação)

Sistemas de manejo	Calagem	
	Com calcário	Sem calcário
	----- % -----	-----
PD	24,00 Ba	41,00 Aa
PR	18,17 Aa	23,67 Bb
PC	3,83 Ab	8,33 Bc

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. PD= Plantio direto, PR= Preparo reduzido, PC= Preparo convencional.

Para a coleta de janeiro/2006 (verão), o sistema de PD apresentou maior colonização micorrízica, seguida do sistema PR. O PC apresentou o menor valor, sendo 81% menor que PD. Para agosto/2006 (inverno) a colonização se comportou de forma diferente, onde o sistema PD e PR tiveram os maiores valores médios, não havendo diferenças significativas. A colonização no sistema PC foi 81% e 71% menor que PD e PR, respectivamente (Tabela 23).

Tabela 23. Colonização micorrízica em três sistemas de manejo do solo e duas épocas de amostragem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Médias de 2 sistemas de calagem e 3 repetições. (desdobramento da interação)

Sistemas de manejo	Época de Coleta	
	Janeiro/2006	Agosto/2006
	----- % -----	
PD	36,83 Aa	28,17 Aa
PR	23,33 Ab	18,50 Aa
PC	6,83 Ac	5,33 Ab

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. PD= Plantio direto, PR= Preparo reduzido, PC= Preparo convencional.

O comprimento de micélio extra-radicular total do solo variou em função da interação entre os sistemas de preparo do solo testados e a calagem e a época de amostragem (Tabela 21)

O comprimento de micélio extra-radicular foi maior em janeiro/2006, como se pode verificar na Figura 7. Isso provavelmente é explicado pelo fato de, em janeiro, estar em desenvolvimento a cultura da soja na área, que é uma planta com alta dependência micorrízica. Ao contrário, no mês de agosto, onde havia o consórcio de ervilhaca e nabo forrageiro, o menor valor de comprimento micelial pode ser explicado ao fato do nabo não apresentar dependência micorrízica.

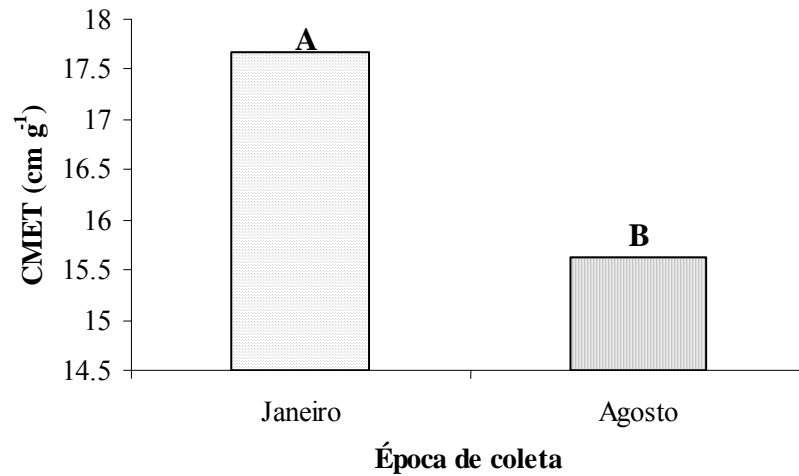


Figura 7. Comprimento micelial extra-radicular (CMET) na camada de 0-10 cm, em duas épocas de coleta, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Média de 3 sistemas de manejo do solo, 2 de calagem e 3 repetições.

No sistema com calcário, o PD apresentou o menor comprimento micelial e o PC o maior comprimento. Já, para sistemas sem calcário, o PD apresentou o maior valor médio para o comprimento micelial e PR e PC foram inferiores, não ocorrendo diferenças significativas entre eles. O sistema PD sem calagem foi superior ao com calagem incorporada em 54%, enquanto os sistemas PR e PC com calagem incorporada se apresentaram superiores ao sem calagem em aproximadamente 18% e 36%, respectivamente.

Tabela 24. Comprimento micelial extra-radicular (CMET) na camada de 0-10 cm, em três sistemas de manejo e dois de calagem, em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR. Médias de 2 épocas de amostragem e 3 repetições. (desdobramento da interação)

Sistemas de manejo	Calagem	
	Com calcário	Sem calcário
	-----cm g ⁻¹ -----	
PD	11,87 Bc	25,87 Aa
PR	16,12 Ab	13,08 Bb
PC	20,42 Aa	13,17 Bb

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. PD= Plantio direto, PR= Preparo reduzido, PC= Preparo convencional.

A intensidade do uso do solo provoca alterações acentuadas na densidade e diversidade de FMAs, tendendo isto se relacionar com a degradação do solo, tendo em vista a importância destes fungos para as plantas (SIQUEIRA et al., 1994) e a contribuição do micélio extra-radicular e das raízes micorrizadas para a agregação e estabilidade dos agregados (MILLER & JASTROW, 1992; JASPER, 1994). A conversão de ecossistemas naturais para agrossistemas resulta em mudanças fundamentais na comunidade de FMAs. Isto tem sido documentado no mundo todo como, por exemplo, no Cerrado brasileiro (SIQUEIRA et al., 1989; MIRANDA & MIRANDA, 1997) e sistemas da Europa (OEHL et al., 2003) e dos Estados Unidos (JOHNSON & PFLEGER, 1992). O cultivo do Cerrado aumenta a densidade de esporos, mas reduz a riqueza de espécies e tende a favorecer a dominância (SIQUEIRA et al., 1989; SCHENCK et al., 1989). Nos Estados Unidos, a monocultura de milho ou da soja causa profundas mudanças na comunidade de FMAs nativos, selecionando FMAs pouco eficientes para aquela monocultura, levando ao declínio na produção da mesma e, portanto, com reflexos na sustentabilidade. Estudo semelhante realizado na Europa mostrou que a monocultura de milho reduziu em mais de 60% a densidade de esporos dos FMAs e a riqueza de espécies de 26 para apenas 10 (OEHL et al., 2003). Os propágulos de FMAs como esporos e raízes micorrizadas são mais tolerantes aos distúrbios do solo que as hifas (JASPER et al., 1991). Embora as hifas extra-radulares não estejam diretamente relacionadas como propágulos, a sobrevivência dos fungos no solo se relaciona com o volume de micélio viável produzido. As práticas de agricultura como

a mecanização intensiva, uso de agroquímicos e variedades melhoradas podem reduzir a população de FMAs no solo conforme discutido em Moreira & Siqueira (2006), existindo efeitos negativos do sistema convencional de preparo do solo sobre os FMAs. O preparo convencional do solo (aração e gradagem) reduz o potencial de inoculo, devido a quebra da rede de hifas extraradiculares (MILLER & JASTROW, 1992), exposição dos esporos e raízes colonizadas a altas temperaturas, ao ressecamento e aos predadores (JASPER et al., 1991). Como as micorrizas são importantes fatores bióticos da sustentabilidade, qualquer impacto sobre estas pode favorecer a degradação. Redução na colonização micorrízica e conseqüentemente diminuição dos efeitos benéficos dos FMAs para as plantas, reduzindo a qualidade do solo e a sustentabilidade, podendo causar a degradação. A mecanização intensiva do solo pode também causar a compactação do solo e facilitar a erosão. Também, em solos compactados a absorção de água e nutrientes é dificultada, favorecendo a ocorrência de estresses abióticos às plantas. Estas alterações físicas do solo podem reduzir as micorrizas que são importantes fatores de crescimento das plantas nestas condições. Por exemplo, as MAs amenizam estes efeitos adversos da compactação do solo para o feijão guandu (YANO et al., 1998) por promoverem maior crescimento radicular e absorção de água e P em relação a plantas não micorrizadas. Os autores observaram que as hifas podem romper a camada compactada possibilitando maior exploração do solo pelas plantas micorrizadas, ficando evidenciada a importância desta simbiose para as plantas em solos mal manejados. Em sistema de plantio direto, em virtude da não ruptura da rede de hifas extraradiculares e ambiente edáfico mais equilibrado, há favorecimento da colonização (EVANS & MILLER, 1990). Na cultura do trigo em Londrina (PR), a colonização micorrízica foi maior no plantio direto em relação ao sistema convencional, no entanto, houve uma maior esporulação neste último sistema (COLLOZZI-FILHO, 1991), isto se deve principalmente pelo ambiente estressante no sistema convencional que, como já mencionado, dependendo do grau de estresse, pode favorecer a esporulação. Entretanto, estas modificações podem não ser benéficas, pois pode haver a seleção de espécies de FMAs de menor eficiência simbiótica ou mesmo parasítica para a cultura (JOHNSON & PFLEGER, 1992), contribuindo para o chamado “*declínio da monocultura*”, problema este que se resolve com rotação de culturas empregando espécies hospedeiras de FMAs. Tem sido também demonstrado a importância das micorrizas para a nutrição, sanidade e produtividade das culturas em sistemas de plantio direto. Kunishi et al. (1989) demonstraram em condições de campo, nos EUA, que a eliminação da micorrização

reduziu a absorção de P e a produtividade do milho, sendo esse efeito mais acentuado no milho sob plantio direto do que no plantio convencional. Os autores também demonstraram que a contribuição das micorrizas foi pequena e sem diferença para o tipo de manejo do solo quando P suficiente foi aplicado ao solo. Estudos como este evidenciam a contribuição desta simbiose para sistemas agrícolas sustentáveis. A combinação do cultivo mínimo com plantas com alto grau de micotrofia empregadas em cobertura contribui para manter elevada densidade de hifa, elevado potencial de inoculo, estabilização do solo e, assim, manter a sustentabilidade da produção (KABIR, 2005). A adubação com doses excessivas de fertilizantes, uso indiscriminado de defensivos e o revolvimento intensivo do solo, são práticas que afetam negativamente as MAs, e assim contribuem para a reduzida sustentabilidade de sistemas que empregam estas práticas.

5. CONCLUSÃO

1. O carbono orgânico total variou com o sistema de manejo do solo, sendo o menor teor encontrado no preparo convencional, e o estoque de carbono com a época de amostragem, apresentando maiores teores no verão.
2. O nitrogênio total do solo do solo variou com o sistema de preparo do solo e de calagem estudados, sendo encontrados menores teores no preparo convencional com calagem e nos sistemas plantio direto e preparo convencional sem calagem.
3. O sistema de preparo reduzido apresentou os maiores teor de carbono da biomassa microbiana e maior relação carbono da biomassa microbiana e carbono orgânico total, em relação ao sistema de plantio direto e preparo convencional.
4. O nitrogênio da biomassa microbiana e a relação carbono da biomassa microbiana e nitrogênio da biomassa microbiana sofreram variações com os sistemas de preparo do solo, calagem e épocas estudados.
5. Os maiores valores de quociente metabólico foram encontrados no preparo convencional, nas duas épocas de amostragem, indicando a maior condição de estresse da população microbiana sob esse sistema.
6. A respiração basal ($C-CO_2$) foi maior para o preparo convencional, enquanto o preparo reduzido e o plantio direto não apresentaram diferenças entre si.
7. A colonização micorrízica foi maior no PD sem calagem nas duas épocas de amostragem, e o comprimento de micélio extra-radicular foi maior no PD sem calagem, consequência da maior colonização nesse sistema de manejo do solo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADDISCOTT, T.M. Entropy and sustainability. **Eur.J. Soil Science**, v.46, p. 161-168, 1992.

ALVAREZ, R.; DÍAZ, R.A.; BARBERO, N. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. **Soil Tillage Res.**, Amsterdam, v.33, n.1, p.17-28, 1995.

AMADO, T.J.C.; FERNANDEZ, S.B.; MIELNICZUK, J. Nitrogen availability as affected by ten years of cover crop and tillage systems in southern Brazil. **Journal Soil and Water Conservation**, v.53, p.268-271, 1998.

AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F. & BRUM, A.C.R. Potencial de plantas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **R. Bras. Ci. Solo**, 25:189-197, 2001.

AMÉZKETA, E. Soil aggregate stability: A review. **Journal of Sustainable Agriculture**. v.14, p.83-151, 1999.

ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient ($q\text{CO}_2$) as a specific activity parameters to assess the effects of environmental condition, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.25, n.3, p.393-395, mar. 1993.

ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.21, n.4, p.471-479, apr.1989.

ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. **Soil Biology and Biochemistry**. v.10, p.215-221, 1978.

ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. **Soil Sci.**, Baltimore, v.130, n.4, p.211-216, 1980.

ANDERSON, T.H. Physiological analysis of microbial communities in soil: applications and limitations. In: RITZ, K.D. & GILLER, K.E. (Eds) **Beyond de biomass**. London British Society of Soil Science, 1994. p.67-76.

ANDRADE, D.S.; COLOZZI-FILHO, A.; PAVAN, M.A.; BALOTA, E.L.; CHAVES, J.C.D. Atividade microbiana em função da calagem em um solo cultivado com cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.2, p.191-196, maio/ag. 1995.

ANGERS, D.A.; BISSONNETTE, N.; LEGÉRE, A. Microbial and biochemical changes incubes by rotation and tillage in a soil under barley production. **Can. J. Soil Science**, Ottawa, v.17, n.1, p. 19-50, 1993.

BAGO, B. Putative sites for nutrient uptake in arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant Soil**, 226:263-274, 2000.

BALOTA, E.L. Alterações microbiológicas em um solo cultivado em plantio direto. In: PEIXOTO, R.T.G.; AHRENS, D.C.; SAMAHA, M.J. (Eds.). **Plantio direto: caminho para uma agricultura sustentável**. Ponta Grossa: IAPAR, 1997, p.222-223.

BALOTA, E.L. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.22, p.641-649, 1998.

BALOTA, E. L. et al. Microbial biomass in soil under different tillage and crop rotation systems. **Biology & Fertility of Soil**, v.38, p.15-20, 2003.

BAYER, C. Características químicas do solo, nutrição e rendimento do milho afetados por métodos de preparo e sistemas de culturas. Porto Alegre, 1992. 172p. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Feseral do Rio Grande do Sul, 1992.

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo húmico afetado por sistema de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.687-694, 1999.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p.105-112, 1997.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T.J.C.; MARTIN-NETO, L. & FERNANDES, S.V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil Till. Res.**, 54:101-109, 2000.

BARBER, S.A. **Soil nutrient bioavailability** – a mechanistic approach. New York: John Wiley, 1995. 414p.

BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; MANFROI, A.F.; TASCA, F.A.; DOMINGOS, M.D.; KLAUBERG-FILHO, O. & MAFRA, A.L. Diversidade da fauna edáfica em mata nativa, floresta de pinus e campo nativo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, Ribeirão Preto, 2003. **Resumos....**Ribeirão Preto, SBCS/UNESP, 2003. p.1-4. CD-Room.

BEARE, M. H. et al. Agrégate-protected and unprotected organic matter pools in conventional and no-tillage soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.787-795, 1994.

BOLTON JUNIOR, H.; FREDRICKSON, J.K.; ELLIOTT, L.F. Microbial ecology of the rhizosphere. In: METTING JUNIOR, F.B. (Ed.). **Soil microbial ecology: applications in agricultural and environment management**. New York: Marcel Dekker, 1993. cap.2, p.27-63.

BONDE, T.A.; SCHNURER, J.; ROSSWALL, T. Microbial biomass as a fraction of potentially mineralizable nitrogen in soils from long-term field experiments. **Soil biol. Biochem.**, Oxford, v.20, n.4, p.447-452, 1988.

BUCKING, H.; SHACHAR, H.; HILL, Y. Phosphate uptake, transport and transfer by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* is stimulated by increased carbohydrate availability. **New Phytol.**, 165:899-912, 2005.

BORGES, G. O. Resumo histórico do plantio direto no Brasil. In: EMBRAPA-CNPT, FUNDACEP-FECOTRIGO, FUNDAÇÃO ABC. **Plantio Direto no Brasil**. Passo Fundo: Editora Aldeia Norte, 1993. p.13-17.

BRADY, N.C. Natureza e propriedade dos solos. 7ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1989.

BROOKES, P.C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.19, n.2/3, p.269-279, feb./mar. 1995.

BRUCE, R.R.; LANGDALE, G.W.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D.S. Chloroform fumigation and a sandy surface soil. **Soil Science Society America Journal**, v.54, p.1744-1747, 1992.

CHAER, G.M.; BORGES, A.C.; TÓTOLA, M.R. Indicadores microbiológicos na avaliação da qualidade do solo em sistemas de manejo de eucalipto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21; REUNIÃO SOBRE MICORRIZAS, 9; SIMPOSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 7; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGICA DO SOLO, 4., 2002. Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro, 2002, 201p.

CAMARGO, A.M.; MOURA, B.R.; LIMA, E.; CASTELETTI, L.C.; WILDNER, M.; CHAUDHRY, Z. De volta as origens. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.181-185, 1999.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOT, E.T. Particulate soil organic matter changes a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p.777-783, 1992.

CAMPBELL, C.A.; KA, E.Y.W.; WINKEMAN, G.E. Mineralization rate constants and their use for estimating nitrogen mineralization in some Canadian prairie soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.64, p.333-343, 1984.

CARNEIRO, M.A.C. **Características bioquímicas do solo em duas cronossequências de reabilitação em áreas de mineralização de bauxita**. Lavras, UFLA. 2000.166f.

CARTER, M.R. Influence of reduced tillage systems on organic matter, microbial biomass, macro-aggregate distribution and structural stability of surface soil in a humid climate. **Soil & Tillage Research**, v.23, p.361-372, 1992.

CARTER, M.R. Microbial biomass as index for tillage-incuced changes in soil biological propertires. **Soil Till. Res.**, n.7, p.29-40, 1986.

CARTER, R.M.; RENNIE, D.A. Changes in soil quality under zero tillage farming systems: distribution of microbial biomass and mineralizable C and N potentials. **Canadian Journal of Soil Science**, v.62, p.587-597, 1982.

CATTELAN, A.J. **Sistemas de culturas e os microrganismos do solo**. Porto Alegre, UFRGS, 1989. 150p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Solos).

CATTELAN, A.J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana so solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.133-142, 1990.

CATTELAN, A.J.; GAUDÊNCIO, C.A.; SILVA, T.A. Sistemas de rotação de culturas em plantio direto e os microrganismos do solo, na cultura da soja em Londrina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.293-301, 1997.

CARVALHO, Y. Densidade e atividade dos microrganismos do solo em plantio direto e convencional, na região de Cambei –PR. Curitiba, 1997. 87p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C.; ALBUQUERQUE, J.A. Manejo da calagem e os componentes da acidez de um Latossolo bruno em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.317-326, 2004.

COLLOZZI-FILHO, A. Efeito do sistema de cultivo e rotação de culturas sobre a população de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Anais. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. p.202.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J.A.; FONTOURA, S.M.V. Aumento de matéria orgânica num Latossolo Bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34,n.2, p.587-589, 2004.

CONSTANTINI, A.; CONSENTINO, D.; SEGAT, A. Influence of tillage systems on biological properties of a typic argiudoll soil under continuous maize in central Argentina. **Soil & Tillage Research**, v.38, p.265-271, 1996.

CURL, E.A.; TRUELOVE, B. **The rizosfera**. New York: Springer-Verlag, 1986. 288p.

DALAL, R.C. Soil microbial biomass – What do the numbers really mean? **Aust. J. Exp. Agric.**, 38:649-665, 1998.

D'ANDRÉIA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas manejo na região do cerrado no Sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.26, n.4, p.913-923, out.2002.

DE-POLLI, H., GUERRA, J.G.M.C.; N e P na biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, J. A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**, Porto Alegre: Genesis, 1999. p.389-411.

DICK, W.A. et al. Continuous application of no-tillage to Ohio soils. **Agronomy Journal**, da v.83, p.65-73, 1991.

DORAN, J.W. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.765-771, 1980.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDOCEK, D.F.; STEWART, B.A. (Eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.3-35 (Publication, 35).

DUXBURY, J.M.; LAUREN, J.G.; FRUCI, J.R. Measurement of the biologically-active soil-nitrogen fraction by a N^{15} technique. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.34, p.121-129, 1991.

ELLIOTT, E. T.; COLEMAN, D. C. Let the soil work for us. **Ecological Bulletin**, v.39, p.23-32, 1998.

EMBRAPA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. Brasília, Rio de Janeiro: Embrapa, 1999. 412p.

EVANS, D.G. & MILLER, M.H. The role of the external mycelial network in the effect of soil disturbance upon vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization of maize. **New Phytologist**, 114: 65-71, 1990.

FEBRAPDP – **Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha**. (2006). Disponível em: <http://www.febapdp.org.Br/area_PD_Brasil> Acesso em: 13 nov. 2006.

FELLER, C.; BEARE, N.H. Physical control of soil organic matter dynamics in tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v.79, p.69-116, 1997.

FREITAS, P.L.; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E.; LARRE-LARROUY, M.C.; FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de latossolos sob sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.157-170, 2000.

FERREIRA, M.C.; ANDRADE, D.S.; CHUEIRE, L.M.O.; TAKEMURA, S.M.; HUNGRIA, M. Tillage method and crop rotation on the population sizes and diversity of bradyrhizobia nodulating soybean. **Soil Biology Biochemistry**, v.32, p.627-637, 2000.

FERREIRA, E.A.B.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C.; RAMOS, M.L.G. Dinâmica do carbono da biomassa em cinco profundidades de um Latossolo no cerrado sob diferentes sistemas de manejo do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21; REUNIÃO SOBRE MICORRIZAS, 9; SIMPOSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 7; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGICA DO SOLO, 4., 2002. Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro, 2002, 201p.

FOLLET, R.F.; SCHIMEL, D.S. Effect of tillage practices on microbial biomass dynamics. **Soil Society of America Journal**, v.53, p.1091-1096, 1986.

FRANÇA, S.C.; FATTORI, A.C.; SILVEIRA, A.P.D. Atividade microbiana do solo em dois sistemas de produção de plantas cítricas: convencional e orgânico. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 9; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 7; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 4., Rio de Janeiro, 2002. **Resumos...** SBSC/SBM/UFRRJ, 2002. CD-Room.

GALE, W.J.; CAMBARDELLA, C.A. Carbon dynamics of surface residue-and root-derived organic matter under simulated no-till. **Soil Science of America Journal**, v.64, p.190-195, 2000.

GAMA-RODRIGUES, E.F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: Santos, G.A. & Camargo, F.A.O (Eds) Fundamentos da matéria orgânica do solo – Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Gênese, 1999, p.227-244.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; BARROS, N.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; SANTOS, G.A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.6, Viçosa, nov./dez. 2005.

GARCIA, F.O.; RICE, C.W. Microbial biomass dynamics in tallgrass prairie. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v.58, n.3, p.816-823. 1994.

GRISI, B.M. Participação da microbiota na ciclagem de nutrientes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 4., 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** Campinas: Software Gráfico Comércio e Serviços/ Bicca Produções SIC, 1996. 1CD.

GRIFFIN, G.J.; HALE, M.G.; SHAY, F.J. Nature and quantity of sloughed organic matter produced by roots of axenic peanut plants. **Soil Biology and biochemistry**, v.8, n.1, p.123-129, 1976.

GRAHAM, J.H. Assessing costs of arbuscular mycorrhizal symbiosis in agroecosystems. In: PODILA, G.K.; DOUDS, D.D. eds. **Current advance in mycorrhizae research**. St. Paul, APS Press, 2000. p.127-140.

GUPTA, V.V.S.R.; LARSON, W.E.; LINDEN, D.R. Tillage and surface residue effects on soil upper boundary temperatures. **Soil Sci. Soc. Am. J.** Madison, v.47, n.6, p.1212-1218. 1983.

HART, P.B.S.; AUGUST, J.A.; WEST, A.W. Long-term consequences of topsoil mining on select biological and physical characteristics of two new Zealand loessial soils under grazes pasture. **Land Degrad. Rehabil.**, n.1, p.77-88, 1989.

HASSINK, J. et al. Relationships between soil texture, physical protection of organic matter, soil biota, and C and N mineralization in grassland soils. **Geoderma**, v.57, p.105-128, 1993.

HAVLIN, J.L. et al. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. **Science Society of America Journal**, v.54, p.448-452, 1990.

HERMAN, W.A.; MCGILL, W.B.; DORMAAR, J.F. Effects of initial chemical composition decomposition of roots of three grass species. **Canadian Journal of Soil Science**, v.57, p.205-215, 1977

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation manegement. **Journal Soil Water Conservation**, v.55, p.69-78, 2000.

JAGGI, W. Die Bestimmung der CO₂ Biulding als Maâ der bonbodenbiologischen Aktivitat. **Schwiez Landwirtschaft Forchung Band** 15, Heft, 314:317-181, 1976.

JAKOBSEN, I.; SMITH, S.E.; SMITH, F.A. Function and diversity of arbuscular mycorrhizae in carbon and mineral nutrition. In: van der HEIJDEN, M.G.A.; SANDERS, I.; (Ed.). **Mycorrhizal ecology**. Berlin, Springer-Verlag, 2002. p.75-92. (Ecological Studies, 157).

JASPER, D.A. Management of mycorrhizas in revegetation. In: ROBSON, A.D.; ABBOTT, L.K. & MALAJCZUK, N. eds. Management of mycorrhizas in agriculture, horticulture and forestry. Dordrecht, **Kluwer Academic Publishers**, 1994. p.211-219.

JASPER, D.A.; ROBSON, A.D. & ABBOTT, L.K. The effect of soil disturbance on vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in soils from different vegetation types. **New Phytologist**, 118: 417-476, 1991.

JASTER, F.; ELTZ, F.; FERANDEZ, F.F.; MERTEN, G.H.; GAUDENCIO, C.A.; OLIVEIRA, M.N.C. **Rendimentos de grãos em diferentes sistemas de preparo de manejo de solos**. Londrina: Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Soja, 1993. 39p.

JENKINSON, D.S. Studies on the decomposition of plant material in soil. V. The effects of plant cover and soil type on the loss carbon ¹⁴C labeled ryegrass decomposing under field conditions. **Journal of Soil Science**, v.28, p.424-434, 1977.

JOHNSON, N.C. & PFLEGER, F.L. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and cultural stresses. In: BETHLENFALVAY, G.J. & LINDERMAN, R.G. ed. Mycorrhizae in sustainable agriculture. Madison, **American Society of Agronomy**, 1992. p.71-99.

JUMA, N. G. Interrelationships between soil struture/texture, soil biota/soil organic matter and crop production. **Geoderma**, v.57, p3-30, 1993.

KABIR, Z. Tillage or no-tillage: impact on mycorrhizae. **Can. J. Plant Sci.**, 85:23-29, 2005.

KANDELER, E.; TSCHERKO, D.; SPIEGEL, H. Long-term monitoring of microbial biomass, N mineralization and enzyme activities of a Chernozem under different tillage management. **Biology & Fertility of Soil**, v.38, p.343-351, 1999.

KENNEDY, A.C.; PAPENDICK, R.I. Microbial characteristics of soil quality. **Journal Soil Water Conservation**, v.50, p.243-248, 1995.

KOSKE, R.E.; GEMMA, J.N. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. **Mycological Research**, 92 (4): 486-488, 1989.

KUNISHI, H.M.; BANDEL, V.A.; MILLNER, P.D. & ANDERSON, E.A. Soil fumigation effects on growth and phosphorus uptake by corn. **Commun. Soil Plant Anal.**, 20:1545-1555, 1989.

LAL, R. Conservation tillage for sustainable agriculture: Tropics versus temperate environments, **Adv. Agron.**, v.42, p.85-197, 1989.

LEWANDOWSKI, A.; ZUMWINKLE, M. **Assessing the soil system:** A review of soil quality literature. Minnesota Department of Agriculture, Energy and Sustainable agriculture Program. St. Paul. 1999, 65p.

LIMA, V. C. et al. Conteúdo de carbono e biomassa microbiana em agrossistemas: Comparação entre métodos de preparo de solo. **Agrárias**, v.13, p.297-302, 1994.

LYNCH, J. M.; PANTING, L. M. Cultivation and soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v.12, p.29-33, 1980.

LOVELOCK, C.E.; EWEL, J.J. Links between tree species, symbiotic fungal diversity and ecosystem functioning in simplified tropical ecosystems. **New Phytol.**, 167:219-228, 2005.

MALUCHE, C.R.D. **Atributos microbiológicos e químicos do solo em sistemas de produção de maçãs convencional e orgânico.** Lages, 2004. p.24. Dissertação – Universidade Estadual de Santa Catarina (UDESC), Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV), Lages,SC, 2004.

MARQUES, M.C.; GRAZZIOTI, P.H.; CARVALHO, J.E.B. de; TRINDADE, A.V. Manejo de cobertura do solo sobre os aspectos microbiológicos e químicos do solo em citros. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21; REUNIÃO SOBRE MICORRIZAS, 9; SIMPOSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 7; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGICA DO SOLO, 4., 2002. Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro, 2002, 201p.

MARIA, I.C.; CASTRO, O.M. Potássio e matéria orgânica em um latossolo roxo, sob sistemas de manejo com milho e sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, p.471-477, 1993.

MARCHIORI-JUNIOR, 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.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plant**. New York: Academic Press, 1995. 889p.

MARUMOTTO, T.; ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, KH. Mineralization of nutrients from soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**. Oxford, v.14, p.469-475, 1982.

McCARTY, G. W.; LYSENKO, N. N.; STARR, J. L. Short-term changes in soil carbon and nitrogen pools during tillage management transition. **Soil Science Society of America Journal**, v.62, p.1564-1571, 1998.

McCARTY, G. W.; MEISINGER, J. J.; JENNISKENS, F. M. M. Relationships between total-N, biomass-N and active-N in soil under different tillage and N fertilizer treatments. **Soil Biology and Biochemistry**, v.27, p.1245-1250, 1995.

McGONIGLE, T.P.; MILLER, M.H.; EVANS, D.G.; FAIRCHILD, G.L.; SWAN, J.A. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **The New Phytologist**, 115 (3) : 495-501, 1990.

MELLO IVO, W.M.P. de; MIELNICZUK, J. Influencia da estrutura do solo na distribuição e na morfologia do sistema radicular do milho sob três métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.135-143, 1999.

MELLONI, R. **Quantificação de micélio extrarradicular de fungos micorrízicos arbusculares em plantas cítricas**. ESALQ, 1996. p.83 (Dissertação de mestrado)

MENDES, I. et al. Biomassa C e atividade microbiana em solos de cerrado sob plantio direto e plantio convencional. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO DO SOLO E DA ÁGUA, 13., Ilhéus, 2000. **Resumos...** Ilhéus:SBSCS, 2000, p.44.

MENGEL, K. Turnover of nitrogen in soil and its availability to crops. **Plant Soil**, Dordrecht, v.181, n.1, p.1-19, 1996.

MERCANTE, F.M.; FABRICIO, A.C.; SILVA, R.F. da; ROSCOE, R.; SALTON, J.C. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na biomassa microbiana e na produtividade de soja. . In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21; REUNIÃO SOBRE MICORRIZAS, 9; SIMPOSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 7; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGICA DO SOLO, 4., 2002. Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro, 2002, 201p.

MERCKX, R.; VANGINKEL, J.; SINNAEVE, J.; CREMERS, A. Plant-induced changes in the rhizosphere of maize and wheat. I. Production and turnover of root-derived material in the rhizosphere of maize and wheat. **Plant and soil**, v.96. p.85-94, 1996.

MILLER, R.M. & JASTROW, J.D. The application of VA mycorrhizae to ecosystem restoration and reclamation. In: ALLEN, M.F. ed. Mycorrhizal functioning. Routledge, **Chapman & Hall Inc**, 1992. p.439-467.

MIRANDA, J.C.C. & MIRANDA, L.N. Micorriza arbuscular. In: VARGAS, M.A.T. & HUNGRIA, M. eds. Biologia dos solos dos cerrados. Planaltina, EMBRAPA, 1997. p.69-123.

MOREIRA, F.M.S; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras, Editora UFLA, 2002. cap.3, p.81-152: Ecologia do solo.

MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2^a edição atualizada e ampliada. Lavras, Editora UFLA, 2006. 729p.

MULLER, B.R.; BEARE, M.R.; CROSSLEY JUNIOR, D.A. Soil mites in detrital food webs of conventional and no-tillage agroecosystems. **Pedobiologia**, v.34, p.389-401, 1990.

NDAW, S.M.; RODRIGUES, E.F. da G.; ROSADO, A.S. Diversidade, biomassa e atividade microbiana como indicadores da qualidade dos solos sob sistemas coberturas vegetais no entorno do Parque do Desengano, Santa Maria Madalena, RJ. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21; REUNIÃO SOBRE MICORRIZAS, 9; SIMPOSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 7; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGICA DO SOLO, 4., 2002. Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro, 2002, 201p.

NEAL, J.L.; LAESON, R.I.; ATKINSON, T.G. Changes in rhizosphere populations of selected physiological groups of bacteria related to substitution of specific pairs of chromosomes in spring wheat. **Plant and Soil**, v.39, p.209-212, 1973.

NEERGAARD, A. de; MAGID, J. Influence of the rhizosphere on microbial biomass and recently formed organic matter. **European Journal of Soil Science**, v.52, p.377-384, 2001.

OEHL, F., SIEVERDING, E., INEICHEN, K., MADER, P., BOLLER, T. & WIEMKEN, A. Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems os Central Europe. **Applied and Environmetal Microbiology**, 69:2816-2824, 2003.

OLSSON, P.A.; THINGSTRUP, I.; JAKOBSEN, I.; BAATH, F. Estimation of the biomass of arbuscular mycorrhizal fungi in a linseed field. **Soil Biology and biochemistry**. 31:1879-1887, 1999.

ORIAN, G.H; DIRZO, R.; CUSHMAN, J.H.; Syntesis. In: ORIAN, G.H.; DIRZO, R.; CUSHMAN, J.H. (Ed.). **Biodiversity and ecosystem processes in tropical forest**. Berlin: Spring Verlag, 1996. p.195-220.

PARKIN, T.B.; DORAN, J.W.; FRANCO-VIZCAINO, E. Field and laboratory tests of soil respiration. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.231-245.

PARKINSON, D.; PAUL, E.A. Microbial biomass. In: PAGE, A.I.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R. (Ed). **Methods of soil analysis**. Chemical and microbiological properties, Madison: SSSA, 1982, pt2. p.821-829.

PARMELEE, R.W. et al. Earthworms and enchytraeids in conventional and no-tillage agroecosystems: a biocide approach at assess their role in organic matter breakdown. **Biology and Fertility Soil**, v.10, p.1-10, 1990.

PAUL, E. A.; VORONEY, R. P. Field interpretation of microbial biomass activity measurements. In: KLUG, M. J.; REDDY, C. A. (Ed.) **Current perspectives in microbial ecology**. Washington: American Society for Microbiology, 1983. p.123-131.

POWLSON, D.S.; JENKINSON, D.S. A comparison of the organic matter, biomass, adenosine triphosphate and mineralize nitrogen contents of ploughed and direct drilled soils. **Journal Agriculture Science**, n.97, p.713-721, 1981.

PURI, G.; ASHMAN, M.R. Relationship between soil microbial biomass and gross N mineralization. **Soil Biology and Biochemistry**, v.30, p.251-256, 1998.

RAHN, C.R.; LILLYWHITE, R.D. A study of the quality factors affecting the short term decomposition of field vegetable residues. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.82, p.19-26, 2001.

RAMOS, M.L.G.; RESCK, D.V.S.; FERREIRA, A.B.; EL-MOOR, R.D.; GOMES, A.C. Biomassa microbiana e evolução de CO₂ em diferentes sistemas de manejo num Latossolo Vermelho-Escuro argiloso no Cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 18., 2001. Londrina. **Resumos...** Londrina: 2001, p.82.

REICOSKY, D.C.; KEMPER, W.D.; LANGDALE, G.W; DOUGLAS, Jr., C.I.; RASMUNSEN, P.E. Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. **Journal Water Conserv.** v.50, p.253-261, 1995.

RESCK, D.V.S.; VASCONCELLOS, C.A.; VIELLA, L.; MACEDO, M.C.M. Impact of conversion of Brazilian Cerrados to cropland and pasture land on soil carbon pooland dynamics. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; STEWART, B.A. (Ed.) **Global climate change and tropical ecosystems**. Boca Raton: CRC, 1999. p.169-196. (advances in Soil Science).

RILLIG, M.C.; WRIGHT, S.F.; EVINER, V.T. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. **Plant Soil**. 238:325-333, 2002.

RILLIG, M.C.; WRIGHT, S.F.; NICHOLS, K.A.; SCHMIDT, W.F.; TORN, M.S. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. **Plant Soil**. 233:167-177, 2001.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.70, p.107-119, 2003.

ROSCOE, R.; VASCONCELOS, C.A.; FURTINI-NETO, A.E.; GUEDES, G.A.A.; FERNANDES, L.A. Urease activity and its relation to soil organic matter, microbial biomass nitrogen and urea-nitrogen assimilation by maize in a Brazilian Oxisol under no-tillage and tillage systems. *Biology and Fertility of Soils*. Berlin, v.32, p.52-59, 2000.

RHODON, F.E. Influence of time on soil response to no-till practices. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, p.700-709, 2000.

ROVIRA, A.D. Biology of the soil-root interface. In: HARLEY, J.L.; RUSSEL, R.S. (Ed.). **The soil root interface**. New York: Academic Press, 1979. p.145-160.

SÁ, J.C.M. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas de manejo convencional e plantio direto**. Piracicaba, 2001. 141p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, SP, 2001.

SALTON, J.C. & MIELNICZUK, M.J. Effect of fall tillage method on short term carbon dioxide flux from soil. **Agron. J.** v.85, p.1237-1243, 1993.

SALINAS-GARCÍA, J. R. et al. Tillage effects on microbial biomass and nutrient distribution in soil under rain-fed corn production in central – western México. **Soil and Tillage Research**, v.24, p.143-152, 2002.

SANTOS, G.A.; CAMARGO. **Fundamentos da matéria orgânica**. Gênesis, Porto Alegre: 1999.

SCHENCK, N.C.; SIQUEIRA, J.O. & OLIVEIRA, E. Changes in the incidence of VA mycorrhizal fungi with changes in ecosystems. In: VANCURA, V. & KUNC, F. eds. *Interrelationships between microorganisms and plants in soil*. New York, **Elsevier**, 1989. p.125-129.

SILVA, A.C.B.; TORRES, D.S.; RAMOS, M.L.G.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. Biomassa em diferentes sistemas de preparo do solo no cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21; REUNIÃO SOBRE MICORRIZAS, 9; SIMPOSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 7; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 4., 2002. Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro, 2002, 201p.

SILVA FILHO, G. N.; VIDOR, C. As práticas de manejo de solo na população microbiana. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.8, p.291-296, 1984.

SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; GRISI, B.M.; HUNGRIA, M. & ARAUJO, R.S. Microrganismo e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental. Brasília, EMBRAPA, 1994. 142p.

SIQUEIRA, J.O.; COLOZZI-FILHO, A. & OLIVEIRA, E. Ocorrência de micorrizas vesicular-arbusculares em agro e ecossistemas do Estado de Minas Gerais. **Pesq. Agropec. Bras.**, 24:1499-1506, 1989

SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, M. S.; SÁ, J. C. M.; ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils – effects of no-tillage. **Agronomic**, v.22, p.755-775, 2002.

SOUZA, I.M.Z de. **Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo em áreas reflorestadas comparadas ao campo e mata nativa no planalto dos Campos Gerais, SC.** Lages, 2005.p.31. Dissertação – Universidade Estadual de Santa Catarina (UDESC), Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV), Lages,SC, 2005.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of change in soil organic matter. **Australian Journal Soil Research**, v.30, p.195-207, 1992.

SPARLLING, G.P.; ROSS, D.J. Biochemical methods to estimate soil microbial biomass current developments and applications. In: MULONGOY, K.; MERCKX, R. (Ed). **Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture**. Chichester, Wiley, 1993, p.21-37.

SMITH, J.L.; PAUL, E.A. The significance of microbial biomass estimations. In: BOLLAG, J.M.; STOKY, G. (Eds.). **Soil biochemistry**. New York: Marcel Decker, 1990. p.357-396.

SMITH, S.E.; READ, D.J. **Mycorrhizal symbiosis**. San Diego, Academic Press, 1997, 605p.

STANLEY, T. E. et al. Soil microbial biomass and organic component alterations in a no-tillage chronosequence. **Soil Science Society America Journal**, v.52, p.998-1000, 1988.

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. **Soil Plant Science**, v.49, p.1-24, 1999.

STRUWE, S.; KJELLER, A. Changes in population structure during decomposition. In: JENSEN, V.; KJELLER, A.; SORENSEN, L.H. (Ed.). SYMPOSIUM OF THE FEDERATION OF EUROPEAN MICROBIOLOGICAL SOCIETIES, Copenhagen, 1985. **Microbial communities in soil: proceedings**. New York: Elsevier, 1985. p.149-162.

SCHLESINGER, W.H. **Biogeochemistry: an analysis of global change**. California: Academic Press, 1997. 588p.

SCHNITZER, M. Soil organic matter-the next 75 years. **Soil Science**, Baltimore, v.151, n.1, p.41-58, jan.1991.

SWEZEY, S.L.; WERNER, M.R.; BUCHANAN, M.; ALLISON, J. Comparison of conventional and organic apple production systems during three years of conversion the organic management in coastal California. **Am.J.Alter. Agric.** 13:233-241, 174 (UFRGS- Depto. de Solos Boletim técnico 5).

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. **Journal of Science Soil**, v.33, p.141-163, 1982.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extration method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry.** v.19, n.16, p.703-707, 1987.

VALPASSOS, M.A.R.; CAVALCANTE, E.G.S; CASSIOLATO, A.M.R.; ALVES, M.C. Effetcs of soil management systems on soil microbial activity, bulk density and chemical properties. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.12, p.1539-1545, 2001.

VANHALA, P. Seazonal variation in the soil respiration rate in coniferous Forest soils. **Soil Biol. Biochem.** v.34, p. 1375-1379, 2002.

van AARLE, I.M.; SODERSTROM, B.; OLSSON, P.A. Growth and interactions of arbuscular mycorrizal fungi in soil from limestone and acid rock habitats. **Soil Biology and Biochemistry.** 35:1557-1564, 2003.

van AARLE, I.M.; SODERTROM, B.; OLSSON, P.A. Growth mycorrhizal fungi respond to the substrate pH of their extraradical mycelium by altered growth and root colonization. **New Phytol.**, 155:173-182, 2002.

VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Biomassa e produção de C-CO₂ e N mineral de um podzólico vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.24, n.1, p.35-42, 2000.

VITOUSECK, P.M.; MATSON, P.A. Disturbance, nitrogen availability and nitrogen loses in an intensively managed loblolly pine plantation. **Ecology**, Durhan, v.66, p.1360-1378, 1985.

VEEN, J.A. vanl; LADD, J.N.; AMATO, M. Turnover of carbon and nitrogen through the microbial biomass in a sandy loan and a clay soil incubated with [¹⁴CU] (NH₄)₂SO₄ under different moisture regimes. **Soil Biology and Biochemistry**, v.17, p.747-756, 1985.

VENZKE FILHO, S. P. **Microbiota do solo e sua atividade em uma cronossequência sob sistema de plantio direto.** Piracicaba, 1998. 98p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, SP, 1999.

WALDROP, M.P.; BALSER, T.C.; FIRESTONE, M.K. Linking microbial community composition to function in tropical soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.32, p.1837-1846, 2000.

WARDLE, D.A.; GHANI, A. A critique of the microbial metabolic quotient ($q\text{CO}_2$) as a indicator of disturbance and ecosystem development. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.27, n.12, p.1601-1610, Dec. 1998.

WARDLE, D.A.; HUNGRIA, M.A. A biomassa microbiana do solo e a sua importância nos ecossistemas terrestres. In: ARAUJO, R.S.; HUNGRIA, M. (Eds) *Microorganismos de importância agrícola*. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994, P.193-216.

YANO, K.; YAMAUCHI, A.; LIJIMA, M.; & KONO, Y. Arbuscular mycorrhizal formation in undisturbed soil counteracts compacted soil stress for pigeon pea. **Applied Soil Ecology**, 10:95-102, 1998.

ZHU, Y.G.; MILLER, R.M. Carbon cycling by arbuscular mycorrhizal fungi in soil-plant systems. **Trends Plant Science**. v.8, p.407-409, 2003.