



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

ADRIANA PEREIRA DA SILVA

**BIOMASSA MICROBIANA EM DIFERENTES SISTEMAS DE
MANEJO DO SOLO E DE CULTURAS TÍPICAS DA REGIÃO
NORTE DO PARANÁ**

Londrina
2008

ADRIANA PEREIRA DA SILVA

**BIOMASSA MICROBIANA EM DIFERENTES SISTEMAS DE
MANEJO DO SOLO E DE CULTURAS TÍPICAS DA REGIÃO
NORTE DO PARANÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação, em Biotecnologia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Biotecnologia.

Orientadora: Dra. Mariangela Hungria
Co-orientador: Dr. Julio Cezar Franchini

Londrina
2008

ADRIANA PEREIRA DA SILVA

**BIOMASSA MICROBIANA EM DIFERENTES SISTEMAS DE
MANEJO DO SOLO E DE CULTURAS TÍPICAS DA REGIÃO
NORTE DO PARANÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação, em Biotecnologia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Biotecnologia.

BANCA EXAMINADORA

Dra. Mariangela Hungria
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Soja

Dr. Julio Cezar Franchini
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Soja

Dra. Suely Mayumi Obara Doi
Departamento de Bioquímica e Biotecnologia
CCE – UEL

Londrina, 10 de março de 2008.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pelo dom da vida e, por ter guiado meus passos até o presente momento.

À Dra. Mariangela Hungria, pela oportunidade de cursar o mestrado sob sua orientação, pelo incentivo, confiança, competência e profissionalismo.

Ao Dr. Julio Cezar Franchini, também pela orientação, profissionalismo e paciência disponibilizada a mim durante a realização do experimento.

À Dra Maria Cristina Neves de Oliveira, do Departamento de Estatística da Embrapa Soja pela colaboração no delineamento e estatística experimental.

Aos professores do Departamento de Bioquímica e Biotecnologia da Universidade Estadual de Londrina, pela contribuição na formação acadêmica.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado e apoio financeiro.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Agropecuária (Embrapa Soja) pela concessão do laboratório para realização do trabalho de pesquisa.

À Universidade Estadual de Londrina registro aqui o meu agradecimento.

Às minhas queridas amigas do laboratório de solos: Rosinei, Leticia e Thaís pelo carinho, auxílio, amizade e companheirismo. Adoro vocês!

Ao pessoal de campo que me auxiliou na coleta das amostras, meu muito obrigada: Agostinho, João Ribeiro, Ildefonso, Eliseu, Antônio, Everson, Zucca, Rubson, Miguel, J.Batista, Fábio Brito, Póla e Edílson.

Aos amigos do laboratório de Física do Solo: Donizete, Mara e Gustavo, agradeço pela atenção e amizade.

A todos os amigos do laboratório de Biotecnologia do Solo: Dr. Fernando

Barcellos, Dra Adalgiza, Lígia, Leny, Rinaldo, Simone, Luciana, Ilmara, Glaciela, Renan Campo, Nágila, André, Jesiane, Pâmela, Renan, Leandro, Eliana, Susan, Fábio Plotegher, Fábio Mostasso, Ruth e Rosa, pelo carinho com o qual me receberam, pelo auxílio no laboratório e pelos excelentes momentos de descontração.

Aos meus amigos do mestrado: Daisy, Alexandre, Elaine, Josana, Flávia, Juan, Jakeliny, Analice e Simone.

Aos funcionários do Departamento de Bioquímica e Biotecnologia pela amizade e atenção: Sérgio, Nelson, Sandra, Neusa e Elda.

Aos meus amigos: Elisabete, Fernando, Simone, Ricardo, Rafael, Elvis, Caroline, Alexandre, Marcos, Denis, Luis, Débora, Carolina, Márcio, Daniel, Odete, Cláudio, Lyssa, Joyce, Ana Augusta, Luciana Bernd, Luciana Lobato, Marcelo, Flávio, Neuza, Alessandra, Patrícia, Maria José, Carla, Fabiana, Enio, Sônia e Vilma que sempre me proporcionam momentos de intensa alegria.

Á minha família pela paciência, carinho, amor e dedicação: minha mãe Jacira, Minha avó Maria, minha tia Dejanir, a minha irmã do coração Lucíola, meus primos Carlos e Ana Paula, Marcelo e Gigiane, Andréa e Valdeci e minhas priminhas: Ana Carolina, Camilla e Isabela. Família AMO vocês!

Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho: meu muito obrigada!

Mariangela, não poderia encerrar essa fase tão especial da minha vida, sem antes lhe dizer o quanto a admiro como profissional e ser humano. Agradeço a Deus pela honra que me foi concedida em trabalhar com você. No momento me faltam palavras... No entanto, os versos abaixo expressam o mais puro sentimento de carinho e admiração que sinto por você. Muito obrigada por tudo!

ROSA

*Tu és, divina e graciosa
Estátua majestosa do amor
Por Deus esculpura
E formada com ardor
Da alma da mais linda flor
De mais ativo olor
Que na vida é preferida pelo beija-flor
Se Deus me fora tão clemente
Aqui nesse ambiente de luz
Formada numa tela deslumbrante e bela
Teu coração junto ao meu lanceado
Pregado e crucificado sobre a rósea cruz
Do arfante peito seu*

*Tu és a forma ideal
Estátua magistral oh alma perenal
Do meu primeiro amor, sublime amor
Tu és de Deus a soberana flor
Tu és de Deus a criação
Que em todo coração sepultas um amor
O riso, a fé, a dor
Em sândalos olentes cheios de sabor
Em vozes tão dolentes como um sonho em flor
És láctea estrela
És mãe da realeza
És tudo enfim que tem de belo
Em todo resplendor da santa natureza...*

Pixinguinha

Ofereço

A DEUS

Dedico

À minha mãe Jacira pelo amor, dedicação, carinho e incentivo em todos os momentos da minha vida.

“Tua é, Senhor, a magnificência, e o poder, e a honra, e a vitória, e a majestade; porque teu é tudo quanto há nos céus e na terra; teu é Senhor, o reino, e tu te exaltaste sobre todos como chefe”.

I Crônicas 29:11

SILVA, A.P. **Biomassa Microbiana em Sistema de Manejo do Solo e de Culturas Típicas da Região Norte do Paraná**. 2008. 66f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2008.

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar a biomassa microbiana do solo (BMS) como parâmetro bioindicador de alterações no agroecossistema em virtude do manejo agrícola adotado. A BMS foi analisada em quatro diferentes ensaios experimentais de longa duração: *Ensaio 1*: com 26 anos de implantação, constituído de quatro sistemas de manejo de solo: (1) plantio direto (PD), (2) plantio convencional [(PC) com arado de disco], (3) preparo com escarificador (E) e (4) preparo com grade pesada (GP) ambos com sucessão soja [(*Glycine max*) verão]/ trigo [(*Triticum aestivum*) inverno]. *Ensaio 2*: com 21 anos, constituído por oito diferentes sistemas de rotação de culturas (R) incluindo culturas de grão [soja, milho (*Zea mays*) e trigo] e de cobertura e adubação verde [tremoço(*Lupinus albus*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) e aveia preta (*Avena strigosa*)], sob o sistema PD. *Ensaio 3*: com 14 anos de implantação, constituído de PC (com arado de disco) e dois sistemas de PD com diferente período de instalação, sendo ambos manejos de solo realizados com dois sistemas de rotação de culturas (R) e um de sucessão (S) incluindo culturas de grãos (soja, milho safrinha e trigo) e de cobertura e adubação verde (tremoço e aveia preta). *Ensaio 4*: com 10 anos de implantação, constituído de dois manejos de solo, PD e PC (com arado de disco), ambos com três sistemas de rotação de culturas, incluindo soja, milho, trigo, tremoço e aveia preta. As análises foram realizadas durante a safra de verão (2006/2007) e inverno (2007). Os ensaios foram instalados na fazenda experimental da Embrapa soja, em Londrina/PR, em Latossolo Vermelho Eutroférico. As avaliações foram feitas em amostras de solo coletadas na camada de 0-10 cm de profundidade. Na safra de verão as coletas de solo foram realizadas no período correspondente ao estágio de florescimento da soja e do milho e, na safra de inverno durante a maturação do trigo e florescimento do milho safrinha. Utilizou-se o método de fumigação-extração (FE) para a análise de carbono (CBM) e nitrogênio (NBM) da biomassa microbiana. Os tratamentos sob PD apresentaram valores superiores de CBM e NBM quando comparados aos demais sistemas de manejo do solo no qual houve revolvimento (PC, GP e E), demonstrando que a BMS é favorecida em sistemas com pouca movimentação do solo. Em média, os valores no PD foram superiores em até 45 e 60% para CBM e NBM, respectivamente, na coleta de verão e em até 41 e 49%, respectivamente, na coleta de inverno. O NBM mostrou ser um parâmetro mais sensível que o CBM não só para indicar alterações oriundas do sistema de manejo do solo, como também alterações decorrentes do tempo de adoção do sistema de manejo. A imobilização de N pela BMS apresentou valores médios superiores de até 50% quando comparado o sistema de PDv (68,0 e 62,7 $\mu\text{g N g}^{-1}$ solo seco, verão e inverno, respectivamente) com o sistema de PC (27,2 e 34,6 $\mu\text{g N g}^{-1}$ solo seco, verão e inverno, respectivamente). No segundo ensaio nas rotações onde o nabo forrageiro foi utilizado como planta de cobertura no inverno, ocorreu maior imobilização de nitrogênio pela biomassa microbiana do solo. A presença de leguminosa nos sistemas de rotação de culturas do ensaio dois favoreceu a imobilização de carbono e nitrogênio no inverno. Os rendimentos de grãos de soja e milho foram afetados pelos sistemas de manejo do solo, se correlacionando positivamente com os valores superiores da BMS encontrados no sistema de PD. Por outro lado, não houve influência dos sistemas de rotação/sucessão de culturas sobre os rendimentos de grãos.

Palavras-chave: Biomassa microbiana do solo. Plantio convencional. Plantio direto. Rotação de culturas. Sucessão de culturas.

SILVA, A.P. **Microbial Biomass in Management and Crops Systems Crops Typical of the Region North of Parana.** 2008. 66p. Dissertation (Master degree in Biotechnology) – State University of Londrina. Londrina, 2008.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the soil microbial biomass (SMB) as a parameter bioindicator of changes in agroecosystem under different soil management and crop rotation systems. The SMB was examined in four different Long- term experiments: In experiment 1: with 26 year-old field experiment established consisting of four systems soil management: (1) no-tillage (NT), (2) conventional tillage [(CT) with disc plough], (3) field cultivator (FC) and (4) heavy-disc harrow (DH) both with a crop sequence soybean [(*Glycine max*) summer]/ wheat [(*Triticum aestivum*) winter]. In experiment 2: with 21 year-old field experiment established consisting of eight different crop rotation systems (R) including crops of grains [soybean, maize (*Zea mays*) and wheat] and cover and green manure [lupine(*Lupinus albus*), turnip fodder (*Raphanus sativus*) and black oat (*Avena strigosa*)], under the no- tillage system. In the experiment 3: with 14 year-old field experiment established consisting of CT (with disc plough) and two NT systems with different period of established both with two crop rotation systems (R) and one crop sequence (S) including crops of grains (soybean, maize and wheat) and the cover and green manure (lupine and black oat). In the experiment 4: with 10 year-old field experiment established consisting of two management of soil, NT and CT (with disc plough), both with three crop rotation systems, including soybean, maize, wheat, lupine and black oat. The analyses were performed during the crop season of summer (2006/2007) and winter (2007). The field experiments were conducted at the experimental station of Embrapa soja in Londrina/PR (North of Parana), Brazil, in soil this site is classified as a Red- Latosol. Evaluations were performed on soil samples collected during soybean and corn flowering and , in the winter during the wheat ripening and turnip fodder, corn and black oat flowering, at 0-10 cm deep. We have used the modified fumigation- extraction method for the analysis of microbial biomass of C (MBC) and nitrogen (MBN) analysis. The treatments under NT had higher values of MBC and MBN when compared to other systems of soil management in which there was movement of soil (CT, FC and DH), demonstrating that the SMB is favoured in systems with little soil movement. On average, the values were higher in the NT by 45 and 60% for MBC and MBN, respectively, in the collection of summer and up to 41 and 49% respectively, in the collection of winter. The MBN has proved a more sensitive parameter than the MBC not only to indicate changes from the system of soil management, but also changes resulting from the time of deployment of the system of management. The detention of N SMB presented by higher average values of up to 50% when compared to the system NT old (68.0 and 62.7 g μ N g⁻¹ soil dry, summer and winter, respectively) with the system of PC (27, 2 and 34.6 g μ N g⁻¹ soil dry, summer and winter, respectively). In the second experiment in rotations where the rape was used as fodder plant cover in winter, there was more nitrogen immobilization of the soil microbial biomass. The presence of the legume crop rotation systems of the two experiments favored the detention of carbon and nitrogen in the winter. Income from soy beans and maize have been affected by soil management systems, is positively correlating with the higher values of SMB found in the system of NT. On the other hand, there was no influence of systems of rotation / crop sequence of cultures on the incomes of grain.

Keywords: Microbial biomass. Conventional tillage. No tillage. Crop rotation. Succession of cultures. Soybean.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados climáticos referentes ao período de Agosto de 2006 Agosto de 2007 ...	26
Tabela 2 – Sistemas de rotação de culturas adotados para o <i>Ensaio 2</i>	64
Tabela 3 – Sistemas de rotação/sucessão de culturas adotados para o <i>Ensaio 3</i>	65
Tabela 4 – Sistemas de manejo do solo e rotação/sucessão de culturas adotados para o <i>Ensaio 4</i>	66
Tabela 5 – C e N da biomassa microbiana (CBM e NBM, $\mu\text{g C ou N g}^{-1}$ solo seco) em diferentes sistemas de manejo do solo, em tratamentos com soja e trigo, coletados nos estádios de florescimento e maturação, respectivamente. <i>Ensaio 1</i> , com 26 anos de implantação, safra 2006/2007 e safra 2007	35
Tabela 6 – C e N da biomassa microbiana (CBM e NBM, $\mu\text{g C ou N g}^{-1}$ solo seco) em oito diferentes sistemas de rotação de culturas. <i>Ensaio 2</i> , com 21 anos de implantação, safra 2006/2007 e safra 2007	36
Tabela 7 – C e N da biomassa microbiana (CBM e NBM, $\mu\text{g C ou N g}^{-1}$ solo seco) nos períodos de verão e inverno, em sistemas de manejo do solo e rotação de culturas. <i>Ensaio 3</i> com 10 anos de implantação, safra 2006/2007 e safra 2007	40
Tabela 8 – C e N da biomassa microbiana (CBM e NBM, $\mu\text{g C ou N g}^{-1}$ solo seco) nos períodos de verão e inverno, em sistemas de manejo do solo e rotação de culturas. <i>Ensaio 4</i> , safra 2006/2007 e safra 2007	43
Tabela 9 – Rendimento de grãos de soja com sucessão trigo/soja sob diferentes sistemas de manejo de solo, avaliado na safra de verão (2006/2007), em um ensaio constituído a 26 anos em Londrina, PR.....	45
Tabela 10 – Rendimento de grãos de soja e milho em função de oito diferentes sistemas de rotação de culturas sob sistema de PD, avaliado na safra de verão (2006/2007) em um ensaio constituído a 21 anos em Londrina, PR.....	47
Tabela 11 – Rendimento de grãos de soja (kg.ha^{-1}) em função de diferentes sistemas de manejo de solo e rotação/sucessão de culturas, avaliado na safra de verão (2006/2007) em um ensaio constituído a 14 anos em Londrina, PR.....	48
Tabela 12 – Rendimento de grãos de milho (kg.ha^{-1}) em função de diferentes sistemas de manejo de solo e rotação de culturas, avaliado na safra de verão (2006/2007) em um ensaio constituído a 10 anos em Londrina, PR.....	48

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.

BMS	Biomassa Microbiana do Solo
CBM	Carbono da Biomassa Microbiana
NBM	Nitrogênio da Biomassa Microbiana
C	Carbono
N	Nitrogênio
PC	Plantio Convencional
PD	Plantio Direto
MOS	Matéria Orgânica do Solo
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
Cfa	Clima Temperado Úmido com Verão Quente
M	Molar
g	Gramas (s)
µg	micrograma (s)
mg	Miligramas (s)
cm	Centímetro (s)
mm	Milímetro (s)
µm	Micrometro PC
mL	Mililitro (s) PD
nm	Nanômetro
%	Porcentagem
° C	Graus Celsius

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO	16
2.2 A MATÉRIA ORGÂNICA E OS MICRORGANISMOS DO SOLO	18
2.3 SISTEMAS DE MANEJO E AS CARACTERÍSTICAS DO SOLO	22
3 OBJETIVOS	25
3.1 OBJETIVO GERAL	25
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
4 MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO	26
4.2 ANÁLISE QUANTITATIVA DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO	29
4.2.1 Coleta do Solo	29
4.2.2 Carbono e Nitrogênio da Biomassa Microbiana	29
4.2.2.1 Análise do Carbono	30
4.2.2.2 Análise do Nitrogênio	30
4.3 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE	31
4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	31
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
CAPÍTULO 1 – Biomassa Microbiana sob Diferentes Sistemas de Preparo do Solo e Rotação de Culturas em um Latossolo no Sul do Brasil	32
6 CONCLUSÕES	50
REFERÊNCIAS	51
ANEXOS	62
Quadro 1 – Atividades do Manejo de Preparo do Solo e Adubação dos Ensaios Experimentais	63

Tabela 2 – Sistemas de Rotação de Culturas adotados para o Ensaio 2, no Período de 1997 a 2007.....	64
Tabela 3 – Sistemas de Manejo do Solo e Rotação/Sucessão de Culturas adotados para o Ensaio 3, no período de 1997 a 2007.....	65
Tabela 4 – Sistemas de Rotação/Sucessão de Culturas adotados para o Ensaio 4, no período de 1997 a 2007	66

1 INTRODUÇÃO

Os diferentes sistemas de manejo do solo (plantio direto, plantio convencional) e das culturas (rotação, sucessão de culturas) promovem modificações bastante drásticas ao ambiente do solo, alterando a disponibilidade de água, oxigênio e substrato e afetando diretamente a microbiota do solo.

Alguns manejos, como por exemplo, o sistema de plantio convencional (PC), que consiste no revolvimento do solo através da aração e gradagem, promovendo a incorporação da vegetação e/ou palhada no solo, pode acelerar o processo de redução da capacidade produtiva dos solos, através de diversos fatores, como a utilização de mecanização intensa, remoção de restos culturais da superfície do solo, o monocultivo ou sucessões contínuas de culturas, além do uso de agrotóxicos, que contribuem para a perda da fertilidade dos solos (SILVEIRA et al., 2001; COSTA et al., 2006).

Na busca por sistemas de manejo que diminuam a perda de qualidade do solo e favoreçam o aproveitamento da água, práticas conservacionistas, como as que permitem a cobertura vegetal do solo, podem resultar em rendimentos elevados das culturas associados com qualidade do solo e sustentabilidade dos agroecossistemas. Nesse contexto, o sistema de semeadura conhecido como plantio direto (PD), que dispensa práticas tradicionais de aração e gradagem, tem-se mostrado como uma das técnicas mais eficientes de conservação do solo, pela manutenção da matéria orgânica, em virtude de restos culturais com menor área de contato com o solo, resultando em uma decomposição mais lenta da matéria orgânica e afetando diretamente a fertilidade do solo (ROTH; VIEIRA, 1983; WUTKE, 1993). Além disso, o PD pode desempenhar um papel fundamental na prevenção do aquecimento global, pela fixação do CO₂, além de reduzir em até 40% o trabalho humano e a utilização de fontes fósseis (DERPSCH et al., 1991; KLADIVKO, 2001; BAYER et al., 2002).

A maior quantidade de resíduos na superfície do solo, proporcionada pelo PD, além de aumentar a disponibilidade de substrato, determina condições de menor variação térmica e maior disponibilidade de água, favorecendo a biomassa microbiana do solo (BMS) (VARGAS; SCHOLLES, 2000).

Os microrganismos, mesmo representando uma pequena fração da matéria orgânica total do solo, são responsáveis pelos processos de decomposição de resíduos orgânicos, participando diretamente da ciclagem de nutrientes e, conseqüentemente, mediando sua disponibilidade no solo (MATSUOKA et al., 2003). Desse modo, o

conhecimento dos efeitos das práticas de manejo agrícola sobre as comunidades microbianas é de extrema importância, devido às inúmeras funções que os microrganismos desempenham no solo.

Existem algumas indicações de que parâmetros microbiológicos podem detectar alterações provocadas por diferentes manejos do solo e das culturas em um estágio anterior ao das mudanças nos atributos químicos e físicos (BALOTA et al., 1998, 2003, 2004; FRANCHINI et al., 2007). É importante confirmar essas indicações no maior número possível de ecossistemas e definir parâmetros microbiológicos que possam ser utilizados para monitorar e avaliar a qualidade do solo frente aos impactos de diferentes práticas agrícolas nos agroecossistemas.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o C (carbono) e o N (nitrogênio) da biomassa microbiana (CBM e NBM), frente a diferentes sistemas de manejo do solo (plantio convencional e plantio direto) e das culturas (rotação e sucessão de culturas), em sistemas agrícolas típicos da região Norte do Paraná.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO

A biomassa microbiana do solo compreende a parte viva da matéria orgânica do solo, excluídas as raízes e organismos maiores do que $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^3$, contendo, em média, 2 a 5% de carbono (C) orgânico e 1 a 5% de nitrogênio (N) total do solo (CERRI et al., 1992; DE-POLLI; GUERRA, 1999). A biomassa microbiana do solo faz parte do reservatório de C orgânico lábil e, embora compreenda somente uma pequena porção do C total do solo (SPARLING, 1992), é de grande importância, porque atua como reservatório de nutrientes tanto para as comunidades microbianas subsequentes, como para as plantas (SMITH; PAUL, 1990), podendo servir como indicador de alterações no sistema solo.

As bactérias e os fungos são responsáveis por cerca de 90% da biomassa microbiana. As bactérias do solo formam o grupo que apresenta maior abundância e diversidade entre as espécies e sua comunidade é estimada em cerca de 10^8 a 10^9 organismos por grama de solo. Este grupo apresenta alta capacidade de degradação dos diferentes substratos contidos no solo, exercendo importante papel na decomposição da matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes. Os fungos são os principais contribuintes, em peso, para a biomassa microbiana do solo: variam de 10^4 a 10^6 organismos por grama de solo, podendo ser responsáveis por, aproximadamente, 70% da matéria seca (BRANDÃO, 1992).

Conforme comentado, a biomassa microbiana é responsável por somente 1 a 5 % do C orgânico do solo, contudo a maior parte, se não a totalidade, do material orgânico que entra no solo, sofre ação dos microrganismos. Durante esse processo, o material orgânico é oxidado pelos microrganismos componentes da matéria viva, para gerar energia e metabólitos celulares necessários ao metabolismo e ao crescimento populacional. Em ecossistemas com estoque de C limitado, a disponibilidade de C nos materiais orgânicos adicionados será a força dirigente neste processo, muito embora outros elementos nutrientes essenciais também estejam envolvidos (particularmente N, P e K). Nessas condições, os microrganismos crescem lentamente, ou permanecem em estado dormente (WARDLE; HUNGRIA, 1994).

Os principais fatores que afetam, qualitativa e quantitativamente, a biomassa microbiana do solo são: disponibilidade e tipo de substratos orgânicos; fatores abióticos, tais

como temperatura, umidade e aeração; mineralogia do solo; disponibilidade de nutrientes, tais como N, P, S, Ca, Mo, Co, Fe; pH e o potencial redox; presença de microrganismos antagonistas, parasitas e predadores; adição de defensivos agrícolas e/ou metais pesados ao solo; e características próprias dos microrganismos constituintes da biomassa microbiana, tais como tempo de geração, taxa de crescimento, capacidade mutagênica, indução/repressão enzimática, diversidade fisiológica e metabólica, morfologia celular e capacidade de esporulação (PAES et al., 1996; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002; FRANCHINI et al., 2007).

A dinâmica da biomassa microbiana está estreitamente relacionada à dinâmica da matéria orgânica do solo. Fatores que afetam os teores de matéria orgânica do solo, em geral, também provocam alterações na biomassa microbiana. Isso é particularmente evidente quando resíduos vegetais são adicionados ao solo, ou quando ocorre um decréscimo no teor de matéria orgânica do solo (WARDLE; GHANI, 1995; WARDLE et al., 1999). A biomassa microbiana também é influenciada pelo teor de argila dos solos. A argila aumenta a adsorção de compostos orgânicos e nutrientes, proporcionando maior capacidade tampão de acidez e protegendo os microrganismos contra predadores (SMITH; PAUL, 1990). Desse modo, solos com teor de argila elevado apresentam maior imobilização de C e N pela biomassa microbiana. Pfenning et al. (1992), estudando solos da Amazônia sob mata natural, encontraram, para solos muito argilosos, valores de C da biomassa microbiana 76% mais elevados do que em solos com menores teores de argila.

É importante considerar que a biomassa microbiana não é uma estimativa da atividade dos microrganismos, mas da massa microbiana viva total, com base na concentração de algum elemento, ou de alguma substância celular. Desse modo, os valores de C da biomassa microbiana indicam o potencial metabólico da comunidade microbiana no solo que pode estar participando dos processos de decomposição de resíduos orgânicos e de liberação de nutrientes para o solo. Já o N da biomassa microbiana representa um componente significativo do N potencialmente mineralizável disponível às plantas. No entanto, em solos com baixos teores de N, o teor desse nutriente na biomassa irá, preferencialmente, ser utilizado pelos microrganismos na decomposição da matéria orgânica, ficando imobilizado e diminuindo sua disponibilidade imediata às plantas. Isso ocorre porque os microrganismos não podem multiplicar e nem a matéria orgânica ser decomposta sem que o N seja assimilado no protoplasma microbiano (PAUL; CLARK, 1989; PEREZ et al., 2005).

Os microrganismos são estimulados por materiais orgânicos provenientes da exsudação radicular, da descamação de células de raízes, de excreções, além do próprio sistema radicular que, geralmente, permanece no solo após a colheita da cultura (CARDOSO;

FREITAS, 1992). Tal efeito é mais acentuado para bactérias, dada à sua densidade e diversidade fisiológica, metabólica e nutricional, de tal forma que, na zona rizosférica, a comunidade bacteriana pode atingir valores superiores a 100 vezes aos encontrados na zona não-rizosférica (CATTELAN; VIDOR, 1990). O efeito rizosférico, porém, é variável, sendo, em geral, superior com as leguminosas, provavelmente pela menor relação C:N dos exsudatos das plantas deste grupo, o que facilita sua utilização pelos microrganismos, permitindo maior proliferação de células (KOLB; MARTIN, 1988).

No entanto, as gramíneas, apesar das exudações com maior relação C:N, possuem um sistema radicular mais denso e de renovação intensa, que torna seu efeito rizosférico total maior que o das leguminosas (LYNCH, 1984).

Estimativas da biomassa microbiana têm sido utilizadas em estudos de fluxo de C e N, teor de matéria orgânica do solo, ciclagem de nutrientes e produtividade das plantas em diferentes ecossistemas terrestres. Essas medidas possibilitam a quantificação da biomassa microbiana viva, presente no solo em um determinado tempo. Permitem, também, a associação da quantidade de nutrientes imobilizados e da atividade da biomassa microbiana com a fertilidade e o potencial de produtividade do solo, servindo de base para estudos de formação e ciclagem da matéria orgânica do solo. Como os nutrientes imobilizados na biomassa microbiana encontram-se em uma forma mais lábil que aqueles contidos na matéria orgânica total (SCHNÜRER et al., 1986), ela é mais sensível que os dados quantitativos de C orgânico e de N total para a avaliação de alterações na matéria orgânica causadas pelo manejo do solo e pelas práticas de cultivo (CARTER, 1986; POWLSON et al., 1987; SAFFIGNA et al., 1989).

Em estudos comparativos que foram conduzidos até o presente momento, no Brasil, em geral foi constatado que a biomassa microbiana se mostra superior em solos sob sistema de plantio direto ou em sistema de cultivo mínimo, em comparação com o plantio convencional (CONSTANTINI et al., 1996; HUNGRIA et al., 1997; FRANCHINI et al., 2007).

2.2 A MATÉRIA ORGÂNICA E OS MICRORGANISMOS DO SOLO

A matéria orgânica do solo (MOS) é resultante da decomposição dos resíduos de plantas e animais, rizodeposição, microrganismos vivos e mortos e substâncias

orgânicas, formadas por diferentes compostos de C e interação com outras fases do solo, mineral, gasosa e líquida. A MOS constitui menos de 5% na maioria dos solos, mas interage com outros componentes, alterando as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (PEREZ et al., 2005).

A matéria orgânica representa um reservatório para o fornecimento de nutrientes às culturas, aumenta a capacidade de trocas catiônicas (CTC), realiza a complexação de micronutrientes e de elementos tóxicos, diminui a toxicidade do alumínio às plantas, eleva o pH de solos ácidos após a adição de materiais vegetais; promove a agregação e a estruturação do solo, reduz a densidade aparente, aumenta a aeração dos solos argilosos, bem como a friabilidade, a infiltração e a retenção de água, e a atividade dos microrganismos e da microfauna. Desse modo representa um componente fundamental da capacidade produtiva dos solos, particularmente os tropicais e subtropicais, que são altamente intemperizados (BROWN et al., 1994; DORAN; PARKIN, 1996). As práticas de manejo do solo nas regiões tropicais e subtropicais provocam a perda, nos primeiros anos de cultivo, de mais de 50% da matéria orgânica acumulada. Aproximadamente, 80% do C será liberado como CO₂, em um período de 3 a 4 meses, através da decomposição microbiana e pela erosão (BROWN et al., 1994; BAYER; MIELNICZUK, 1999).

A adição de matéria orgânica ocorre via adição de C pela síntese de compostos orgânicos no processo de fotossíntese. As condições climáticas, temperatura, precipitação anual e condições edáficas refletem nas quantidades de adição de C e estão influenciadas pelas espécies e pelo sistema de culturas utilizadas (BROWN et al., 1994). Parte deste C é estabilizado em forma de substâncias húmicas e outra parte é imobilizada pelo crescimento da biomassa microbiana. Já as perdas de C ocorrem, principalmente, pela liberação de CO₂ na respiração, no processo de decomposição de resíduos pelos microrganismos, e pelas perdas de compostos orgânicos por lixiviação e erosão (CERRI et al., 1992; MIELNICZUK, 1999).

Em solos de regiões tropicais e subtropicais altamente intemperizados, a matéria orgânica tem grande importância para o fornecimento de nutrientes às culturas, retenção de cátions, complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, estabilidade da estrutura, infiltração e retenção de água, aeração, atividade e biomassa microbianas, constituindo-se, assim, em um componente fundamental da sua capacidade produtiva (BAYER; MIELNICZUK, 1999).

No processo de decomposição de materiais orgânicos (resíduos vegetais, adubos verdes e outros), os microrganismos excretam polissacarídeos e outras substâncias,

que agregam as partículas do solo. Além destes compostos orgânicos excretados, destaca-se, nesta função, a própria estrutura miceliana, principalmente dos fungos, por se emaranharem com as partículas do solo, formando agregados estáveis (WAKSMAN, 1963; FOSTER, 1994). Waksman (1963) relata que 38% dos agregados de um solo existem em função do micélio fúngico, enquanto que a agregação promovida pelas bactérias foi estimada em cerca de 2% do total. Nesse contexto, o sistema de manejo instalado pode afetar os microrganismos direta ou indiretamente e, conseqüentemente, afetar a agregação do solo (FOSTER, 1994).

Os níveis de biomassa microbiana, bem como o conteúdo de N orgânico do solo, são maiores em solos não perturbados, diminuindo, de forma variada, com o tipo de manejo e de cultura instalados (ADAMS; LAUGHLIN, 1981). Em geral, estes efeitos estão confinados à camada superficial do solo (0-5 cm) e pouca ou nenhuma diferença pode ser observada entre os tipos de manejo quando se compara o solo abaixo da camada de plantio (CARTER; RENNIE, 1982). Santos et al. (2004), trabalhando com solo sob diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas, na região do RS, verificaram diferenças significativamente superiores no CBM e NBM, na profundidade de 0-5 cm, em relação à camada de 5-10 cm, no sistema PD.

Em um experimento realizado na região central da Argentina, as propriedades biológicas foram comparadas em solos cultivados, continuamente, por seis anos, com milho sob sistema convencional, ou com cultivo mínimo, ou sob plantio direto. As concentrações de C-orgânico e de C-microbiano foram maiores sob o sistema de plantio direto do que no convencional, na camada de 0-5 cm, devido à menor perturbação do solo. Com isso, os solos sob plantio direto foram mais eficientes 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 cultivo (convencional, mínimo e plantio direto) e observaram que a diversidade funcional (atividade microbiana e enzimática) foi maior, já no primeiro ano, sob cultivo mínimo e sob plantio direto. Nesse estudo, a biomassa microbiana, a taxa de mineralização do N, o potencial de nitrificação e a atividade enzimática reagiram em velocidades diferentes às 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.

Em outro estudo realizado no México por Salinas-Garcia et al. (2002) foi constatado que o sistema de plantio direto alterou a distribuição e a concentração dos resíduos das culturas, do C orgânico, do C e do N-microbianos, do potencial de mineralização do N, do

N total e do P-extraível no perfil do solo. Os autores atribuíram essa resposta à concentração dos resíduos na superfície do solo no plantio direto e no cultivo mínimo, oferecendo condições ótimas para a ciclagem de nutrientes e para o incremento na biomassa.

No Brasil, Balota et al. (2003) concluíram, em um estudo de longa duração em que o plantio direto foi comparado ao plantio convencional, que o manejo do solo e a rotação de culturas afetam a imobilização de nutrientes no solo. A grande quantidade de C imobilizado na forma de biomassa microbiana no sistema de plantio direto resulta em maior quantidade de C-lábil na matéria orgânica, em comparação com o sistema convencional.

Crespo et al. (1999), quando avaliaram grupos microbianos (bactérias aeróbias, desnitrificantes, *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*) na camada de 0-7,5 e 7,5-15 cm de um solo sob plantio direto ou convencional, observaram que desnitrificantes e *Nitrosomonas* estiveram sempre presentes em maior quantidade no solo sob plantio direto. A população de *Nitrobacter* não foi afetada pelo tipo de manejo. Além disso, a liberação de CO₂ e o número de bactérias aeróbias tenderam a ser duas vezes maiores na camada superficial de solo sob plantio direto do que sob plantio convencional devido, provavelmente, às melhores condições de umidade e de C orgânico existentes na camada do solo de 0-7,5 cm do sistema de plantio direto.

As populações bacterianas estão localizadas, predominantemente, no interior dos pequenos poros do solo, enquanto os fungos, devido ao crescimento do micélio, tendem a ligar-se entre os agregados, translocando nutrientes para regiões do solo distantes da rizosfera. Esta diferença sugere que os fungos e bactérias possuem estratégias de sobrevivência diferenciadas, de modo que as bactérias dependem, principalmente, dos exsudatos radiculares solúveis e os fungos filamentosos são capazes de obter seus substratos em regiões não rizosféricas (FOSTER, 1994; ROCHA, 2002). Outra razão para que as bactérias se localizem, predominantemente, no interior dos microporos é a proteção que estes microhábitats conferem às populações. Neste contexto, a maior disponibilidade de compostos orgânicos de fácil decomposição na região da rizosfera modificará o desenvolvimento microbiano no solo (FOSTER, 1994).

2.3 SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO E AS CARACTERÍSTICAS DO SOLO

Os manejos do solo e de sua cobertura vegetal refletem em suas propriedades físicas, químicas e biológicas, sendo que restos culturais e o grau de preparo de solo afetam sua temperatura, umidade, aeração e distribuição dos resíduos na camada arável. Tais práticas exercem grande influência sobre a biomassa microbiana, que responde de maneira muito mais rápida a essas alterações do que os atributos edáficos, como o teor de matéria orgânica, que pode levar anos para apresentar mudanças significativas (POWLSON et al., 1987).

No plantio convencional são utilizadas operações como aração e gradagem, onde a mobilização do solo para incorporação dos resíduos deixa a superfície desprotegida contra a erosão causada pela chuva e pelo vento. Além do que, a superfície descoberta fica sujeita às flutuações térmicas e hídricas, ocasionando a morte de parte da biomassa microbiana, que se torna uma fonte de nutrientes de fácil decomposição para as populações microbianas sobreviventes, conseqüentemente afetando a ciclagem de nutrientes (WARDLE; HUNGRIA, 1994; COSTA et al., 2006).

Em contrapartida, nos sistemas conservacionistas, como o plantio direto (PD), a mobilização de camadas do solo é reduzida ou nula. Em conseqüência, os resíduos vegetais permanecem na superfície do solo, formando uma cobertura vegetal, importante para a redução do processo erosivo. A prática do PD também promove uma melhoria na retenção de água, redução da amplitude térmica do solo, aumento das taxas de infiltração, e a complexação de elementos tóxicos como alumínio e manganês (VARGAS; SCHOLLES, 2000; SARAIVA et al., 2003).

Com isso, criam-se condições físicas, químicas e biológicas totalmente diferentes daquelas observadas nos solos sob sistema de plantio convencional. Esse novo ambiente induz a um aumento na densidade e diversidade dos microrganismos que atuam nos processos de mineralização e imobilização de nutrientes, bem como na decomposição e humificação da matéria orgânica do solo (PEIXOTO et al., 1997), especialmente na camada superficial (0-5 cm). Forma-se, assim, um gradiente de distribuição da matéria orgânica, havendo redução drástica com o aumento da profundidade no perfil do solo (PEIXOTO et al., 1997; BALESSENT et al., 2000; FU et al., 2000).

A atividade dos microrganismos do solo afeta, diretamente, as propriedades químicas e físicas do solo e a atividade da meso e macrofauna contribuindo, ativamente, para

a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Dentre os fatores limitantes à atividade microbiana, estão a disponibilidade de água, energia e nutrientes, a temperatura, a radiação e a distribuição dos agregados no solo (HUNGRIA, 2000). No plantio direto, os macroagregados do solo são mantidos, preservando o nicho principal de atividade dos microrganismos. Ocorre, também, maior disponibilidade de matéria orgânica, fonte de energia e nutrientes para os microrganismos, bem como melhores condições físicas de umidade e temperatura (COLOZZI-FILHO; BALOTA, 1999; HUNGRIA, 2000).

As propriedades físicas do solo sofrem alterações com o plantio, havendo diminuição no diâmetro médio geométrico das partículas e na proporção de macroagregados (UNGER; FULTON, 1990). O desenvolvimento de macroporos é importante para a manutenção dos níveis de umidade e da aeração do solo, que são críticos para a sobrevivência da comunidade microbiana e para seus processos metabólicos, em sua maioria aeróbios, necessitando de um volume mínimo de 10% para aeração. Conseqüentemente, as diferenças provocadas na aeração, no teor de umidade e menores flutuações hídricas e térmicas do solo influenciam não só a sobrevivência dos microrganismos, como também, os processos de decomposição da matéria orgânica, dos agroquímicos e a ciclagem de nutrientes (ROCHA, 2002).

No entanto, em um primeiro momento, em solos submetidos ao sistema de plantio direto, podem ser observadas redução nos teores de C e uma deficiência temporária de N, em vista do aumento da atividade microbiana decompositora e da não incorporação da palhada ao solo. Entretanto, a longo prazo, os solos sob sistema de plantio direto acumulam mais C e N em relação ao sistema de plantio convencional (CASTRO-FILHO et al., 1991).

O problema ambiental causado pela agricultura convencional tem estimulado o desenvolvimento e/ou adaptação de novas técnicas de manejo do solo e dos sistemas de culturas menos agressivos ao ambiente, tais como cultivo mínimo, plantio direto e rotação de culturas. Comparando sistemas envolvendo rotações de culturas e solos com sistemas de monoculturas, este último retém baixas concentrações de matéria orgânica, possui menor estabilidade dos agregados e redução nos valores de biomassa microbiana. Enquanto a rotação é um componente importante de manejo do solo para a produção sustentável de culturas (MOORE et al., 2000). Efeitos prejudiciais podem ser minimizados com o acréscimo de C proveniente de diversos resíduos de plantas, que retornam ao solo causando efeitos positivos nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo em sistemas agrícolas (WYLIE, 1994).

O C da biomassa microbiana (CBM) constitui somente 1 a 3 % do C total e

o N da biomassa microbiana (NBM) 5% do N total do solo, sendo a maior reserva de C lábil e N do solo. Vanlauwe et al. (1999) sugerem que um sistema de produção sustentável deve liberar, total ou parcialmente, nutrientes às plantas, provenientes dos resíduos orgânicos. O manejo do solo na agricultura sustentável tem visado desenvolver economicamente um sistema de produção que preserve o meio ambiente, substituindo os fertilizantes químicos pelo manejo biológico (PAUL et al., 1999). Neste sentido, conhecer os efeitos do uso da terra e das práticas agrícolas sobre a comunidade microbiana é de fundamental importância, em vista das importantes funções que os microrganismos desempenham no solo, principalmente na dinâmica da matéria orgânica, que irá se refletir na produtividade agrícola e na fertilidade (REEVES, 1997; FERNANDES et al., 1997).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar quantitativamente a microbiota do solo como parâmetro indicador da qualidade do solo e da sustentabilidade agrícola, em áreas sob cultivos típicos da região Norte do Paraná, submetidas a diferentes sistemas de preparo do solo e manejo de culturas.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o efeito do manejo do solo (plantio convencional e direto) sobre o carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana do solo;
- Avaliar o efeito dos sistemas de manejo das culturas (rotação e sucessão de culturas) sobre o carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana do solo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi conduzido na área experimental do Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Embrapa-CNPSO), localizado em Londrina/ PR, situado a 620 metros de altitude, 23°11' latitude Sul e 51°11' longitude Oeste. A temperatura média anual em Londrina é de 21°C, com a temperatura média máxima de 28,5°C em fevereiro e mínima de 13,3°C em julho. A precipitação média é de, aproximadamente, 1651 mm.ano⁻¹, com 123 dias de chuva.ano⁻¹. A maior precipitação é em janeiro (217 mm) e a menor é em agosto (60 mm). De acordo com a classificação de Köppen, o clima é subtropical úmido do tipo Cfa (clima temperado úmido com verão quente). O solo, Latossolo Vermelho Eutroférico, muito argiloso, contendo 71% de argila, 16% de silte e 12% de areia. Os dados climáticos referentes ao período do ensaio, de setembro de 2006 a setembro 2007, como temperatura, precipitação e radiação, encontram-se na tabela abaixo.

Tabela 1 – Dados climáticos referentes ao período de agosto de 2006 a agosto de 2007

Mês	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Precipitação Total (mm)	Radiação
	Média Mensal (°C)	Máxima Absoluta (°C)	Mínima Absoluta (°C)		Total MJ/m ² dia ⁻¹
ago/06	20,5	32,6	5,8	14,6	486,7
set/06	19,2	34,2	3,4	139,8	486,3
out/06	22,8	34,8	13,4	61,2	510,5
nov/06	23,1	34,3	11,3	129,8	519,3
dez/06	23,8	34,0	16,1	187,7	552,5
jan/07	23,2	31,0	17,1	300,2	446,3
fev/07	23,6	32,2	15,1	161,0	488,8
mar/07	24,2	33,6	16,8	196,3	538,0
abr/07	22,6	33,0	12,4	50,5	445,4
mai/07	18,3	29,5	8,2	78,4	374,5
jun/07	19,3	30,0	6,6	6,8	361,0
jul/07	16,9	29,1	9,3	215,7	338,2
ago/07	19,8	31,4	5,8	9,8	442,8

Fonte: Estação Meteorológica EMBRAPA Soja

Foram selecionadas e amostradas quatro áreas experimentais, caracterizadas ABAIXO:

Ensaio 1: O experimento foi instalado no verão de 1981, com a sucessão soja [(*Glycine max*) verão]/ trigo [(*Triticum aestivum*) inverno]. O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso, com quatro manejos de solo: (1) plantio direto (PD), (2) plantio convencional (PC) com arado de disco, seguido por grade niveladora (3) preparo com escarificador (E), seguido por grade niveladora e (4) preparo com grade pesada (GP), ambos com quatro repetições. O ensaio experimental foi constituído por parcelas de 50 m de comprimento por 8 m de largura. Durante o preparo de solo para a safra de inverno, os sistemas de manejo PC e E foram preparados com grade pesada, seguido de grade niveladora. Na safra de verão (2006/2007) foi utilizada a cultivar de soja BRS-232 e na safra de inverno (2007) o trigo cultivar BRS-208. O ensaio estava com 26 anos de implantação na época de avaliação.

Ensaio 2: Na segunda área o experimento foi iniciado no inverno de 1986, com oito diferentes sistemas de rotação de culturas, sobre o sistema PD. O delineamento foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, constituído por parcelas de 14 m de comprimento por 5 m de largura. Foram comparados os efeitos dos sistemas de rotação de culturas incluindo culturas de grão [soja, milho (*Zea mays*) e trigo] e de cobertura e adubação verde [tremoço(*Lupinus albus*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) e aveia preta (*Avena strigosa*)]. A seqüência de culturas está indicada na Tabela 2 (ANEXO). A soja cultivar BRS-184 e o milho cultivar BRS-10-30 foram implantados na safra de verão. Como culturas de inverno foram utilizados o trigo cultivar BRS-208, a aveia preta, BRS-139 e, o nabo forrageiro, IPR-116. O ensaio estava com 21 anos de implantação na época de avaliação.

Ensaio 3: Na quarta área o experimento foi instalado no inverno de 1993. O delineamento foi em blocos ao acaso em esquema em fatorial com três sistemas de manejo do solo e três sistemas de manejo das culturas, ambos com quatro repetições. As parcelas experimentais apresentavam 38 m de comprimento por 8 m de largura. Foram comparados os efeitos dos diferentes sistemas de manejo do solo: (1) PC (com arado de disco no verão e grade pesada no inverno), (2) plantio direto velho (PDv), assim denominado devido ao tempo de instalação do experimento, que teve início em outubro de 1993 e (3) plantio direto novo (PDn), onde uma parte da área anteriormente manejada de forma convencional foi convertida em PD no início de outubro de 2003. O ensaio foi constituído por dois sistemas de rotação (R) e um de sucessão (S) que incluíram culturas de grão (soja, milho safrinha e trigo) e de cobertura e adubação verde (tremoço e aveia preta). Foram testados 9 tratamentos: PC (R1,

R2 e S), PDv (R1, R2 e S) e PDn (R1, R2 e S). A seqüência de culturas dos sistemas de manejo do solo está indicada na Tabela 3 (ANEXO). Na safra de verão ambos os sistemas de rotação/sucessão foram constituídos por soja cultivar BRS-232. Na safra de inverno o trigo cultivar BRS- 208 foi utilizado na R1 e S e o milho safrinha cultivar BRS-10-10 na R2. Os tratamentos com PC e PDv estavam com 14 anos de implantação, enquanto o PDn estava com 4 anos na época de avaliação.

Ensaio 4: O experimento foi estabelecido no verão de 1997/98, com o delineamento experimental em blocos ao acaso em esquema fatorial, com dois manejos de solo (PD e PC [com arado de disco no verão e grade pesada no inverno]) e três sistemas de rotação de culturas (R), incluindo as culturas de soja, milho, trigo, tremoço e aveia preta, ambos com quatro repetições. O ensaio foi constituído por parcelas de 15 m de comprimento por 8 m de largura. Neste ensaio foram testados seis tratamentos: PD (R1, R2 e R3), PC (R1, R2 e R3). As rotações são apresentadas na Tabela 4 (ANEXO).

Na safra de verão o sistema foi constituído de milho híbrido Pionner 30 F 33 e, na safra de inverno por aveia preta cultivar Iapar-61 e trigo cultivar BRS-239. O ensaio estava com 10 anos de implantação na época de avaliação.

O carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana (CBM e NBM) foram determinados na safra de verão (2006/2007) em amostras coletadas no dia 18/01/2007, época correspondente ao estágio de florescimento pleno da soja e do milho e na safra de inverno (2007) no dia 23/07/2007, durante o período de maturação do trigo e florescimento do milho safrinha. As práticas do experimento, relativas ao preparo de solo, semeadura, adubação, calagem, controle de plantas invasoras e de insetos pragas foram realizadas de modo uniforme para cada ensaio experimental, conforme as recomendações para cada cultura. As atividades do manejo de preparo do solo e adubação dos ensaios experimentais estão apresentadas no Quadro 1. Os rendimentos da safra de verão foram avaliados através de colheita mecânica. As sementes foram limpas e pesadas e os valores corrigidos para 13% de umidade, após a determinação do nível de umidade em um determinador de umidade de grãos (VURROUGHF 700).

4.2 ANÁLISE QUANTITATIVA DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO

4.2.1 Coleta do solo

De cada parcela do experimento foram coletadas cinco subamostras deformadas de solo, na área total da parcela, provenientes da camada de 0-10 cm, nas entrelinhas, utilizando-se um trado, nas duas épocas de amostragem. As amostras foram homogeneizadas, acondicionadas em sacos plásticos e transportadas para o laboratório. Antes do início das análises, já no laboratório, as amostras foram cuidadosamente homogeneizadas, retirando-se restos de raízes e resíduos vegetais que porventura se encontravam no solo. As amostras foram, então, peneiradas (4 mm, 5 mesh), acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas em geladeira, a 4°C, por no máximo 10 dias, dando posteriormente origem a uma amostra composta com aproximadamente 1 Kg.

4.2.2 Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana

Utilizou-se o método de fumigação-extração modificado de Vance et al. (1987) para a análise de carbono da biomassa microbiana (CBM) e o método de Brookes et al. (1985) para a análise de nitrogênio (NBM). Foram pesados 20 g de amostras de solo em frascos do tipo snap-caps com capacidade para 300 mL. As amostras foram fumigadas ou não com clorofórmio (CHCl_3) isento de álcool, durante a noite (aproximadamente das 16 horas da tarde de um dia até às 9 horas da manhã do outro dia).

O C e o N foram extraídos com sulfato de potássio (K_2SO_4) 0,5 M, adicionando-se 50 mL da solução em cada amostra. Em seguida, as amostras foram colocadas em agitador orbital com movimento circular horizontal por 1 h a 175 rpm. Ao término da agitação as amostras foram centrifugadas por 10 min a 2.500 rpm (raio do rotor = 30 cm) e filtradas em papel qualitativo, para as análises do C e do N totais.

4.2.2.1 Análise do Carbono

O teor de C nos extratos foi determinado colorimetricamente após a oxidação com Mn^{3+} , segundo Bartlett e Ross (1988). Foram transferidas alíquotas de 0,5 mL do extrato filtrado para tubos de ensaio e, em seguida, foi feita a adição de 0,5 mL da solução de K_2SO_4 0,5 M, 1,0 mL da solução de pirofosfato e 1,0 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado. Em seguida, foi preparada uma curva padrão, com ácido oxálico ($C_2H_2O_4$) nas concentrações de 0 a 120 ppm de C.

As amostras foram deixadas em repouso por 16 horas, até a estabilização da reação química e, então, foi efetuada a leitura da absorvância em espectrofotômetro no comprimento de onda de 495 nm.

4.2.2.2 Análise do Nitrogênio

O teor de N nas mesmas frações foi determinado por digestão via úmida em bloco digestor a $350^\circ C$ com H_2SO_4 concentrado (BREMNER, 1965), com catalisador contendo sulfato de cobre $K_2SO_4 : CuSO_4$ (10:1). A determinação colorimétrica do nitrogênio amoniacal (N-NH₄) foi realizada pelo método de azul de indofenol (FEIJE; ANGER, 1972).

Após a filtragem das amostras foi retirada uma alíquota de 20 mL do extrato, que foi transferida para tubos de digestão, juntamente com o catalisador $K_2SO_4 : CuSO_4$ (10:1) e 1,5 mL de H_2SO_4 concentrado. As amostras foram então colocadas em estufa a $105^\circ C$ por uma noite, para evaporação da água presente nos extratos. Posteriormente, foi realizada a digestão via úmida das amostras, em bloco digestor a $350^\circ C$. Uma primeira diluição foi realizada acrescentando-se 29 mL de H_2O destilada nas amostras já digeridas e estas foram agitadas até a completa solubilização. Uma segunda diluição foi novamente realizada, transferindo-se uma alíquota de 1 mL da primeira diluição, juntamente com 9 mL de H_2O destilada para tubos de ensaio.

Uma curva padrão nas concentrações de 0 a 8 mg.L^{-1} de N foi feita utilizando sulfato de amônio $(NH_4)_2SO_4$. As amostras permaneceram em repouso por 2 h até a formação de uma solução de coloração azul, chamada azul de indofenol. Procedeu-se, então, à leitura da absorvância em espectrofotômetro, no comprimento de onda de 630 nm.

O CBM e o NBM foram estimados pela diferença entre as amostras fumigadas e não fumigadas, utilizando um K_{CE} de 0,38 para o carbono (VANCE et al., 1987) e um K_{NE} de 0,54 para o nitrogênio (BROOKES et al., 1985).

4.3 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE

Foram pesadas amostras de 10 g de amostras de solo em frascos de 100 mL e o conjunto foi pesado. Os frascos foram colocados em estufa a 105°C, por uma noite. No dia seguinte, os frascos foram pesados novamente para determinar a umidade do solo e, por diferença, a massa seca do solo. Os valores de biomassa microbiana obtidos foram corrigidos pela umidade do solo e expressos em μg de carbono ou μg de nitrogênio da biomassa microbiana.g⁻¹ de solo seco.

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados dos parâmetros avaliados para os diferentes ensaios experimentais foram submetidos à análise de variância e aplicação do teste de Duncan a 5%, para comparação entre as médias, utilizando o programa SAS (Statistical Analysis System) versão 8.2 (SAS, 2001).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e discussão foram escritos em forma de artigo como listado abaixo:

CAPÍTULO 1

BIOMASSA MICROBIANA SOB DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO E ROTAÇÃO DE CULTURAS EM UM LATOSSOLO NO SUL DO BRASIL

MICROBIAL BIOMASS UNDER DIFFERENT SOIL TILLAGE AND CROP ROTATION SYSTEMS IN A RED-LATOSOL IN SOUTHERN BRAZIL

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e descrição geral da área de estudo

O experimento foi conduzido na área experimental do Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Embrapa-CNPSO), localizado em Londrina/ PR, situado a 620 metros de altitude, 23°11' latitude Sul e 51°11' longitude Oeste (item 4.2).

Coleta do solo

De cada parcela do experimento foram coletadas cinco subamostras deformadas de solo, na área total da parcela, provenientes da camada de 0-10 cm, nas entrelinhas, utilizando-se um trado, em duas épocas de amostragem (item 4.2.1).

Análise do Carbono

O teor de C nos extratos foi determinado colorimetricamente após a oxidação com Mn^{3+} (item 4.2.2.1).

Análise do Nitrogênio

O teor de N nas mesmas frações foi determinado por digestão via úmida em bloco digestor a 350°C com H_2SO_4 concentrado (item 4.2.2.2).

Determinação da umidade

Foram pesadas amostras de 10 g de amostras de solo em frascos de 100 mL e o conjunto foi pesado e colocado em estufa a 105°C, por uma noite (item 4.3).

Análise estatística

Os resultados dos parâmetros avaliados para os diferentes ensaios experimentais foram submetidos à análise de variância e aplicação do teste de Duncan a 5% (item 4.4).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores obtidos para o carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo (CBM e NBM) nos quatro ensaios analisados, tanto na coleta de verão como na de inverno, foram significativamente superiores no sistema de plantio direto (PD) quando comparados com os demais sistemas de manejo do solo no qual houve revolvimento, demonstrando forte influência do manejo do solo sobre estes parâmetros. Diversos trabalhos têm demonstrado que o sistema de PD proporciona um aumento na biomassa microbiana do solo (BMS) nas diversas condições de manejo das culturas (CATTELAN *et al.*, 1997b; HUNGRIA *et al.*, 1997; BALOTA *et al.*, 1998, 2003, 2004; D'ANDREA *et al.*, 2002; FRANCHINI *et al.*, 2007). A maior imobilização de carbono (C) pela BMS em PD deve-se ao maior teor de C orgânico incorporado ao solo via resíduos de plantas (SANTOS *et al.*, 2004).

Neste trabalho o NBM mostrou ser um parâmetro mais sensível que o CBM para detectar alterações oriundas do sistema de manejo do solo, apresentando em ambos os períodos de coleta, valores até 50% superiores em PD quando comparado ao sistema de plantio convencional (PC). Os maiores valores de N no PD, é um indicativo do maior potencial de mineralização de N nesse sistema, conforme observado por Hernández-Hernández; López- Hernández, (2002).

No primeiro ensaio, após 26 anos de implantação, quando comparado o PD com os sistemas de manejo do solo que apresentaram os menores valores de BMS, notou-se que em média o PD apresentou valores superiores de CBM e NBM de 19 e 49 %, respectivamente, na coleta de verão, quando comparado ao preparo com grade pesada (GP) e, de 41 e 46%, respectivamente, na coleta de inverno quando comparado ao plantio convencional (PC) (Tabela 5). Não houve diferença significativa entre os sistemas de PC e preparo com escarificador (E) na coleta de verão, para o parâmetro CBM. Com exceção do PD, o preparo com E, foi significativamente superior no valor de NBM ($51,1 \mu\text{g.g}^{-1}$ solo seco), na coleta de verão, que os demais sistemas de manejo do solo.

Tabela 5. C e N da biomassa microbiana (CBM/NBM, $\mu\text{g C ou N g}^{-1}$ solo seco) em diferentes sistemas de manejo do solo, com sucessão soja e trigo, coletados nos estádios de florescimento e maturação das culturas, respectivamente, na safra de verão e inverno, em Latossolo Vermelho Eutroférico em um ensaio constituído a 26 anos em Londrina, PR.

Tratamentos	Verão				Inverno			
	CBM		NBM		CBM		NBM	
PD ¹	410,9	A	66,6	A	451,2	A	57,3	A
PC	343,5	AB	37,9	C	264,6	C	30,6	C
GP	332,0	B	33,9	C	329,4	B	43,4	B
Es	365,6	AB	51,1	B	310,0	B	43,6	B

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

¹ PD- Plantio direto

PC- Plantio convencional

GP- Grade Pesada

Es- Escarificador

Os sistemas de preparo com GP e E não diferiram entre si na coleta de inverno e foram significativamente superiores ao PC tanto para o parâmetro CBM (329,4 e 310,0 $\mu\text{g.g}^{-1}$ solo seco, respectivamente) quanto para o NBM (43,4 e 43,6 $\mu\text{g.g}^{-1}$ solo seco, respectivamente). Esse resultado sugere que o menor revolvimento do solo causado nesses sistemas em comparação ao PC, tenha contribuído para o aumento da BMS. A escarificação (com o revolvimento mínimo do solo) promove a incorporação de resíduos vegetais na superfície, aumentando a aeração do solo e a disponibilização de substratos, rompendo os agregados, o que estimula, pelo menos temporariamente o crescimento e a atividade dos microrganismos (VARGAS e SCHOLLES (2000); SALINAS-GARCIA *et al.* (1997).

O PC foi o tratamento que apresentou o menor valor de CBM (264,6 $\mu\text{g.g}^{-1}$ solo seco) e NBM (30,6 $\mu\text{g.g}^{-1}$ solo seco), na coleta de inverno. Reganold *et al.* (2000), afirmam que no PC o manejo do solo reduz o CBM, por envolver baixa manutenção de cobertura vegetal, maior aplicação de agroquímicos e maior revolvimento do solo. A imobilização de N pela BMS foi o parâmetro mais afetado no sistema de PC, tanto na coleta de verão como na coleta de inverno. Isso demonstra que as alterações promovidas pelo arado de disco durante o preparo de solo para a safra de verão permaneceu no sistema mesmo sem o uso desse implemento durante o preparo de solo para as culturas

de inverno, quando se utilizou a GP. A imobilização de N na BMS no PD torna a reciclagem desse elemento mais lenta, porém, mais eficiente, quando comparada àquela incorporada através de arações, escarificações e gradagens (SIQUEIRA *et al.*, 1994).

No segundo ensaio, após 21 anos de implantação quando se compara as médias de oito diferentes sistemas de rotação de culturas, observa-se que valor significativamente superior de CBM foi encontrado na rotação 2 (soja contínua/aveia preta e trigo alternados) na coleta de verão. Para esse mesmo período de coleta, as rotações 4 (milho e soja (1:3)/nabo e trigo (1:3) alternados), 6 (soja contínua/ aveia preta e trigo (3:1) alternados) e 7 (milho e soja (1:3)/nabo forrageiro, aveia preta e trigo (1:2:1) alternados), não diferiram entre si quanto aos valores de CBM (Tabela 6).

Tabela 6. C e N da biomassa microbiana do solo (CBM/NBM, $\mu\text{g C}$ ou N g^{-1} solo seco) na safra de verão e inverno em oito diferentes sistemas de rotação de culturas sob sistema de PD.

	Verão				Inverno			
	CBM		NBM		CBM		NBM	
	Tratamentos							
R1 ¹	343,8	C	42,9	BC	558,7	A	62,6	AB
R2	487,6	A	40,8	BC	547,1	AB	65,3	A
R3	336,8	C	44,7	B	452,4	C	56,0	C
R4	422,2	B	55,0	A	434,2	C	46,9	D
R5	284,0	D	35,1	C	460,9	C	44,3	D
R6	441,5	B	55,2	A	564,2	A	60,1	B
R7	435,2	B	53,7	A	515,8	B	45,1	D
R8	357,9	C	57,5	A	558,5	A	45,8	D

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

¹Rotação 1: trigo e soja contínuos

Rotação 2: soja contínua/aveia preta e trigo alternados

Rotação 3: milho e soja (1:3) nabo forrageiro, aveia preta e trigo (1:1:2) alternados

Rotação 4: milho e soja (1:3)/nabo e trigo (1:3) alternados

Rotação 5: milho e soja/nabo forrageiro e trigo alternados

Rotação 6: soja contínua/ aveia preta e trigo (3:1) alternados

Rotação 7: milho e soja (1:3)/nabo forrageiro, aveia preta e trigo (1:2:1)

Rotação 8: milho e soja (2:2)/nabo forrageiro, aveia preta e trigo (2:1:1) alternados

Entretanto, essas rotações apresentaram valores significativamente superiores às rotações 1 (trigo e soja contínuos), 3 (milho e soja (1:3) nabo forrageiro, aveia preta e trigo (1:1:2) alternados) e 8 (milho e soja (2:2)/nabo forrageiro, aveia preta e trigo (2:1:1) alternados). A rotação com valor significativamente inferior de CBM na coleta

de verão foi a rotação 5 (milho e soja/nabo forrageiro e trigo alternados). No caso do NBM, valores superiores foram encontrados nas rotações 4, 6, 7 e 8. Com exceção da rotação 6, onde foi implantada a aveia preta, as demais rotações foram constituídas pelo nabo forrageiro como cultura de inverno, antecedendo o cultivo do milho.

Embora o nabo forrageiro não possua a capacidade de fixar N_2 , ele apresenta alta capacidade de reciclagem de N de camadas mais profundas para a superfície do solo, em virtude de seu sistema radicular profundo, o que poderia ter contribuído para os maiores valores de N imobilizados pela BMS nessas rotações. Além disso, o nabo forrageiro e a aveia preta por apresentarem alta relação C:N, contribuem para uma maior imobilização de N pelos microrganismos, diminuindo sua disponibilidade no solo, o que pode acarretar deficiência para a cultura subsequente (STRIEDER *et al.*, 2006). A imobilização de N pela BMS ocorre devido a maior oferta de C no sistema, o que estimula a atividade microbiana. Dessa forma a BMS passa a atuar mais como agente de mineralização do N orgânico do solo do que como fonte de N potencialmente mineralizável (VICTORIA *et al.*, 1992).

Ainda na coleta de verão as rotações 1 e 2 não diferiram estatisticamente, sendo significativamente superiores a rotação 5 para no parâmetro NBM. Na coleta de inverno, valores significativamente superiores de CBM foram encontrados nas rotações 1, 2, 6 (soja contínua/ aveia preta e trigo (3:1) alternados) e 8. Com exceção da rotação 8 onde foi implantado o milho, as demais rotações estavam com a soja como cultura de verão.

A rotação 2, que na coleta de verão apresentou o maior valor do CBM, teve um pequeno acréscimo na imobilização de C na coleta de inverno, porém, esse valor foi estatisticamente inferior aos das rotações citadas anteriormente. As rotações 3, 4 e 5 não diferiram entre si nos valores do CBM na coleta de inverno. Nessa mesma coleta, observa-se que as rotações 4, 7 e 8, que no verão apresentaram valores superiores de NBM, no inverno apresentaram valores significativamente inferiores juntamente com a rotação 5. Nessas rotações o milho foi implantado como cultura de verão. A adição de restos culturais do milho leva a um consumo de N assimilável para decompor a palhada do milho que apresenta alta relação C:N, resultando em menor quantidade de N no solo, com influencia na BMS (STRIEDER *et al.*, 2006).

Na coleta de inverno, NBM foi significativamente superior na rotação 2. Entretanto as rotações 1 e 6 também apresentaram valores superiores de N, apesar de estatisticamente inferior a rotação 2. Essa resposta possivelmente está relacionada ao uso de leguminosa, neste caso a soja, que nessas rotações sempre foi utilizada como cultura de verão, o que provavelmente contribuiu para um aumento do N do solo e, conseqüentemente, para a imobilização de N pelos microrganismos. Além do NBM, observa-se que essas rotações também proporcionaram valores superiores de CBM.

Diversos trabalhos relatam que a presença de leguminosa nos sistemas de rotação de culturas, associada à redução de revolvimento do solo, promove um aumento do C da BMS (ANGERS *et al.*, 1993, BALOTA *et al.*, 1998, FRANCHINI *et al.*, 2007). O cultivo alternado de uma leguminosa com uma gramínea favorece a manutenção da matéria orgânica do solo. O milho é muito utilizado na rotação de culturas, por ser um dos cultivos que mais disponibiliza matéria orgânica ao solo, efeito que possivelmente contribui para a manutenção e para o desenvolvimento da BMS (TESTA *et al.* 1992; BRAGAGNOLO e MIELNICZUK, 1990).

Na coleta de inverno os sistemas de culturas com valores significativamente inferiores de CBM, foram encontrados nas rotações 3, 4 e 5, todas constituídas por milho na coleta de verão. A perda de C no PD no sistema com o predomínio de gramíneas pode ser resultado do maior tempo de permanência desses resíduos na superfície do solo, onde a taxa de decomposição dos resíduos seria menor do que a taxa de decomposição da MOS, reduzindo o teor de C do solo (FRANCHINI *et al.*, 2007), o que causaria influência negativa na BMS.

A rotação 5 foi a que mais implantou o cultivo do nabo forrageiro. Porém, foi a rotação que apresentou os menores valores de CBM e NBM em ambos os períodos de coleta. Os menores valores da BMS observada nas rotações com nabo forrageiro podem ser atribuídos ao fato dessa espécie não apresentar associação com fungos micorrízicos (GIJSMAN *et al.*, 1997), o que modifica a atividade microbiológica do solo.

Nos sistemas de rotação desse trabalho as culturas de milho e soja, que apresentam elevado grau de dependência micorrízica, foram implantadas logo após o nabo, fator que deve ter influenciado negativamente a multiplicação de fungos micorrízicos no solo, afetando a BMS e a imobilização de C e N nessa rotação. Embora

não se tenha feito análise estatística para verificar o efeito dos valores do CBM e NBM relacionando as duas coletas, nota-se nos quatro ensaios analisados um aumento do valor da BMS na coleta de inverno, em relação à coleta de verão. Provavelmente esse resultado deve estar relacionado à intensa precipitação (215,7 mm) ocorrida duas semanas antes da coleta de solo que alterou a umidade e contribuiu para um ambiente favorável ao desenvolvimento dos microrganismos do solo e, conseqüentemente, para a maior imobilização de C e N.

A BMS varia em função do ciclo das culturas, da incorporação de resíduos vegetais, da pluviometria e do pH do solo, entre outros (WARDLE, 1998; FRANCHINI *et al.*, 2007), de modo que um ou mais desses fatores podem estar associados às variações na BMS entre duas avaliações. Wylie (1994) evidenciou que a distribuição das chuvas e a umidade do solo seriam os principais fatores na regulação dos microrganismos do solo.

No terceiro ensaio, após 14 anos, quando comparados dois sistemas de PD, com diferentes tempos de implantação, com o PC, nota-se uma diferença significativa no acúmulo de CBM e NBM, pelo sistema de PDv (plantio direto velho, com início em 1993), nas duas épocas de amostragem. Em média, os valores de CBM e NBM foram superiores no PDv em 45 e 60%, respectivamente, na coleta de verão e em 40 e 45%, respectivamente, na coleta de inverno, quando comparado ao PC (Tabela 7).

Tanto na média dos sistemas de manejo do solo, quanto dentro dos sistemas de rotação/sucessão de culturas não houve diferença significativa entre o PDn (plantio direto novo com início em 2003) e o sistema PC, para o parâmetro CBM na coleta de verão. A única diferença significativa observada dentro dos sistemas de rotação/sucessão de culturas foi no PDv, onde a rotação 2 (milho safrinha/soja/milho safrinha) apresentou um valor significativo de CBM ($421,0 \mu\text{g.g}^{-1}$ solo seco) na coleta de verão. Quando consideradas as médias dos sistemas de rotação/sucessão, a rotação 2 se sobressaiu em relação às demais com um valor superior de CBM ($254,1 \mu\text{g.g}^{-1}$ solo seco). Já na coleta de inverno, quando se analisa as médias dos sistemas de rotação/sucessão de culturas, a rotação 1 (tremoço/milho/aveia/soja/trigo/soja/trigo/soja/trigo) foi significativamente superior na imobilização de CBM ($485,0 \mu\text{g.g}^{-1}$ solo seco).

Tabela 7. C e N da biomassa microbiana do solo (CBM/NBM, $\mu\text{g C}$ ou N g^{-1} solo seco) em diferentes sistemas de manejo do solo e rotação de culturas, coletados nos estádios de florescimento da soja na safra de verão e, florescimento do milho safrinha e maturação do trigo na safra de inverno, em Latossolo Vermelho Eutroférico em um ensaio constituído a 14 anos em Londrina, PR.

	Verão				Inverno			
	Tratamentos							
	CBM							
	R1 ¹	R2	S	Média	R1	R2	S	Média
PC ²	157,6 B a	172,4 B a	168,0 B a	166,0 B	165,0 C a	322,7 C b	383,4 C a	357,1 C
PDn	160,5 B a	169,0 B a	190,3 B a	173,3 B	477,7 B a	454,9 B a	447,0 B a	459,9 B
PDv	220,9 A c	421,0 A a	270,0 A b	304,0 A	612,5 A a	635,9 A a	551,0 A b	599,8 A
Média	181,7 c	254,1 a	209,4 b		485,0 a	471,2 ab	460,5 b	
NBM								
	R1	R2	S	Média	R1	R2	S	Média
PC	27,4 C a	26,5 B a	27,7 C a	27,2 C	34,6 C a	36,8 C a	32,4 C b	34,6 C
PDn	57,9 B b	68,8 A a	54,4 B b	60,4 B	41,7 B c	46,4 B b	49,9 B a	46,0 B
PDv	75,1 A a	66,8 A b	62,0 A b	68,0 A	61,9 A b	70,1 A a	56,0 A c	62,7 A
Média	53,5 a	54,0 a	48,8 b		46,1 b	51,1 a	46,1 b	

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan ($P < 0,05$).

¹Rotação 1- tremoço/milho/aveia/soja/trigo/soja/trigo/soja/trigo; Rotação 2- milho safrinha/soja/milho safrinha; Sucessão-trigo/soja

² PC- Plantio convencional

PDn- Plantio direto novo; início em outubro de 1993

PDv- Plantio direto velho; início em outubro de 2003

Na coleta de inverno não houve diferença significativa do CBM entre os sistemas de rotação/sucessão para o sistema de PDn. Entretanto, diferenças significativas foram observadas no PC e PDv. Valores obtidos na quantificação do C da BMS revelam que o PD proporciona valores médios superiores e mais constantes, devido a um maior equilíbrio das condições do solo (BALOTA *et al.*, 1997).

Quando se analisa o NBM nota-se que esse parâmetro foi extremamente sensível não só ao sistema de manejo do solo, mais também ao tempo de implantação do PD. A imobilização de N pela BMS apresentou valores superiores de até 50% quando comparado os sistemas PDv e PDn com o PC. Possivelmente o tempo de adoção do PDn, com quatro anos de instalação na época de avaliação, estaria influenciando o CBM, já que antes da adoção do PD, o manejo do solo era feito de modo convencional, demonstrando que as alterações promovidas pelo PC estaria exercendo efeito sobre esse parâmetro.

Na média dos sistemas de manejo do solo ao contrário do CBM, o NBM apresentou valores significativamente superiores quando comparado ao PC em ambas as coletas de solo, demonstrando que em sistemas conservacionistas ocorre uma maior imobilização de N pelos microrganismos do solo.

Para o NBM, não houve diferença significativa entre os sistemas de rotação/sucessão de culturas para o PC, na coleta de verão. Entretanto, diferenças significativas entre os sistemas de rotação/sucessão foram encontradas no PDv e PDn, onde as rotações 2 (milho safrinha/soja/milho safrinha) e 1 (tremoço/milho/aveia/soja/trigo/soja/trigo/soja/trigo), respectivamente, apresentaram valores superiores de NBM, em relação ao tradicional sistema trigo/soja na coleta de verão. Na análise das médias dos sistemas de rotação/sucessão de culturas não houve diferença entre as rotações 1 e 2, que apresentaram valores significativos de N na coleta de verão. Já na coleta de inverno a rotação 2 apresentou valor médio superior de NBM. O sistema de rotação de culturas promove ao longo dos anos diversidade da comunidade microbiana sendo eficiente energeticamente na ciclagem de nutrientes (ANDERSON, 2003).

O PD por ser um sistema de manejo com menor perturbação do solo, tende a aumentar o aporte de MO com o tempo de adoção, e conseqüentemente da BMS, que

estando protegida é afetada em menor intensidade pelas variações ambientais de umidade e temperatura (RHOTON, 2000). Além disso, o PD também pode favorecer algumas propriedades químicas do solo, como pH e CTC, e os teores de Ca, Mg, K, P (FRANCHINI *et al.* 1999; SIDIRAS; PAVAN, 1985). O somatório desses fatores contribuiu para a ocorrência de maiores níveis de BMS nesse sistema.

Segundo Rhoton (2000) nos primeiros quatro anos do PD ocorrem alterações nas propriedades relacionadas à erodibilidade e fertilidade demonstrando a sustentabilidade do sistema. O sistema de PD tende a se homogeneizar com o passar dos anos, fator esse atribuído a não movimentação do solo, que proporciona a descida de nutrientes no perfil do solo por meio de canais formados por raízes decompostas, como também pela ação de microrganismos do solo e formação de complexos orgânicos (BAYER *et al.*, 2002). É provável que as condições no sistema PDv, decorrentes da ausência de perturbações há 14 anos, tornou o ambiente mais estável, em comparação aos demais sistemas manejos do solo, tornando possível o maior acúmulo de C e N pela BMS, indicando o maior equilíbrio da microbiota do solo nesse ambiente.

No quarto ensaio, após 10 anos de implantação, quando comparado ao PC, em média o PD apresentou valor superior de CBM e NBM de 18 e 50%, respectivamente, na coleta de verão e, de 38 e 49%, respectivamente, na coleta de inverno (Tabela 8). No caso do CBM, diferenças significativas entre os sistemas de manejo das culturas foram observadas apenas quando consideradas as médias dos sistemas de rotação de culturas, em ambas as coletas. Provavelmente essa resposta se deve ao período de pousio ao qual o solo permaneceu durante a safra de inverno 2006, em decorrência de uma intensa seca que inviabilizou o cultivo da estação. Durante o período de pousio, os resíduos vegetais da cultura anterior, no caso a soja e o milho, permaneceram nas parcelas sobre PC, o que pode ter contribuído na recuperação do CBM na superfície do solo (0-10 cm). Conseqüentemente, esse fator pode ter contribuído para diluir as diferenças entre os sistemas de manejo do solo, nas parcelas manejadas de forma convencional nos anos anteriores.

Tabela 8. C e N da biomassa microbiana do solo (CBM/NBM, $\mu\text{g C}$ ou N g^{-1} solo seco) em diferentes sistemas de manejo do solo e rotação de culturas, coletados nos estádios de florescimento do milho na safra de verão e maturação do trigo na safra de inverno, em Latossolo Vermelho Eutroférrico, em um ensaio constituído a 10 anos em Londrina, PR .

	Verão				Inverno			
	Tratamentos							
	CBM							
	R1 ¹	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média
PC ²	264,1 A a	198,7 A a	227,3 A a	230,1 B	361,1 A a	322,1 A a	420,7 A a	368,0 B
PD	296,5 A a	277,3 A a	239,6 A a	271,1 A	528,9 A a	621,5 A a	625,8 A a	592,1 A
Média	280,3 a	243,6 ab	233,4 b		445,0 c	471,8 b	523,2 a	
NBM								
	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média
PC	36,1 B a	32,8 B a	39,2 B a	36,1 B	37,8 B a	37,4 B a	37,9 B a	37,7 B
PD	62,8 A b	75,3 A a	78,2 A a	72,1 A	74,5 A b	69,9 A c	76,5 A a	73,6 A
Média	49,5 b	54,1 ab	58,7 a		56,1 a	53,6 c	57,2 b	

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan ($P < 0,05$).

¹ Rotação 1- aveia/soja/pousio/milho/trigo; Rotação 2- tremoço/milho/pousio/milho/aveia; Rotação 3- aveia/milho/pousio/milho/tri

² PC- Plantio convencional

PD- Plantio direto

Alguns trabalhos relatam que predominância de leguminosas em sistemas de rotação de culturas tem favorecido a imobilização de C pelo solo, enquanto a adoção prolongada de gramíneas tem conduzido a perdas de C no PD, influenciando também a BMS (BALOTA *et al.*, 1998; AMADO *et al.*, 2001; FRANCHINI *et al.*, 2007). Além disso, o milho em virtude do seu sistema radicular intenso pode ter contribuído para um efeito rizosférico, proporcionando uma maior disponibilidade de substrato orgânico de fácil degradação, utilizados como fonte de energia no crescimento microbiano (D' ANDRÉA *et al.*, 2002). Analisando as médias dos sistemas de rotação de culturas, nota-se que a rotação 1 (aveia/soja/pousio/milho/trigo) no verão e, a rotação 3 (aveia/milho/pousio/milho/trigo), no inverno, proporcionaram valores significativos do CBM (280,3 e 523,2 $\mu\text{g.g}^{-1}$ solo seco, respectivamente) em relação aos demais sistemas de rotação de culturas.

Para o NBM, os sistemas de rotação de culturas não apresentaram diferenças significativas no PC em ambas as coletas. Porém, diferenças significativas foram observadas entre o PD e o PC, dentro dos sistemas de rotação de culturas, em ambos os períodos de amostragem. O valor superior de NBM observado no PD é um aspecto de grande relevância quanto à sensibilidade e a ciclagem desse elemento pela BMS, demonstrando que as alterações promovidas pelo arado de disco no sistema de PC ainda permaneciam no sistema apesar do período de pousio. No PD, valores significativamente superiores de NBM foram observados no sistema de rotação 2 (tremoço/milho/pousio/milho/aveia) e 3 (aveia/milho/pousio/milho/trigo) na coleta de verão. Já na coleta de inverno, o sistema de rotação 3, foi significativamente superior na imobilização de N pela BMS, em sistema de PD.

Quando analisadas as médias dos sistemas de rotação de culturas, houve diferença significativa superior para a rotação 3 (58,7 $\mu\text{g.g}^{-1}$ solo seco) no verão e rotação 1 (56,1 $\mu\text{g.g}^{-1}$ solo seco) no inverno. Esse comportamento pode estar relacionado aos microrganismos do solo que necessitam de grandes quantidades de N para decomposição da palhada do milho, por isso o aumento na imobilização de N nesses sistemas de rotação de culturas ao menos temporariamente (SILVEIRA *et al.*, 2001).

A maior de imobilização de N no sistema de PD pode causar uma deficiência de N em culturas como o milho e o trigo, porém a utilização de leguminosas em sistema de rotação de culturas torna esse elemento disponível para as culturas (CASTRO FILHO *et al.*, 2002).

Os rendimentos dos grãos de soja e milho na safra de verão (2006/2007) foram diretamente influenciados pelos sistemas de manejo do solo em ambos os ensaios estudados. O sistema de PD apresentou rendimentos significativos em comparação aos demais manejos do solo, se correlacionando positivamente com os valores superiores da BMS encontradas nesse sistema na coleta de verão. No primeiro ensaio com sucessão soja/trigo, o PD proporcionou rendimento significativo de grãos de soja (3.472 kg.ha^{-1}) em relação aos sistemas de PC (2.058 kg.ha^{-1}), GP (1.873 kg.ha^{-1}) e E (1.756 kg.ha^{-1}), com revolvimento do solo, que não diferiram entre si no rendimento da cultura (Tabela 9).

Tabela 09. Rendimento de grãos de soja com sucessão trigo/soja sob diferentes sistemas de manejo de solo, avaliado na safra de verão (2006/2007), em um ensaio constituído a 26 anos em Londrina, PR.

Manejo de solo ¹	Rendimento de grãos (kg. ha^{-1})	
Plantio Direto	3.472	A
Plantio Convencional	2.058	B
Grade Pesada	1.873	B
Escarificador	1.756	B

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

¹ PD- Plantio direto

PC- Plantio convencional

GP- Grade Pesada

Es- Escarificador

O fornecimento contínuo de materiais orgânicos com diferentes graus de suscetibilidade à decomposição no PD provavelmente contribuiu para rendimentos superiores nesse sistema. Maiores rendimentos de soja e milho no sistema de PD, em relação a outros sistemas de manejo do solo, foi relatado por Ismail *et al.* (1994).

No caso dos rendimentos da soja, esse resultado pode estar relacionado às características do sistema de PD, que dentre alguns benefícios contribui para uma maior nodulação, que resulta em maiores taxas de fixação biológica do N₂ e, que conseqüentemente proporciona rendimentos mais elevados da cultura (HUNGRIA, 2000; HUNGRIA *et al.*, (2006)).

No milho, uma cultura altamente exigente em N, esses rendimentos podem estar relacionados à maior imobilização de N pelos microrganismos do solo no PD, que em média apresentaram valores até 50% superiores quando comparados ao sistema de PC. No segundo ensaio quando comparados diferentes sistemas de rotação de culturas sob sistema de PD, observa-se que as rotações não diferiram estatisticamente nos rendimentos dos grãos de soja e milho (Tabela 10). Apesar de alguns contrastes observados nos resultados da BMS nesse ensaio, não houve interferência desse parâmetro nos rendimentos dos grãos.

Tabela 10. Rendimento de grãos de soja e milho em função de oito diferentes sistemas rotação de culturas sob sistema de PD, avaliado na safra de verão (2006/2007) em um ensaio constituído a 21 anos em Londrina, PR.

Manejo de culturas	Rendimento da soja (kg.ha ⁻¹)		Manejo de culturas	Rendimento do milho (Kg.ha ⁻¹)	
R1 ¹	2.724	A	R3	8.597	A
R2	2.971	A	R4	8.748	A
R6	2.840	A	R5	8.595	A
			R7	8.893	A
			R8	8.697	A

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

¹Rotação 1: trigo e soja contínuos

Rotação 2: soja contínua/aveia preta e trigo alternados

Rotação 3: milho e soja (1:3) nabo forrageiro, aveia preta e trigo (1:1:2) alternados

Rotação 4: milho e soja (1:3)/nabo e trigo (1:3) alternados

Rotação 5: milho e soja/nabo forrageiro e trigo alternados

Rotação 6: soja contínua/ aveia preta e trigo (3:1) alternados

Rotação 7: milho e soja (1:3)/nabo forrageiro, aveia preta e trigo (1:2:1)

Rotação 8: milho e soja (2:2)/nabo forrageiro, aveia preta e trigo (2:1:1) alternados

No terceiro ensaio rendimentos superiores foram encontrados no PDv em comparação ao PC (Tabela 11). Apenas no quarto ensaio foi notada diferença significativa na rotação 2 (tremoço/milho/pousio/milho) que apresentou o menor rendimento de milho no plantio convencional e também na média dos sistemas de rotação de culturas (Tabela 12). Cattelan *et al.* (1997a), estudando diferentes rotações de culturas sob sistema de PD em um ensaio no Norte do Paraná, observaram que em alguns casos, o desenvolvimento microbiano correlacionou-se, positivamente, com o rendimento de grãos de soja. Entretanto, esses autores também não encontraram diferenças estatísticas no rendimento de grãos de soja em função de diferentes rotações de culturas.

Tabela 11. Rendimento de grãos de soja ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) em função de diferentes sistemas de manejo de solo e rotação/sucessão de culturas, avaliado na safra de verão (2006/2007) em um ensaio constituído a 14 anos em Londrina, PR.

Manejo de solo	Manejo de culturas						Média	
	R1 ¹		R2		S			
PC ²	3.050	A a	2.966	A a	3.049	A a	2.988	B
PDn	3.205	A a	3.170	A a	3.145	A a	3.173	AB
PDv	3.425	A a	3.341	A a	3.432	A a	3.399	A
Média	3.243	a	3.126	a	3.208	a		

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan ($P < 0,05$).

¹Rotação 1- tremoço/milho/aveia/soja/trigo/soja/trigo/soja/trigo; Rotação 2- milho safrinha/soja/milho safrinha; Sucessão- trigo/soja

² PC- Plantio convencional

PDn- Plantio direto novo; início em outubro de 1993

PDv- Plantio direto velho; início em outubro de 2003

Tabela 12. Rendimento de grãos de milho ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) em função de diferentes sistemas de manejo de solo e rotação de culturas, avaliado na safra de verão (2006/2007) em um ensaio constituído a 10 anos em Londrina, PR.

Manejo de solo	Manejo de culturas						Média	
	R1 ¹		R2		R3			
PC ²	7.295	A a	5.951	B b	7.709	A a	6.985	B
PD	7.727	A a	7.343	A a	7.816	A a	7.628	A
Média	7.510	a	6.647	b	7.762	a		

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan ($P < 0,05$).

¹ Rotação 1- aveia/soja/pousio/milho/trigo; Rotação 2- tremoço/milho/pousio/milho/aveia; Rotação 3- aveia/milho/pousio/milho/trigo

² PC- Plantio convencional

PD- Plantio direto

Resultados semelhantes com ausência de diferenças de rendimentos de grãos de soja comparando sistemas de manejo de culturas, também foram relatados por Yusuf *et al.*, (1999) e Hungria *et al.*, (2006) evidenciando que as rotações de culturas podem contribuir para um rendimento superior quando há um maior tempo de implantação das culturas. Em

todos os ensaios analisados a maior quantidade de BMS em PD é relevante, particularmente considerando a ciclagem de C e N em sistemas agrícolas. Entretanto, nesse trabalho o NBM foi o parâmetro mais sensível às modificações induzidas pelos sistemas de manejo do solo e das culturas, demonstrando ser um parâmetro útil em programas de avaliação da qualidade do solo. De maneira geral, os sistemas de rotação de culturas demonstraram que o entendimento sobre alguns fatores como, por exemplo, a relação C:N dos resíduos de culturas, a composição bioquímica do tecido vegetal, o tempo de permanência dos resíduos na superfície do solo (BORKERT *et al.*, 2003), entre outros, são de fundamental importância para garantir a sustentabilidade e produtividade dos agroecossistemas.

CONCLUSÕES

1) O NBM mostrou ser um parâmetro mais sensível que o CBM, para indicar alterações provenientes do sistema de manejo do solo, sendo favorecido pelo não revolvimento do solo.

2) No segundo ensaio as rotações de culturas com presença de leguminosa, no caso a soja, apresentaram a tendência de maior imobilização de C e N pela biomassa microbiana do solo na coleta de inverno.

3) O tempo de implantação acentuou as diferenças entre os sistemas de PD e PC em relação à imobilização de C e N pela biomassa microbiana do solo.

4) Os rendimentos de grãos de soja e milho foram influenciados pelo manejo do solo, se correlacionando positivamente com os valores superiores da BMS encontrados no sistema de plantio direto.

5) Não houve influência dos sistemas de rotação/sucessão de culturas no rendimento de grãos.

REFERÊNCIAS

ADAMS, T.M.M.; LAUGHLIN, R.J. The effects of agronomy on the carbon and nitrogen contained in the soil biomass. **Journal of Agricultural Science**, v.97, p.319-27, 1981.

AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.189-197, 2001.

ANDERSON, T.H. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 98, p. 285-293, 2003.

ANGERS, D.A.; BISSONNETTE, N.; LEGERE, A.; SAMSOM, N. Microbial and biochemical changes induced by rotation and tillage in a soil under barley production. **Canadian Journal of Soil Science**, v.73, p.39-50, 1993.

BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil & Tillage Research**, v.53, p.215-30, 2000.

BALOTA, E.L.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; DICK, R.P. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization. **Soil & Tillage Research**, v.77, p.137-145, 2004.

BALOTA, E.L.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; DICK, R.P. Microbial biomass in soils under different tillage and crop rotation systems. **Biology and Fertility of Soil**, v.38, p.15-20, 2003.

BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.641-649, 1998.

BALOTA, E.L.; ANDRADE, D.S.; COLOZZI-FILHO, A. Avaliações microbiológicas em sistemas de preparo de solo e sucessão de culturas. In: Congresso Brasileiro sobre Plantio Direto, 1., Ponta Grossa, 1997. Plantio direto para uma agricultura sustentável. **Anais...**Ponta Grossa: Instituto Agrônomo do Paraná, 1997, p.9-11.

BARTLETT, R.J.; ROSS, D.N. Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solutions. **Soil Science Society of America Journal**, v.52, p.1191-1192, 1988.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L.; ERNANI, P.R. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. **Plant Soil**, v.238, p.133-140, 2002.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. 508p.

BORKERT, C.M.; GAUDÊNCIO, C.A.; PEREIRA, J.E.; PEREIRA, L.R.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.143-153, 2003.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por resíduos de oito seqüências de culturas e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento inicial do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.91-98, 1990.

BRANDÃO, E.M. Os componentes da comunidade microbiana do solo. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C. (Eds.). **Microbiologia do solo**. Campinas: SBCS, 1992, p.1-15.

BREMNER, J.M. Total nitrogen. In: BLACK, C.A. (Eds.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965, p.1149-1178.

BROOKES, P.C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D.S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology & Biochemistry**, v.17, p.837-842, 1985.

BROWN, S.; ANDERSON, J.M.; WOOMER, P.L.; SWIFT, M.J.; BARRIOS, E. Soil biological processes in tropical ecosystems. In: WOOMER, P.L.; SWIFT, M.J. (Eds.). **The biological management of tropical soil fertility**, New York: John Wiley & Sons, 1994, p.15-46.

CARDOSO, E.J.B.N.; FREITAS, S.S. A rizosfera. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. (Eds.) **Microbiologia do solo**. Campinas: SBCS, 1992. 360p.

CARTER, M.R. Microbial biomass as an index for tillage induced changes in soil biological properties. **Soil & Tillage Research**, v.7, p.29-40, 1986.

CARTER, M.R.; 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.

CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; GUIMARÃES, M.F.; FONSECA, I.C.B. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Parana, Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.65, p.45-51, 2002.

CASTRO FILHO, C.; HENKLAIN, J.C.; VIEIRA, M.J.; CASÃO JUNIOR, R. Tillage methods and soil and water conservation in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.20, p.271-283, 1991.

CATTELAN, A.J.; TORRES, E.; SPOLADORI, C.L. Sistemas de preparo com a sucessão trigo/soja e os microrganismos do solo em Londrina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.303-311, 1997b.

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

CATTELAN, A.J., VIDOR, C. Sistemas de culturas e a população microbiana no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.125-32, 1990.

CERRI, C.C.; ANDREUX, E.; EDUARDO, B.P.; O ciclo do carbono no solo. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. (Coord.). **Microbiologia do solo**. Campinas: SBCS, 1992, p. 73-90.

COLOZZI-FILHO, A.; BALOTA, E.L. Plantio direto: microrganismos e processos. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.; FAQUIN, V.; FURTINNI, A.E.; CARVALHO, J.G., (Eds.). **Soil fertility, soil biology and plant nutrition interrelationships**. Lavras, SBCS/UFLA/DCS, 1999. p.487-508.

CONSTANTINI, A.; COSENTINO, 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.265-71, 1996.

CORAZZA, E.J.; SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.425-432, 1999.

COSTA, E.A.; GOEDERT, W.J.; SOUSA, D.M.G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.7, p.1185-1191, jul. 2006.

CRESPO, L.; PICONE, L.; ANDREOLI, Y.; GARCIA, F. Efecto del tipo de labranza sobre algunas propiedades edáficas y biológicas de un argiudol típico. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DE SUELO, 14., 1999, Pucon. **Resumo...** Temuco: Universidad de la Frontera, 1999, p.134.

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

DE-POLLI, H.; GUERRA, J.G.M. C, N e P na biomassa microbiana do solo. In : SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999, p.389-412.

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn, Germany, Londrina, Brasil, GTZ-IAPAR, 1991. 272p.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Eds.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996, p.27-31.

FEBRAPDP (Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha). **Área de Plantio Direto No Brasil**. Disponível em: <<http://www.febapdp.org.br/arquivos/BREvolucaoPD2002a2006.pdf>>. Acesso em:28/01/2008.

FEIJE, F.; ANGER, V. Spot test in inorganic analysis. *Analytical Chemistry Acta*, 149:363-367, 1972.

FERNANDES, E.C.M.; MOTAVALLI, P.P.; CASTILLA, C.; MUKURUMBIRA, L. Management control of soil organic matter dynamics in tropical land-use systems. **Geoderma**, v.79, p.49-67, 1997.

FOSTER, R.C. Microorganisms and soil aggregates. In: PANKHURST, C.E.; DOUBE, B.M.; GUPTA, V.V.S.R.; GRACE, P.R. (Eds.). **Soil biota: management in sustainable farming systems**. New York: John Wiley, 1994. p.144-55.

FRANCHINI, J.C.; CRISPINO, C.C.; SOUZA, R.A.; TORRES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various tillage and crop-rotation systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.92, p.18-29, 2007.

FRANCHINI, J.C.; GONZALEZ-VILA, F.J.; RODRIGUEZ, J. Decomposition of plant residues used in no-tillage systems as revealed by flash pyrolysis. **Journal Analytical and Applied Pyrolysis**, v.62, p. 35-43, 2002.

FRANCHINI, J.C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.533-542, 1999.

FU, S.; COLEMAN, D.C.; SCHATZ, R.; POTTER, R.; HENDRIX, P.F.; CROSSLEY JUNIOR, D.A. ¹⁴C distribution in soil organisms and respiration after the decomposition of crop residue in conventional tillage and no-till agroecosystems at Georgia Piedmont. **Soil & Tillage Research**, v.57, p.31-41, 2000.

GIJSMAN, A.J.; OBERSON, A.; FRIESEN, D.K.; SANZ, J.I.; THOMAS, R.J. Nutrient cycling through microbial biomass under rice-pasture rotations replacing native savanna. **Soil Biology and Biochemistry**, v.29, p.1433-1441, 1997.

HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, R.M.; LOPEZ-HERNÁNDEZ, D. Microbial biomass, mineral nitrogen and carbon content in savanna soil aggregates under conventional and no-tillage. **Soil Biology & Biochemistry**, v.34, p.1563-1570, 2002.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; CAMPO, R.J.; CRISPINO, C.C.; MORAES, J.Z.; SIBALDELLI, R.N.R.; MENDES, I.C.; ARIHARA, J. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N₂ fixation and of N fertilizer to grain yield. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 86, p. 927-939, 2006.

HUNGRIA, M. Características biológicas em solos manejados sob plantio direto. In: REUNIÓN DE LA RED LATINOAMERICANA DE AGRICULTURA CONSERVACIONISTA, 5., 1999, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, EPAGRI, 2000, 15p. (CDROM).

HUNGRIA, M.; ANDRADE, D.S.; BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A. **Importância do sistema de semeadura direta na população microbiana do solo.** Londrina, EMBRAPA-CNPSO, 1997. 9p. (EMBRAPA-CNPSO. Comunicado Técnico, 56).

ISMAIL, I.; BLEVINS, R.L.; FRYE, W.W. Long-term no-tillage effects on soil properties and continuous corn yields. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, n.1, p.193-198, 1994.

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

KLADIVKO, E.J. Tillage systems and soil ecology. **Soil & Tillage Research**, v.61, p.61-76, 2001.

KOLB, W.; MARTIN, P. Influence of nitrogen on the number of N₂-fixing and total bacteria in the rhizosphere. **Soil Biology & Biochemistry**, v.20, p. 221-5, 1988.

LYNCH, J.M. Interactions between biological processes cultivation and soil structure. **Plant Soil**, v.76, p.307-18, 1984.

MATSUOKA, M.; MENDES, J.C.; LOUREIRO, M.F. Microbial biomass and enzyme activities in soils under native vegetation and under annual and perennial cropping systems at the Primavera do Leste region- Mato Grosso State. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.425-433, 2003.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo.** Ecossistemas tropicais e subtropicais, Porto Alegre, RS, p.1-8, 1999.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Agronegócio Brasileiro.** Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/portal/page?_pageid=33,968707&_dad=portal&_schema=PORTAL> Acesso em 15 de Abril de 2008.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2003.

MOORE, J.M.; KLOSE, S.; TABATABAI, M.A. Soil microbial biomass carbon and nitrogen as affected by cropping systems. **Biology and Fertility of Soils**, v.31, p.200- 210, 2000.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2002. 626 p.

PAES, J.M.V.; ANDREOLA, F.; BRITO, C.H.; LOUDES, E.G. Decomposição da palha de café em três tipos de solo e sua influência sobre a CTC e o pH. **Revista Ceres**, v.43, p.337-392, 1996.

PAUL, E.A.; HARRIS, D.; COLLINS, H.P.; SCHULTHESS, U.; ROBERTSON, G.P. Evolution of CO₂ and soil carbon dynamics in biologically managed, row-crop agroecosystems. **Applied Soil Ecology**, v.11, p.53-65, 1999.

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. **Soil microbiology & biochemistry**. San Diego: Academic Press, 1989. 275p.

PEIXOTO, R.T.G.; AHRENS, D.C.; SAMAHA, M.J. **Plantio direto**: o caminho para uma agricultura sustentável. Ponta Grossa: Instituto Agrônomo do Paraná, PRP/PG, 1997, 275p.

PEREZ, K.S.S.; RAMOS, M.L.G.; McMANUS, C. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo cultivado com soja, sob diferentes sistemas de manejo, nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.2, p.137-144, fev. 2005.

PFENNING, L.; EDUARDO, B.P.; CERRI, C.C. Os métodos da fumigação-incubação e fumigação-extração na estimativa da biomassa microbiana de solos da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.31-7, 1992.

POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C.; CHRISTENSEN, B.T. Measurement of microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to the straw incorporation. **Soil Biology & Biochemistry**, v.19, p.159-64, 1987.

REEVES, D.W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. **Soil & Tillage Research**, v.43, p.131-67, 1997.

- REGANOLD, J.P.; GLOVER, J.D.; ANDREWS, P.K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic and integrated apple orchards in Washington State. **Agricultural Ecosystem & Environmental**, v. 80, p. 29-45, 2000.
- RHOTON, F.E. Influence of time on soil response to no-till practices. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, p.700-709, 2000.
- ROTH, C.; VIEIRA, M.J. Infiltração de água no solo. **Plantio Direto**, Ponta Grossa, v.1, n.3, p.4, 1983.
- ROCHA, M.M. Parâmetros microbiológicos no sistema de plantio direto e convencional em solos com diferentes teores de argila. Botucatu, 2002. 172p. **Dissertação** (Doutorado)- Faculdade de Ciências Agrônomicas-UNESP, Botucatu.
- SAFFIGNA, P.G.; POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C.; THOMAS, G.A. Influence of sorghum residues and tillage on soil organic matter and soil biomass in an Australian vertisol. **Soil Biology & Biochemistry**, v.21, p.759-65, 1989.
- SALINAS-GARCIA, J.R.; VELÁZQUEZ-GARCIA, J.J.; GALLARDO-VALDEZ, M.; MEDEROS-DÍAS, P.; CABALLERO-HERNÁNDEZ, F.; TAPIA-VARGAS, L.M.; ROSALES-ROBLES. Tillages effects on microbial biomass and nutrient distribution in soil under rain-fed corn production in central–western Mexico. **Soil & Tillage Research**, v.24, p. 143-152, 2002.
- SALINAS-GARCIA, J.R.; HONS, F.M.; MATOCHA, J.E. Long-term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.152-159, 1997.
- SANTOS, V.B.; CASTILHOS, D.D.; CASTILHOS, R.M.V.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; SILVA, D.G. Biomassa, atividade microbiana e teores de carbono e nitrogênio totais de um planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.10, p.333-338, 2004.
- SARAIVA, O.F.; TORRES, E.; LONI, D.A.; PIRES, M.S. **Manejo dos resíduos da colheita condicionado por sistemas de preparo do solo**. In. Resultados de Pesquisa da Embrapa Soja, 2002: manejo do solo, plantas daninhas e agricultura de precisão. Londrina: Embrapa Soja, 2003. (Documentos/Embrapa Soja, 214), p.29-37.
- SAS INSTITUTE **SAS proprietary software release 8.2**. Cary, NC. 2001.

SCHNÜRER, J.; CLARHOLM, M.; BASTROM, S.; ROSSWALL, T. Effects of moisture on soil microorganisms and nematodes: a field experiment. **FEMS Microbiology Ecology**, v.12, p.217-30, 1986.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.9, n. 3, p.249-254, 1985.

SILVEIRA, P.M.; SILVA, O.F.; STONE, L.F.; SILVA, J.G. Efeitos do preparo do solo, plantio direto e de rotações de culturas sobre o rendimento e a economicidade do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.2, p. 257-263, fev. 2001.

SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; GRISI, B.M.; HUNGRIA, M.; ARAUJO, R.S. **Microorganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Soja, Embrapa, 1994. 142p.

SIX, J.; OGLE, S.; BREIDT, F.; CONANT, R.; MOSIER, A.; PAUSTIAN, K. The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practiced in the long term. **Global Change Biology**, v.10, p.155-160, 2004.

SMITH, J.L.; PAUL, E.A. The significance of soil microbial biomass estimations. In: BOLLAG, J.; STOTZKY, G. (Eds.). **Soil Biology & Biochemistry**, v.6, p.357-96, 1990.

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

STRIEDER, M.L.; SILVA, P.R.F.; ANGHINONI, I.; MEURER, E.J.; RAMBO, L.; ENDRIGO, P.C. Época de aplicação da primeira dose de nitrogênio em cobertura em milho e espécies antecessoras de cobertura de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 879-890, 2006.

TESTA, V.M.; TEIXEIRA, L.A.J.; MIELNICZUK, J. Características químicas de um Podizólico Vermelho-Escuro afetadas por sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p. 107-114, 1992.

UNGER, P.W.; FULTON, L. Conventional- and no-tillage effects on upper root zone soil conditions. **Soil & Tillage Research**, v.16, p.337-44, 1990.

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

VANLAUWE, B.; NWOKE, O.C.; SANGINGA, N.; MERCKX, R. Evaluation of methods for measuring microbial biomass C and N relationships between microbial biomass and soil organic matter particle size classes in West-African soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v.31, p.1071-1082, 1999.

VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um Podzólico Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.35-42, 2000.

VICTORIA, R.L.; PICCOLO, M.C. & VARGAS, A.A.T. O ciclo do nitrogênio. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P., (coords.) **Microbiologia do solo**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 105-120, 1992.

WAKSMAN, S.A. **Soil microbiology**. London: John Wiley, 1963. 356p.

WARDLE, D.A.; YEATES, G.W.; NICHOLSON, K.S.; BONNER, K.I.; WATSON, R.N. Response of soil microbial biomass dynamics, activity and plant litter decomposition to agricultural intensification over a seven-year period. **Soil Biology & Biochemistry**, v.31, p.1707-1720, 1999.

WARDLE, D.A. Controls of temporal variability of the soil microbial biomass: a global-scale synthesis. **Soil Biology & Biochemistry**, v.13, p.1627-1637, 1998.

WARDLE, D.A.; GILLER, K.E. The quest for a contemporary ecological dimension to soil biology. **Soil Biology & Biochemistry**, v.28, n.12, p. 1549-1554, 1996.

WARDLE, D.A.; GHANI, A. A critique of the microbial metabolic quotient (qCO_2) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. **Soil Biology & Biochemistry**, v.27, p.1601-10, 1995.

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

WUTKE, E.B. Adubação verde: manejo da fitomassa e espécies utilizadas no Estado de São Paulo. In: WUTKE, E.B.; BULISANI, E.A.; MASCARENHAS, H.A.A. (Eds.). **Curso sobre adubação verde no Instituto Agrônomo**. Campinas: Instituto Agrônomo, p.17-29, 1993. (IAC. Documentos, 35).

WYLIE, P. Indicators of sustainable cropping systems. In: PANKHURST, C.E.; DOUBE, B.M.; GUPTA, V.V.S.R.; GRACE, P.R. (Eds.). **Soils biota: management in sustainable farming systems**. CSIRO, Austrália, 1994, p. 224-229.

YUSUF, R.I.; SIEMENS, J.C.; BULLOCK, D.G. Growth analysis of soybean under no- tillage and conventional tillage systems. **Agronomy Journal**, Madson, v.91, n.6, p. 928-933, 1999.

ANEXOS

Quadro1. Atividades do manejo de preparo do solo e adubação dos ensaios experimentais.

Ensaio	Preparo do solo		Aduação					
			Plantio		Cobertura		Manutenção ³	
	¹ Ver.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.
1) 26 anos	² PC, PD, GP, E	PD, GP	NPK 00-20-20 (soja)	NPK 08-28-16 (trigo)	-	-	Calcário calcítico 2000 Kg.ha ⁻¹	
2) 21 anos	PD	PD	NPK 00-20-20 (soja) NPK 08-28-16 (milho)	NPK 08-28-16 (trigo)	80 kg.ha ⁻¹ de N [(NH ₄) ₂ SO ₄] no milho	60 kg.ha ⁻¹ de N [(NH ₄) ₂ SO ₄] no trigo	-	
3) 14 anos	PC, PDv, PDn	GP, PDv, PDn	NPK 00-20-20 (soja)	NPK 08-28-16 (trigo) NPK 08-28-16 (milho sfr.) ²	-	-	80 kg.ha ⁻¹ de N [(NH ₄) ₂ SO ₄] no milho sfr.	Calcário calcítico 2000 Kg.ha ⁻¹
4) 10 anos	PC, PD	GP, PD	NPK 08-28-16 (milho)	NPK 08-28-16 (trigo)	80 kg.ha ⁻¹ de N [(NH ₄) ₂ SO ₄] no milho	60 kg.ha ⁻¹ de N [(NH ₄) ₂ SO ₄] no trigo	Calcário calcítico 2000 Kg.ha ⁻¹	

¹ Ver.- Verão; Inv.- Inverno

²PD- Plantio direto; PDv- Plantio Direto Velho; PDn- Plantio Direto Novo; PC- Plantio Convencional; E- Escarificador; GP- Grade Pesada/ No inverno PC e E foram preparados com GP.

³ Milho sfr.- Milho safrinha

⁴ Nos ensaios 1, 3 e 4 a aplicação de calcário foi realizada a cada dois anos ou dependendo da necessidade de correção do solo (última aplicação: safra de verão 2004/2005).

Tabela 2. Sistemas de rotação de culturas adotados para o *Ensaio 2*, no período de 1997 a 2007.

Sistemas de rotações de culturas	Ver. 96/97	Inv. 97	Ver. 97/98	Inv. 98	Ver. 98/99	Inv. 99	Ver. 99/00	Inv. 00	Ver. 00/01	Inv. 01	Ver. 01/02	Inv. 02	Ver. 02/03	Inv. 03	Ver. 03/04	Inv. 04	Ver. 04/05	Inv. 05	Ver. 05/06	Inv. 06	Ver. 06/07
Rotação 1: trigo e soja contínuos	Sj	Tg	Sj																		
Rotação 2: soja contínua/aveia preta e trigo alternados	Sj	Tg	Sj	Av	Sj																
Rotação 3: Milho e soja (1:3) nabo forrageiro, aveia preta e trigo	Sj	Tg	Sj	Nb	MI	Av	Sj	Tg	Sj	Tg	Sj	Nb	MI	Av	Sj	Tg	Sj	Tg	Sj	Nb	MI
Rotação 4: milho e soja (1:3)/nabo e trigo (1:3) alternados	Sj	Tg	Sj	Nb	MI	Tg	Sj	Tg	Sj	Tg	Sj	Nb	MI	Tg	Sj	Tg	Sj	Tg	Sj	Nb	MI
Rotação 5: milho e soja/nabo forrageiro e trigo alternados	MI	Tg	Sj	Nb	MI																
Rotação 6: soja contínua/ aveia preta e trigo (3:1) alternados	Sj	Tg	Sj	Av	Sj	Av	Sj	Av	Sj	Tg	Sj	Av	Sj	Av	Sj	Av	Sj	Tg	Sj	Av	Sj
Rotação 7: milho e soja (1:3)/nabo forrageiro, aveia preta e trigo (1:2:1)	Sj	Tg	Sj	Nb	MI	Av	Sj	Av	Sj	Tg	Sj	Nb	MI	Av	Sj	Av	Sj	Tg	Sj	Nb	MI
Rotação 8: milho e soja (2:2)/nabo forrageiro, aveia preta e trigo (2:1:1) alternados	Sj	Tg	Sj	Nb	MI	Nb	MI	Av	Sj	Tg	Sj	Nb	MI	Nb	MI	Av	Sj	Tg	Sj	Nb	MI

¹Sj- Soja; Tg- Trigo; Av- Aveia preta; Nb- Nabo forrageiro; MI- Milho;

Tabela 3. Sistemas de manejo do solo e rotação/sucessão de culturas adotados para o *Ensaio 3* no período 1997 a 2007.

Manejos	Ver. 96/97	Inv. 97	Ver. 97/98	Inv. 98	Ver. 98/99	Inv. 99	Ver. 99/00	Inv. 00	Ver. 00/01	Inv. 01	Ver. 01/02	Inv. 02	Ver. 02/03	Inv. 03	Ver. 03/04	Inv. 04	Ver. 04/05	Inv. 05	Ver. 05/06	Inv. 06	Ver. 06/07	Inv. 07
PC ¹ (S) ²	Sj	Tg																				
PC (R1)	Sj	Tg	Sj	Tm	Ml	Av	Sj	Tg	Sj	Tg												
PC (R2)	Sj	Tg	Sj	Ml sfr.																		
PDv (S)	Sj	Tm	Ml	Av	Sj	Tg	Sj	Tm	Ml	Av	Sj	Tg										
PDv (R1)	Sj	Tm	Ml	Av	Sj	Tg	Sj	Tm	Ml	Av	Sj	Tg	Sj	Tg	Sj	Tm	Ml	Av	Sj	Tg	Sj	Tg
PDv (R2)	Sj	Tm	Ml	Av	Sj	Tg	Sj	Tm	Ml	Av	Sj	Tg	Sj	Tg	Sj	Ml sfr.						
PDn (S)	Sj	Tg																				
PDn (R1)	Sj	Tg	Sj	Tm	Ml	Av	Sj	Tg	Sj	Tg												
PDn (R2)	Sj	Tg	Sj	Ml sfr.																		

¹PC- Plantio convencional

PDv- Plantio direto velho com início em outubro de 1993

PDn- Plantio direto novo com início em outubro de 2003

²S: Sucessão

R1 e R2-Rotação

³ Tg- Trigo; Sj- Soja; Tm- Tremoço; Nb- Nabo forrageiro; Ml- Milho; Ml sfr- Milho safrinha; Av-

Tabela 4. Sistemas de rotação/sucessão de culturas adotados para o *Ensaio 4* no período de 1997 a 2007.

Rotações	Ver. 97/98	Inv. 98	Ver. 98/99	Inv. 99	Ver. 99/00	Inv. 00	Ver. 00/01	Inv. 01	Ver. 01/02	Inv. 02	Ver. 02/03	Inv. 03	Ver. 03/04	Inv. 04	Ver. 04/05	Inv. 05	Ver. 05/06	Inv. 06	Ver. 06/07	Inv. 07
1	MI ¹	Av	Sj	Tg	Sj	Tm	MI	Av	Sj	Av	Sj	Tg	Sj	Tm	MI	Av	Sj	Pousio	MI	Tg
2	Sj	Tm	MI	Av	Sj	Tg	Sj	Tm	MI	Tm	MI	Tg	Sj	Av	Sj	Tm	MI	Pousio	MI	Av
3	Sj	Tg	Sj	Tm	MI	Av	MI	Tg	MI	Av	MI	Tg	MI	Av	MI	Av	MI	Pousio	MI	Tg

¹MI- Milho; Sj- Soja; Tg- Trigo; Av- Aveia; Tm- Tremoço