

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**INDICADORES MICROBIOLÓGICOS E COMPARTIMENTOS DA
MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE
MANEJO NO CERRADO**

FABIANA FONSECA DO CARMO

**ORIENTADOR: MARIA GEROSA LUCRECIA RAMOS
CO-ORIENTADOR: CÍCERO CÉLIO DE FIGUEIREDO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

PUBLICAÇÃO: 27/2011

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**INDICADORES MICROBIOLÓGICOS E COMPARTIMENTOS DA MATÉRIA
ORGÂNICA DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NO
CERRADO**

FABIANA FONSECA DO CARMO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE/DOCTOR EM AGRONOMIA NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO DE PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL.

APROVADA POR:

**MARIA LUCRECIA GEROSA RAMOS, PhD, Professora Associada
(Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - Universidade de Brasília – FAV)
(ORIENTADORA) CPF: 002.094.438-12. E-mail: lucrecia@unb.br**

**EIYTI KATO, Doutor, Professor Adjunto
(Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - Universidade de Brasília – FAV)
(EXAMINADOR INTERNO) CPF: 143.483.571-53. E-mail: kato@unb.br**

**IÊDA DE CARVALHO MENDES, PhD
(Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados)
(EXAMINADOR EXTERNO) CPF: 393.403.761-53. E-mail:
mendesi@cpac.embrapa.br**

Brasília/DF, 31 de Março de 2011

FICHA CATALOGRÁFICA

DO CARMO, Fabiana Fonseca

Indicadores microbiológicos e compartimentos da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado. / Fabiana Fonseca do Carmo; Orientação: Maria Lucrecia Gerosa Ramos; Co-orientação: Cícero Célio de Figueiredo – Brasília, 2011. 89 p.

Dissertação de mestrado (M) – Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2011.

1. Qualidade do solo. 2. Consorciação de culturas. 3. Indicadores microbiológicos. 4. Matéria Orgânica

I. Ramos, M. L. G. II. Ph.D.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Carmo do, F. F. **Indicadores microbiológicos e compartimentos da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado.** Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília-Brasília, 2011; 89 p. (Dissertação de Mestrado em Agronomia).

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Fabiana Fonseca do Carmo

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Indicadores microbiológicos e compartimentos da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado.

GRAU: Mestre ANO: 2011

É concedido à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva os outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Fabiana Fonseca do Carmo

CPF: 723.467.871-91

(61) 92461062 E-mail: biagrounb@hotmail.com

“A mente que se abre a uma nova idéia jamais voltará ao seu tamanho original.”

Albert Einstein

Dedico a Deus, aos meus amados pais, irmã, mestres e amigos do coração.

AGRADECIMENTOS

A Deus e a nossa Senhora com todo meu coração pelo consolo, proteção e por conceder a chance de ser aquilo que escolhi, por ter confiado a mim o dom de “cuidar da terra” e por todas as coisas maravilhas que têm feito em minha vida.

*Aos meus Pais, minhas pérolas, queridos e amados, **Marlene e Petronílio**, por terem acreditado em mim, me apoiado, incentivado a cada momento desta jornada e por muitas vezes terem se sacrificado para me dar tudo o que precisei sendo o instrumento para concretizar o precioso dom que recebi de Deus: “a vida”.*

*À minha linda e querida irmã, **Adriana** pelo carinho, amizade, companhia.*

*A minha orientadora, **Lucrecia**, pelo apoio, paciência e incentivo, que tornaram possível a conclusão deste trabalho.*

*Ao meu co-orientador e amigo, **Cícero**, pela orientação amizade, apoio, e ensinamentos valiosos na minha vida profissional.*

Aos meus amigos queridos que Deus colocou em meu caminho ao longo desta jornada de curso: Ana Paula Reis, Bruno Tarchetti, Cecília Rodrigues, Cristina Gravina, Edivânio Araújo, Emanuelle Cardoso, Guilherme Leão, Larissa Sampaio, Marcelo Cobodevila, Marina Bilich, Wendel Lago, em especial a rainha do trigo: Ana Paula Boschinni, a rainha dos maracujás e tomates Carolina Coimbra, a rainha do remo, Flávia Nóbrega e a rainha das macaúbas Lidia Tarchetti, companheiras ímpares e amigas do meu coração.

Ao apoio técnico dos funcionários da fazenda Água Limpa e dos laboratórios de física do solo e bioquímica do solo.

A todos meus professores em especial, ao Sebastião Oliveira e ao Wenceslau Goedert, pelos grandes ensinamentos.

Ao REUNI- UnB, FAP-DF pela concessão da bolsa de estudo e financiamento do projeto e ao CNPq pelo financiamento do projeto..

A todos que de alguma forma, com palavras ou ações, contribuíram para realização desse trabalho, sou grata de coração!

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1 Sistema de plantio direto	2
2.2 Consorciação de forragens com culturas anuais.....	4
2.2.1 Forrageiras	7
2.3 Matéria orgânica	9
2.3.1. Fracionamento da matéria orgânica	12
2.4 Indicadores do solo.....	14
2.4.1. Indicadores biológicos	15
3. JUSTIFICATIVA.....	18
4. OBJETIVOS.....	19
4.1. Objetivos gerais	19
4.2. Objetivos específicos.....	19
5. HIPÓTESE.....	19
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20
CAPÍTULO 1	
1. INTRODUÇÃO	38
2. MATERIAL E MÉTODOS	39
2.1 Localização e caracterização da área experimental.....	39
2.2 Coleta das amostras de solo.....	42
2.3 Delineamento experimental.....	42
2.4 Análises dos indicadores bioquímicos.....	43
2.4.1 Respiração basal.....	43
2.4.2 Carbono da biomassa microbiana (CBM).....	44
2.4.3 Nitrogênio da Biomassa Microbiana (NBM).....	45
2.4.4 Carbono orgânico total.....	46

2.4.5 Nitrogênio total	46
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
2.1 Análises bioquímicas do solo	47
2.1.1 Respiração Basal	47
3.1.2 Carbono da Biomassa Microbiana	49
3.1.3 Carbono Orgânico	51
3.1.4 Nitrogênio da Biomassa	52
3.1.5 Nitrogênio Total	54
3.1.6. Nbm:Ntotal	55
3.1.7. Cmic:Corg	56
4. CONCLUSÕES	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
CAPÍTULO 2	
1. INTRODUÇÃO	71
2. MATERIAL E MÉTODOS	72
2.1 Localização e caracterização da área experimental	72
2.2 Amostragem do solo	74
2.3. Procedimentos analíticos	74
2.3.1 Fracionamento físico da matéria orgânica	74
2.4 Análise estatística	74
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
3.1 Efeitos dos tratamentos.....	75
3.1.1 Carbono orgânico total (COT)	76
3.1.2 Carbono orgânico particulado (COp).....	78
3.1.3 Carbono orgânico associado aos minerais (Coam).....	79
3.2 Relação dos teores de carbono entre sistemas de manejo e Cerrado nativo (ΔC).....	81
4. CONCLUSÕES.....	83

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 84

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.01	Análise química e granulométrica do solo antes da instalação do experimento, no ano de 2007.	40
Tabela 1.02	Valores de F da análise de variância para Respiração Basal (R.basal), carbono da biomassa microbiana (Cmic), carbono orgânico (Corg), nitrogênio da biomassa microbiana (Nmic), nitrogênio total (Ntotal), relação Nmic:Ntotal e relação Cmic:Corg, relacionado aos cinco tratamentos, quatro profundidades, três épocas e a interação entre eles.	47
Tabela 1.03	Respiração basal em solo do Cerrado, contendo os seguintes tratamentos: milho; <i>Brachiaria humidicola</i> ; <i>Panicum Maximum</i> cv aruana; milho + <i>Panicum Maximum</i> cv Aruana e milho+ <i>Brachiaria humidicola</i> . Os dados representam as médias das três épocas de amostragem em duas profundidades 0-10 e 10-20 cm.	48
Tabela 1.04	Carbono da biomassa microbiana em solo do Cerrado, contendo os seguintes tratamentos: milho; <i>Brachiaria humidicola</i> ; <i>Panicum Maximum</i> cv aruana; milho + <i>Panicum Maximum</i> cv Aruana e milho+ <i>Brachiaria humidicola</i> . Os dados representam as médias das três épocas de amostragem em duas profundidades 0-10 e 10-20 cm.	50
Tabela 1.05	Carbono orgânico em solo do Cerrado, contendo os seguintes tratamentos: milho; <i>Brachiaria humidicola</i> ; <i>Panicum Maximum</i> cv aruana; milho + <i>Panicum Maximum</i> cv Aruana e milho+ <i>Brachiaria humidicola</i> . Os dados representam as médias das três épocas de amostragem em duas profundidades 0-10 e 10-20 cm.	52
Tabela 1.06	Nitrogênio da biomassa microbiana em solo do Cerrado, contendo os seguintes tratamentos: milho; <i>Brachiaria humidicola</i> ; <i>Panicum Maximum</i> cv aruana; milho + <i>Panicum Maximum</i> cv Aruana e milho+ <i>Brachiaria humidicola</i> . Os dados representam as médias das três épocas de amostragem em duas profundidades 0-10 e 10-20 cm.	53
Tabela 1.07	Nitrogênio total em solo do Cerrado, contendo os seguintes tratamentos: milho; <i>Brachiaria humidicola</i> ; <i>Panicum Maximum</i> cv aruana; milho + <i>Panicum Maximum</i> cv Aruana e milho+ <i>Brachiaria humidicola</i> . Os dados representam as médias das três épocas de amostragem em duas profundidades 0-10 e 10-20 cm.	54
Tabela 1.08	Relação Nmic:Ntotal em solo do Cerrado, contendo os seguintes tratamentos: milho; <i>Brachiaria humidicola</i> ; <i>Panicum Maximum</i> cv aruana; milho + <i>Panicum Maximum</i> cv Aruana e milho+ <i>Brachiaria humidicola</i> . Os dados representam as médias das três épocas de amostragem em duas profundidades 0-10 e 10-20 cm.	56
Tabela 1.09	Relação Cmicrobiano sobre o Corganico em solo do Cerrado, contendo os seguintes tratamentos: milho; <i>Brachiaria humidicola</i> ; <i>Panicum Maximum</i> cv aruana; milho + <i>Panicum Maximum</i> cv Aruana e milho+ <i>Brachiaria humidicola</i> . Os dados representam as médias das três épocas de amostragem em duas profundidades 0-10 e 10-20 cm.	57
Tabela 2.01	Caracterização química e física do solo no ano referente às análises, ano de 2008.	73

Tabela 2.02	Valores de F da análise de variância para carbono orgânico total (COt), carbono orgânico particulado (COp), carbono orgânico associado aos minerais (Coam), relacionado aos cinco tratamentos e quatro profundidades e a interação entre eles.	76
Tabela 2.03	Teores de carbono orgânico Total – Cot nos sistemas com consorciação e cultura anual.	77
Tabela 2.04	Teores de carbono orgânico particulado (Cop) em sistemas com consorciação e cultura anual.	78
Tabela 205	Teores de Carbono orgânico associado aos minerais (Coam) nos sistemas com consorciação e cultura anual.	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Registro fotográfico da área experimental com consorciação de milho e <i>Panicum maximum</i> cv. Aruana.	5
Figura 2	Representação de pastagem de <i>Brachiaria humidicola</i> .	8
Figura 3	Representação da pastagem e inflorescência do <i>Panicum maximum</i> cv. Aruana.	9
Figura 4	Localização geográfica da área experimental dentro do contexto estadual e nacional.	39
Figura 5	Precipitação média mensal nos anos de 2008 e 2010 coletados da Estação meteorológica automática da fazenda Água Limpa – Universidade de Brasília, referentes às épocas de coleta de solo para as determinações referentes ao estudo.	40
Figura 6	Desenho experimental. Parcelas contendo os tratamentos e repetições: 1) milho (híbrido BR 20 20); 2) <i>Brachiaria humidicola</i> ; 3) <i>Panicum maximum</i> cv Aruana; 4) milho consorciado com capim <i>Panicum maximum</i> cv Aruana e; 5) milho consorciado com <i>Brachiaria humidicola</i> .	41
Figura 7	a) Representação do Trado holandês, utilizado na coleta das amostras de solo; b) amostragem de solo; c) homogeneização das subamostras para formação de uma amostra de solo e d) amostras de solos acondicionadas em sacos plásticos para posterior armazenamento em câmara fria.	42
Figura 8	Registro fotográfico de parte da metodologia utilizada na análise da respiração basal do solo.	44
Figura 9	Registro fotográfico de parte da metodologia utilizada na análise do carbono da biomassa do solo.	45
Figura 10	Acréscimo e decréscimo de carbono nas diferentes frações da matéria orgânica sob sistemas de cultivo em relação ao Cerrado nativo.	82

INDICADORES MICROBIOLÓGICOS E COMPARTIMENTOS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NO CERRADO

Resumo Geral

Estudos relacionados com a sustentabilidade de sistemas de produção agrícola têm enfatizado a importância das práticas de manejo do solo nas propriedades biológicas e bioquímicas do mesmo. Neste sentido, o teor e a dinâmica da matéria orgânica constituem-se indicadores que representam a qualidade do solo, podendo ser então alterados com as práticas de manejo adotadas. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes sistemas de manejo nos indicadores bioquímicos e nas frações da matéria orgânica do solo. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Água Limpa, da Universidade de Brasília. O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso com três repetições e cinco tratamentos (sistemas de cultivos). Os tratamentos foram os seguintes: Milho solteiro; *Brachiaria humidicula*; *Panicum maximum* cv Aruana; Milho + *Brachiaria humidicula* e Milho + *Panicum maximum* cv Aruana. Os indicadores microbiológicos (respiração basal, o carbono e nitrogênio da biomassa, nitrogênio total, carbono orgânico, relação Nmic:Ntotal e relação Cmicrobiano e o Corgânico (Cmic: Corg)) do solo foram analisados ao longo de um período de três anos, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Os teores de carbono orgânico total, carbono orgânico particulado e carbono orgânico associado aos minerais do solo foram determinados nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm, apenas em um período e os acréscimos e reduções desses teores comparando os resultados obtidos com uma área de Cerrado Nativo. Verificou-se que as frações da matéria orgânica nos sistemas com consorciação de culturas e forragens ocasionaram efeitos nos diferentes compartimentos da matéria orgânica. O C da matéria orgânica particulada mostrou-se mais sensível em detectar as mudanças nos sistemas de manejo utilizados. Verificou-se também que o carbono da biomassa microbiana do solo e a respiração basal foram maiores nos consórcios milho e forrageiras. Houve aumento da atividade microbiana do solo nos sistemas de consorciação e na primeira profundidade. A relação Cmic: Corg apresentou maior valor nos sistemas em consórcio e mostrou que no sistema em consorciação a qualidade da matéria orgânica foi melhor.

Palavras-chave: consorciação de culturas, frações da matéria orgânica, indicadores bioquímicos, qualidade do solo.

MICROBIOLOGICAL INDICATORS AND SOIL ORGANIC MATTER FRACTIONS ON DIFFERENT SOIL MANAGEMENT IN CERRADO

General Abstract

Studies related to the sustainability in systems agricultural production have emphasized the importance of management practices on soil properties. In this sense, the content and dynamics of soil organic matter are indicators that represent the soil quality, which may be changed with management practices adopted. This study aimed to evaluate the effect of different management systems in microbiological indicators and soil organic matter fractions. The experiment was conducted at the Experimental Farm Água Limpa, University of Brasilia. The experiment was conducted in randomized blocks with three replications and five treatments (cropping systems). The treatments were: maize; *Brachiaria humidicula*; *Panicum maximum* cv Aruana; maize + *Brachiaria humidicula*, maize and *Panicum maximum* cv. Aruana. Several soil microbiological indicator were studied for a periodo of three years (basal respiration, carbon and nitrogen biomass, total nitrogen, organic carbon, compared Nmic:NT and the relation Cmicrobiano Corgan (Cmic: OC)) . Soil samples were collected at 0-10 and 10-20 cm. The levels of total organic carbon, particulate organic carbon and organic carbon associated with soil minerals were determined at 0-5, 5-10, 0-20 and 20-30 cm, in only one period and the increases and reductions of these levels were compare to results of a a Native Cerrado area. Soil microbial biomass and soil basal respiration were higher in the intercropping maize and forages. There was an increase of microbial activity in soil and in intercropping systems in the first depth. The Cmic: CO showed to be higher in intercropping systems and showed also that in the intercropping system the organic matter quality was higher. It was found that the fractions of organic matter in intercropping systems with others maize resulted in different effects of organic matter pools. The C organic particulate was more sensitive in detecting changes in management systems.

Key words: intercropping, organic matter fractions, biochemical indicators, soil quality.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Práticas agrícolas que visam menor degradação do solo e maior sustentabilidade na agricultura têm recebido atenção crescente, tanto por parte dos pesquisadores como dos agricultores.

O monocultivo e práticas culturais inadequadas têm causado perda de produtividade, degradação do solo e dos recursos naturais. Sistemas contínuos com monocultivos aumentam a ocorrência de pragas e doenças, e perdas do solo, causando inúmeros prejuízos.

A diversificação de culturas e a introdução de plantas com alto teor de massa vegetal favorecem o incremento de carbono adicionado ao solo. No sistema de rotação e, consorciação de culturas as variadas espécies podem ter efeitos diferenciados no acúmulo de carbono, pela ação diferenciada do sistema radicular, pela quantidade de resíduos deixados no solo ou pela velocidade de decomposição desses resíduos.

A matéria orgânica do solo engloba os resíduos vegetais em estágios variados de decomposição, a biomassa microbiana, as raízes e a fração mais estável, denominada húmus, as quais influenciam nas características químicas, físicas e biológicas do solo (Bragagnolo & Mielniczuk, 1990). E entre as características inerentes ao solo, afetadas pela matéria orgânica, destacam-se a disponibilidade de nutrientes para as culturas, a CTC e a complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, agregação de partículas do solo, entre outros (Fageria & Baligar, 2008).

Em áreas de clima tropical, como no Cerrado, as altas temperaturas e alta umidade durante o período chuvoso favorecem a rápida mineralização da matéria orgânica. Já o período de longa estiagem, que vai de maio a setembro desfavorece a produção de matéria seca pelas espécies utilizadas como cobertura do solo. Desta forma, se faz necessário desenvolver e implantar sistemas de consorciação de culturas no intuito de aumentar a adição de C ao solo com o mínimo revolvimento possível para reduzir a taxa de mineralização da matéria orgânica.

Os microrganismos podem ser utilizados como sensíveis bioindicadores da qualidade do solo. Segundo Doran e Parkin (1994), bioindicadores são propriedades ou processos biológicos dentro do solo que indicam o estado deste ecossistema, podendo ser utilizados no biomonitoramento da qualidade do solo. Biomonitoramento é a medida da resposta de organismos vivos a mudanças no seu ambiente (Wittig, 1993).

Os microrganismos decompõem a matéria orgânica, liberam nutrientes em formas disponíveis às plantas e degradam substâncias tóxicas (Kennedy e Doran, 2002). E ainda,

alterações na população e na atividade microbiana podem preceder mudanças nas propriedades químicas e físicas, refletindo sinal na melhoria ou na degradação do solo.

D'Andrea et al. (2002) observaram alterações em alguns indicadores biológicos do solo pela adoção de diferentes sistemas de manejo na redução nos teores de carbono microbiano com a adoção de pastagem e plantio convencional, comparado com o sistema plantio direto e a mata nativa. O mesmo comportamento foi observado por Santos et al (2004) que verificaram que o sistema plantio direto, comparado ao plantio convencional, proporcionou aumentos na atividade e biomassa microbiana do solo.

O preparo de solo e o manejo de culturas afetam as taxas metabólicas dos microrganismos nos processos de decomposição dos resíduos vegetais e da matéria orgânica no solo (MOS), as quais também são influenciadas pela temperatura e umidade do solo (La Scala Jr. et al., 2006).

A matéria orgânica do solo (MOS) é um bom indicador de qualidade do solo. Mielniczuk (1999) considera a MOS como o atributo que melhor representa a qualidade do solo, devido a sua sensibilidade às práticas de manejo. O declínio dos estoques de MOS ao longo do tempo, está intimamente ligado a um manejo inadequado.

A avaliação de compartimentos da MOS, como a particulada, pode ser uma alternativa de incremento da sensibilidade (Freixo, 2000; Bayer et al., 2002). Esta fração desempenha importante função na ciclagem de nutrientes, podendo ser considerada uma fração lábil no solo.

Desta forma, a biomassa microbiana do solo, a matéria orgânica mineralizável, o carbono orgânico particulado, são frações lábeis da matéria orgânica do solo e com maior sensibilidade quanto à detecção do efeito de manejo na qualidade do solo (Ladd et al., 1993).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes sistemas de manejo nos indicadores bioquímicos e nas frações da matéria orgânica do solo.

2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistema de plantio direto

Uma das principais metas no estudo e na pesquisa em manejos de solos é desenvolver sistemas de manejos adaptados às condições edafoclimáticas, sociais e culturais regionais buscando práticas voltadas à sustentabilidade, contribuindo para a manutenção ou melhoria da

qualidade do solo e do ambiente e também obtenção da produtividade das culturas em longo prazo.

O sistema de plantio direto é considerado uma prática agrícola capaz de acumular carbono e aumentar a sustentabilidade dos agroecossistemas em regiões temperadas e tropicais (Bayer et al., 2006; Metay et al., 2007).

O Brasil possui a segunda maior área plantada sob sistema de plantio direto no mundo. Segundo dados da FEBRPDP (2009), o sistema de plantio direto ocupou uma área de 25 milhões de hectares em 2006, tornando-se o sistema mais difundido entre os sistemas conservacionistas. E segundo dados da CONAB (2009), este sistema ocupou 32 milhões de hectares em todo território nacional, ou 70% das lavouras de grãos em novembro de 2009.

Uma das características marcantes deste sistema é o aumento no teor de matéria orgânica na camada superficial do solo, com o decorrer do tempo de implantação. Este fato é consequência da taxa de decomposição de palha mantida na superfície do solo ser menor do que se fosse incorporada ao solo, com consequente aumento no estoque do MOS, dependente de fatores como: quantidade de palha, tipo de rotação ou consorciação de cultura adotada, grau de revolvimento do solo, clima da região.

No sistema de plantio direto o não revolvimento do solo, e a manutenção dos resíduos vegetais como cobertura do solo, contribui no estímulo da biomassa microbiana do solo favorecendo a decomposição dos resíduos, gerando um fluxo contínuo de carbono e nitrogênio alterando os compartimentos da matéria orgânica do solo, tendo como um dos seus manejos a prática de consorciação de culturas. Desta forma, para adoção desta prática conservacionista é de grande importância a escolha adequada da cobertura vegetal sobre a superfície do solo antes da implantação da cultura (Alvarenga et al., 2001).

Para a recuperação de solos degradados, indicam-se a rotação de culturas que consiste em alternar, anualmente, espécies vegetais, numa mesma área agrícola. A utilização de lavouras de grãos e pastagens anuais, em um sistema de integração, tem sido durante muito tempo uma prática cultural no processo de recuperação ou renovação de pastagens cultivadas. O sistema, conhecido como Integração Lavoura-Pecuária (ILP), tem sido recomendado pela pesquisa aos agricultores que buscam diversificar os sistemas de produção e superar os problemas advindos de cultivos anuais sucessivos, como plantas invasoras, doenças, e perda da qualidade do solo. (Zanine, 2006).

Para Trecenti (2008) os principais objetivos da integração Lavoura Pecuária são citados as seguir relacionadas ao solo são:

- Recuperação ou reforma de pastagens degradadas:

Este é o principal objetivo da integração. Nesse sistema, as lavouras são utilizadas a fim de que a produção de grãos pague, pelo menos em parte, os custos da recuperação ou da reforma das pastagens. Na área da pastagem degradada cultiva-se grãos por um, dois ou mais anos e, depois, volta-se com a pastagem, que vai aproveitar os nutrientes residuais das lavouras na produção de forragem.

- Melhorar as condições físicas e biológicas do solo com a pastagem na área de lavoura: As pastagens deixam quantidades apreciáveis de palha sobre o solo e de raízes no perfil do solo. Isso tende a aumentar a matéria orgânica, que é fundamental na melhoria da estrutura física do solo. Ela também é fonte de carbono para os microrganismos do solo. Além disso, a decomposição das raízes cria uma rede de canaliculos no solo de importância nas trocas gasosas e uma movimentação descendente de água. Esse novo ambiente, criado no solo pela ILP, é fundamental para impactar positivamente tanto a sua sustentabilidade quanto a produtividade do sistema agropecuário.

- Recuperar a fertilidade do solo com a lavoura na área de pastagens degradadas:

A correção química do solo e a adubação para cultivo de lavouras recuperam a fertilidade do solo, aumentando a oferta de nutrientes para o pasto e, por conseguinte, o seu potencial de produção (Alvarenga, 2001).

- Produzir pasto, forragem conservada e grãos para alimentação animal na estação seca: Além da produção de silagem e de grãos, a ILP possibilita que a pastagem produzida no consórcio seja utilizada durante a estação seca. A correção do perfil de solo proporciona melhor desenvolvimento do sistema radicular da forrageira que, assim, aprofunda-se no perfil e absorvem água a maiores profundidades, conferindo ao solo maior persistência durante a estação seca.

2.2 Consorciação de forragens com culturas anuais

O monocultivo e práticas culturais inadequadas têm causado perda de produtividade, degradação do solo e dos recursos naturais.

Dos 204,7 milhões de hectares da região do Cerrado, (Sano et al., 2008) estimaram que aproximadamente 54.006.770 milhões são ocupados por pastagens cultivadas. Atualmente, estima-se que entre 70 e 80% das pastagens cultivadas são consideradas de baixa produtividade e encontra-se em algum estágio de degradação (Corazza, 2002).

A consorciação de culturas consiste em cultivar, espécies vegetais numa mesma área agrícola. Para a recuperação de solos degradados, indicam-se espécies que produzam grande

quantidade de massa verde e tenham abundante sistema radicular (EMBRAPA, 2009) (Figura 1).

Busca-se promover com a introdução de plantas de cobertura juntamente com as culturas de lavouras a proteção para o solo contra a erosão, através da manutenção dos resíduos culturais sobre o solo (Weber & Mielniczuk, 2009); ciclagem de nutrientes, em especial o nitrogênio diminuindo as perdas por lixiviação (Kramberger et al., 2009); melhoria dos atributos relacionados a física do solo, aumentando a macroporosidade, diminuindo a resistência do solo a penetração e aumentando a infiltração de água (Nicoloso et al., 2008), aumento na atividade microbiana do solo (Silva et al., 2006) entre outros benefícios que interagem promovendo a melhoria na qualidade do solo.



Figura 1. Registro fotográfico da área experimental com consorciação de milho e *Panicum maximum* cv. Aruana (Do Carmo, F. F).

A consorciação com lavouras é uma alternativa viável na melhoria dos solos degradados cultivados com pastagem. Este manejo aumenta a produção de massa vegetal e correção das deficiências químicas do solo. Machado et al. (1999) observaram em experimentos conduzidos em Mato Grosso do Sul, aumentos expressivos na produtividade das pastagens com brachiaria quando em consorciação com soja, com ciclos de dois anos.

Fabrizio & Salton (1999) observaram aumento na MOS de 30 para 40 g Kg ha⁻¹ na camada superficial do solo (0-5cm) no período de 2 anos de pastagem e 1 ano de lavoura.

Esse sistema de cultivo é eficiente no aumento do teor de matéria orgânica do solo, na proteção que as espécies promovem contra a erosão, proporcionando maior retenção de água e menor variabilidade térmica do solo (Nascimento et al., 2003).

Argenton et al. (2005) observaram que a introdução de plantas de cobertura intercalar ao milho, provocou aumento na macroporosidade, porosidade total, e condutibilidade hidráulica além de reduzir a densidade do solo, demonstrando assim, esta prática ser benéfica às propriedades relacionadas com a estruturação do solo.

Williams & Weil (2004) demonstraram que o uso de centeio comparado a outras plantas de cobertura foi mais eficiente em manter a umidade do solo na cultura da soja em cultivo subsequente, evitando a evapotranspiração, devido à maior quantidade de palhada produzida sobre o solo. Além de relatarem que o uso do consórcio de nabo forrageiro e centeio proporcionou maior produtividade a cultura da soja devido à menor resistência a penetração das raízes proporcionada pelos canais deixados pela cultura do nabo.

Lovato et al. (2004) verificaram, após treze anos cultivando diferentes plantas de cobertura no inverno e milho no verão, que os resíduos deixados pelo milho foram os grandes responsáveis pela adição de C ao solo.

Alguns princípios são adotados no planejamento de consorciação de culturas: cultivos de espécies de plantas com habilidade diferenciada para absorver nutrientes do solo, com sistemas radiculares alcançando profundidades diferentes; cultivos de espécies de plantas suscetíveis a pragas e doenças com aquelas resistentes; alternar o uso de cultivos que tendem a contribuir para o esgotamento do solo com aqueles que contribuem para o aumento da fertilidade (Derpsch, 1998).

A combinação de pastagens perenes com culturas anuais para a produção de grãos apresenta uma eficiência na manutenção da estrutura físico-química do solo, favorecendo o desenvolvimento das plantas, pois as espécies com sistemas radiculares densos e diferentes morfologias promovem maior ciclagem de nutrientes e favorecem a supressão de doenças. Além disso, em consórcio com as leguminosas, estas fixam nitrogênio do ar favorecendo as gramíneas (Santos et al., 2001).

Jantalia et al. (2006) verificaram que há maior acúmulo de carbono no solo nos sistemas em consorciação de culturas utilizando leguminosas ao longo dos anos e a maior produtividade da cultura se dá pelo maior aporte de N no solo como resultado da decomposição dos resíduos e pela fixação biológica de N² atmosférico.

As leguminosas quando utilizadas no sistema de consorciação apresentam uma importante característica, a baixa relação C/N que juntamente com a presença de compostos solúveis favorece a decomposição e mineralização por microrganismos do solo e a ciclagem de nutrientes. Estas constituem como importante fonte de N ao solo, por se associarem

simbionticamente com bactérias que fazem a transformação do N₂ atmosférico em NH₃⁺ no processo de fixação biológica de nitrogênio (Silva et al., 2006).

Dybzinski et al. (2008) observaram aumento na fertilidade de solos com maior diversidade de espécies. E os autores atribuíram essa resposta a uma combinação de efeitos aditivos e interações entre diferentes grupos funcionais, levando à maior disponibilidade e retenção de nitrogênio.

Kaschuk et al. (2009) comentaram que não é clara a relação entre consorciação de culturas no Brasil e melhoria nos atributos biológicos do solo, que seriam detectados apenas em estudos de longo-prazo. Por outro lado, esses autores comentam que há fortes evidências de mudanças qualitativas nas comunidades microbiológicas, com efeitos globais positivos na produtividade agrícola.

2.2.1 Forrageiras

As forrageiras tropicais reciclam os nutrientes do subsolo, repõem a matéria orgânica graças à abundância e agressividade de seus sistemas radiculares e da atividade biológica decorrente. Além disso, as gramíneas forrageiras são altamente resistentes à maior parte das pragas e doenças e, por isto, podem quebrar os ciclos dos agentes bióticos e abióticos nocivos às plantas cultivadas (Kluthcouskiet al., 2003).

Na região do Cerrado, há acelerada decomposição da palhada devido a elevadas temperaturas e alto índice pluviométrico (Alvarenga et al., 2001). Desta forma uma alternativa é a utilização de plantas de cobertura com elevada produção de resíduos tendo assim menor velocidade de decomposição, mantendo os resíduos vegetais sobre o solo por mais tempo (Ceretta et al., 2002).

Na produção de pastagem, as braquiárias, em geral, têm se mostrado como plantas de elevado potencial de produção de matéria seca (15 t/ha/ano). Também apresentam alta capacidade de produção de raízes, proporcionando uma área de maior absorção de nutrientes em solos de baixa fertilidade ou submetidos a estresses hídricos (Valle et al., 2001).

A espécie *Brachiaria humidicola*, pertencente à Família Poaceae, é originária da África Equatorial apresenta como características: alta capacidade de adaptação a vários tipos de solos, especialmente, os solos de baixa fertilidade e alto grau de erodibilidade (Wenzl et al., 2002) e alto nível de umidade. As folhas são verde-pálidas e fortemente denticuladas nas margens. São plantas perenes, de 40-80 cm de altura podendo atingir 1 metro. Promovem

rápida cobertura do solo, pela sua rápida habilidade de enraizamento por apresentarem estolões finos e fortes. É conhecida com os seguintes nomes comuns: capim agulha, espetudinha, grama do Pará, braquiárinha, quicuiu da Amazônia (Lorenzi, 2000) (Figura 2).



Figura 2. Representação de pastagem de *Brachiaria humidicola*.

A brachiaria mostra-se eficiente no acúmulo de C no solo comparado a áreas de cerrado nativo, devido seu sistema radicular abundante e volumoso, com contínua renovação e expressivo efeito rizosférico (D'Andrea et al., 2004).

O capim Aruana (*Panicum maximum* cv. IZ-5) é um cultivar do colômbiano que foi introduzido no Brasil através de sementes provenientes da África. Apresenta como características: alta produtividade de forragem, com 35 a 40% da produção anual ocorrendo no "inverno" (período seco do ano), porte médio (adequado ao ovino), atingindo aproximadamente 80 cm de altura, grande capacidade e rapidez de perfilhamento, com um bom número de gemas basais rebrotando após cada ciclo de pastejo, boa capacidade de ocupação da área de pasto, não deixando áreas de solo descoberto, evitando o praguejamento e auxiliando no controle da erosão, consorcia-se bem com as leguminosas soja-perene, estilósantes e possui excelente aceitabilidade pelos animais – bovinos, equinos e ovinos.



Figura 3. Representação da pastagem e inflorescência do *Panicum maximum* cv. Aruana.

Ghisi et al. (1989) constataram, entre seis cultivares de *Panicum maximum* estudados que o cultivar Aruana apresenta melhor distribuição anual de produção de massa seca. E estudos realizados por Cunha et al. (1999), demonstraram que o capim Aruana tem produzido aproximadamente 15 Mg MS ha⁻¹ aos 50 dias de vegetação, elevada resistência ao pisoteio, e ótima produção de sementes, em média 200 Kg ha⁻¹.

2.3 Matéria orgânica

A matéria orgânica é a fração do solo composta por qualquer material orgânico, resto de plantas, animais e organismos, apresentando-se em todos os estágios de decomposição (Vilela et al., 2004), e é formada principalmente por carbono (C), oxigênio (O), hidrogênio (H), fósforo (P) e enxofre (S). Além de promover a estruturação do solo, aumenta a capacidade de acúmulo de água, fornece nutrientes para as plantas, e evita a perda de fertilizantes pelo processo de lixiviação.

A maior parte da matéria orgânica do solo (MOS), independentemente do sistema de cultivo, está ligada a fração mineral do solo, 78 a 96% de C, e as maiores concentrações, 60 a 95%, são encontradas na fração silte e argila, que fazem a proteção da MOS. Este processo de proteção da MOS apresenta dois mecanismos: a interação da matéria orgânica e a superfície das partículas de argila, através de pontes de cátions, ligações de hidrogênio, interações eletrostáticas e de van der Waals, e o segundo mecanismo é a oclusão da MOS nos agregados do solo (Bayer et al., 2002).

Para o incremento dos estoques de carbono no solo, a proteção física pela fração mineral é fundamental. O material orgânico protegido pela fração mineral e microrganismos,

formam os agregados. A matéria orgânica no interior dos agregados torna-se mais recalcitrante, formando complexos orgâno-minerais (Wiseman & Puttmann, 2006).

Segundo Silva et al. (2006) a MOS é dividida em diferentes compartimentos: Fração leve, composta por resíduos de plantas em vários estágios de decomposição e localizados no interior do solo; Biomassa Microbiana, que é a matéria orgânica presente no solo como tecido microbiano vivo; Substâncias não húmicas, formadas por compostos orgânicos que estão presentes no solo, pertencentes a classe de componentes como carboidratos, aminoácidos, gorduras, resinas e ácidos orgânicos de baixo peso molecular.

A matéria orgânica apresenta-se como um importante indicador da qualidade da condição do solo. Está envolvida e relacionada com várias propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, sendo necessário o seu conhecimento multifuncional a cerca da qualidade do solo (Carter, 2002). Além de, responder a forma de manejo e preparo do solo.

O acúmulo de MOS favorece o aumento da CTC, além de melhorar a estabilidade dos agregados, diminuindo dessa forma os agentes nocivos do processo erosivo. Atua sobre outros atributos, tais como: ciclagem de nutrientes, complexação de elementos tóxicos e estruturação do solo (Santos et al., 2004; Conceição et al., 2005).

Mielniczuk (1999) aponta que o acúmulo e armazenamento da MOS como um dos principais atributos relacionados a qualidade do solo. É utilizada como um indicador por ser altamente sensível ao sistema de manejo adotado e correlacionar-se com a maioria dos atributos relacionados a qualidade do solo.

Segundo Franzluebbbers (2002), os sistemas de manejos do solo e dos resíduos culturais influenciam os teores de matéria orgânica, e nos sistemas onde há revolvimento mínimo do solo, há maior teor de matéria orgânica e maior concentração na superfície.

A utilização do sistema de plantio convencional, resulta na diminuição dos teores de MOS, devido o seu grande revolvimento do solo com arações, gradagens e escarificações que estimulam a oxidação da MOS por parte da biomassa microbiana do solo (Paustian et al., 2000; Lal, 2002).

Corrêa (2002) observou em Latossolo Vermelho que houve redução de 43% nos teores de MOS (0-15 cm) sob sistema de plantio convencional em relação ao solo sob cerrado nativo após 5 anos de uso.

Oliveira et al. (2004) em Latossolo Vermelho do Distrito Federal e em vegetação natural sob Cerrado, verificaram maior acúmulo de matéria orgânica quando foi utilizado plantio direto por 20 anos com soja , milho e arroz, comparado a um sistema convencional e

preparo do solo. Os autores observaram teores de C superiores nas camadas de 0-5 e 5-10 cm do solo para o sistema de plantio direto.

Metay et al. (2007), avaliando diferentes sistemas de manejo em Latossolo do Cerrado, verificaram maior estoque de carbono no solo (0-20 cm) sob sistema de plantio direto em relação ao sistema de plantio convencional, com 11 e 24 anos de implantação respectivamente, e o acúmulo anual de carbono no sistema de plantio direto (SPD) foi de 0,35 Mg C ha⁻¹.

Bayer et al. (2006) também relatou, estudando o acúmulo de C em Latossolo Vermelho do Cerrado, maior estoque de C (0-20 cm) em SPD com 5 anos de implantação (57,3 Mg C ha⁻¹) em relação ao solo sob vegetação nativa (54,0 Mg C ha⁻¹) e sob sistema de plantio convencional (54,3 Mg C ha⁻¹).

Áreas sob pastagens quando bem manejadas, promovem benefícios ao solo. As gramíneas do gênero *braquiaria* são as principais espécies cultivadas na região Centro-Oeste devido a sua adaptabilidade as condições climáticas e grande produção de fitomassa (Klutcoust et al., 2003).

Roscoe et al. (2001) em solo de Cerrado, não observaram diferenças significativas no estoque de MOS comparando vegetação natural e pastagem de *Brachiaria spp.* em Latossolo muito Argiloso de Minas Gerais. Os autores atribuíram estes resultados a elevada produção de compostos orgânicos pelas pastagens e a proteção da MOS proporcionada pelo elevado teor de argila.

Silva et al. (2004) estudando o armazenamento de C em Latossolos Argilosos, encontraram após período de 4 a 8 anos na profundidade de 1m variação no estoque de C na faixa de 97,1 a 113,0 Mg ha⁻¹ e maior acúmulo foram obtidos nas espécies de *Panicum maximum*, *B. brizantha* e *Paspalum atratum*.

Lilienfi et al. (2003), comparando pastagens de *Braquiaria decumbens*, verificaram que os teores de carbono no solo (0-15cm) foram maiores em pastagens de alta em relação as de baixa produtividade, com 27 e 22 g Kg⁻¹, respectivamente. Desta forma, observa-se que o acúmulo de C no solo através de pastagens pode ocorrer em baixa intensidade quando ocorrem limitações a produtividade das plantas, em áreas de pastagens degradadas, sendo o acúmulo de C no solo prejudicado.

Lal (2002) atribui a capacidade de armazenamento de MOS ao sistema radicular das pastagens, que pode ser potencializada com a utilização de adubação como demonstrado em Shunke (2000) que verificou aumento da massa seca em pastagem de *B. decumbens* no Mato Grosso do Sul, utilizando fósforo e potássio na adubação, o que promoveu um incremento de

0,9 Mg ha⁻¹. Nos cerrados a adubação das pastagens é de grande importância sendo uma medida para aumentar a produtividade vegetal (Macedo, 2005).

A dinâmica da MOS nos agroecossistemas, está associada a proteção física no interior dos agregados do solo, resultado da interação entre as frações minerais e orgânicas do solo que conjuntamente promovem o acúmulo da MOS (Six et al., 2002).

A adição de matéria orgânica ao solo apresenta efeitos condicionadores e efeitos sobre os nutrientes como: elevação da capacidade de troca catiônica; maior agregação das partículas do solo, como consequência diminuição nos processos de erosão; aumento da capacidade de retenção de água; redução da plasticidade e coesão do solo favorecendo desta forma as operações de preparo e aumento na disponibilidade de nutrientes através da mineralização (Comissão de Fertilidade do Solo de Minas Gerais, 1999).

A partir da grande relevância da matéria orgânica para solos tropicais, sua manutenção ou incremento é de fundamental importância para a produtividade agrícola desses solos.

2.3.1. Fracionamento da matéria orgânica

A MOS pode ser encontrada em partículas individuais de materiais parcialmente decompostos de plantas e animais e não associadas aos minerais do solo, ou adsorvidas aos agregados do solo.

Segundo Wander (2004) as frações da matéria orgânica podem ser classificadas como:

- MOS lábil ou ativa: Apresenta em sua composição material fresco e organismos vivos, com altos teores de nutrientes e energia e, portanto, tem meia vida de dias ou até poucos anos. Esta fração não está protegida fisicamente, e está presente na formação de macroagregados na superfície do solo (biomassa microbiana, compostos como polissacarídeos e carboidratos). São chamadas de substâncias não húmicas, correspondente aos compostos mais facilmente degradados por microrganismos.

- MOS intermediária ou pouco transformada: É composta por resíduos parcialmente decompostos, compostos amínicos, glicoproteínas, e alguns compostos húmicos solúveis em ácido/base. Apresenta período de meia vida de poucos anos até décadas.

- MOS recalcitrante, estável ou inerte: Formada por macromoléculas alifáticas, ligninas, substâncias húmicas de alto peso molecular como a humina. Por estar bioquimicamente estável fortemente adsorvida à superfície dos minerais do solo, apresenta meia vida de décadas e até séculos. São substâncias húmicas com estruturas muito complexas ou macromoléculas.

As substâncias húmicas são formadas via processo de humificação, que são transformações de reservas macromorfologicamente identificáveis em compostos húmicos amorfos. Este processo é caracterizado por alterações nas estruturas químicas dos resíduos orgânicos e controlados pela temperatura, umidade, pH e disponibilidade de nutrientes. Durante estas transformações, há aumento de carbono carboxílico (principalmente grupos fenólicos) e decréscimo na concentração de C-Oalquil (provenientes de açúcares e polissacarídeos), aumentando desta à resistência da matéria orgânica a biodegradação (Zech et al., 1997).

Em solos cultivados, devido à grande perturbação da estrutura do solo, há a ruptura dos agregados, favorecendo a acessibilidade dos substratos orgânicos pelos microrganismos, quando comparados a solos não cultivados. Entretanto práticas conservacionistas protegem o solo através dos resíduos culturais e a maior concentração de matéria orgânica na superfície promove menores taxas de ruptura dos macroagregados (Balesdent et al., 2000).

Em situações de histórico de curto período de manejo, as variações nos conteúdos de carbono e nitrogênio do solo, não são suficientes para que se possam diferenciar os tipos de manejos aplicados ao solo. Desta forma o fracionamento da matéria orgânica em seus compartimentos apresenta-se como alternativa para incremento de sensibilidade (Conceição et al., 2005).

De acordo com Cheng e Kimble (2001), diversas técnicas de fracionamento físico e químico têm sido desenvolvidas com a finalidade de separar e isolar frações de carbono orgânico total do solo (COT).

Quanto à fração química do solo, as substâncias húmicas tem sido objeto de estudos devido sua relação com as propriedades físico-química dos solos e interação com metais e compostos orgânicos.

Diversos métodos para a extração química das substâncias húmicas do solo tem sido propostos (Santos & Camargo, 1999), sendo o método proposto pela Sociedade Internacional de Substâncias húmicas (IHSS), o mais utilizado. Este método se baseia na extração da matéria orgânica com pirofosfato de sódio e hidróxido de sódio. A base forte é utilizada para promover a solubilização do húmus do solo e o pirofosfato atua como agente quelante dos metais presentes, aumentando a eficiência das extrações. Neste método, a extração inicial com H_3PO_4 2 mol L^{-1} tem a função de separar o material não humificado do material humificado através de diferenças na densidade específica e, promover um ataque inicial do material, livrando-o principalmente dos metais retidos eletrostaticamente.

Segundo Stevenson (1994) o método de extração ideal deve: remover quantitativamente todas as substâncias húmicas do solo sem alterar suas propriedades físicas e químicas; as substâncias húmicas extraídas devem ser livres de contaminantes inorgânicos como argilas e cátions polivalentes; o método de extração deve ser universalmente aplicado a todos os solos; a extração deve assegurar que todas as frações de pesos moleculares diferentes sejam representadas e os extratores não devem ser tóxicos.

2.4 Indicadores do solo

A preocupação com a degradação do solo, bem como a necessidade de adoção de um manejo adequado para a produção agrícola sustentável, tem gerado a busca na obtenção de indicadores de qualidade do solo, e quanto melhor o seu entendimento torna-se possível o planejamento do conjunto de práticas agrícolas sustentáveis para o uso e bom funcionamento do solo.

No ano de 1990, o termo qualidade do solo passou a adquirir grande importância e diversos conceitos:

Para Warketing (1995), a qualidade do solo é considerada um elemento chave para a sustentabilidade agrícola.

Santana & Bahia Filho (1999) definem a qualidade do solo como “capacidade ou especificidade do solo de exercer várias funções, dentro dos limites do uso da terra e do ecossistema, para sustentar a produtividade biológica, manter ou melhorar a qualidade ambiental e contribuir para a saúde das plantas, dos animais e para a saúde humana.”

Doran & Parkin (1994) propuseram que a qualidade do solo é “a capacidade de um tipo específico de solo funcionar, dentro dos limites do ecossistema manejado ou natural, como sustento para o desenvolvimento de plantas e de animais, de manter ou aumentar a qualidade da água e do ar e promover a saúde humana.”

Segundo o Departamento Americano de Agricultura (USDA, 2004), Qualidade do solo é a capacidade de um determinado solo em exercer suas funções, manejado ou em um ecossistema natural, sustentando a produtividade animal e vegetal, mantendo ou melhorando a qualidade da água e do ar e ainda a habitação e saúde humana.

A qualidade do solo pode ser estimada pela observação ou medição de diferentes propriedade ou processos que ocorrem no solo, dependendo para qual função este está sendo avaliado (Schmitz, 2003). Estas propriedades são denominadas como indicadores de qualidade do solo e incluem atributos químicos, físicos e biológicos do solo que reproduzem o

status ambiental ou a condição de sustentabilidade que um solo se encontra (Araújo & Monteiro, 2007).

De acordo com Zilli et al. (2003) um indicador de qualidade do solo deve apresentar como características: capacidade de responder de forma rápida e acurada a um distúrbio no solo; possuir processo de avaliação; refletir os aspectos do funcionamento do sistema e ainda ser economicamente viável.

Para Doran & Parkin (1994) um bom indicador deve integrar propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, ser acessível aos diferentes usuários e ainda aplicável em diversas condições de campo, ser sensível às variações de manejo e clima e de baixo custo.

O uso dos indicadores que avaliam a qualidade do solo explica a distância em que os sistemas manejados encontram-se da sustentabilidade, e com isso traz a importância do conhecimento dos processos que ocorrem no solo para a manutenção das suas funções.

A avaliação e monitoramento dos indicadores ou atributos de propriedades físicas, químicas e biológicas tornam possível o monitoramento de mudanças no estado de qualidade do solo visando desta forma separar a condição sustentável da não sustentável (Goedert, 2005).

Para cada região agro-climática é necessário determinar os atributos que são mais sensíveis ao manejo, pois estes são os mais desejáveis como indicadores e para observações na qualidade do solo (Arshad & Martin, 2002). E, dependendo do tipo de manejo adotado, os atributos apresentarão valores diferenciados.

A escolha dos indicadores deve considerar a facilidade de medição, a sensibilidade a mudanças e as condições de sustentabilidade ou não (Goedert, 2005).

2.4.1. Indicadores biológicos

Os indicadores biológicos refletem a atividade dos organismos vivos do solo e segundo Mendes & Reis Junior (2004) os microrganismos do solo são considerados bons indicadores da qualidade do solo devido à capacidade de detectar alterações, a mudanças antrópicas, em um curto período de tempo, comparado com os parâmetros físicos e químicos.

A análise da resposta de microrganismos a diferentes práticas de manejo é fundamental, pois estes respondem as variações ambientais as quais são expostas, sendo, portanto, bons bioindicadores de qualidade do solo (Avidano et al., 2005).

As avaliações das características microbiológicas do solo normalmente se ajustam a maioria dos critérios de seleção de um indicador de qualidade do solo (Doran & Zeiss, 2000).

Segundo Moreira & Siqueira (2006) a atividade biológica pode ser definida como toda reação bioquímica catalizada pelos microrganismos do solo, podendo também resultar em atividade física como na agregação do solo pela excreção de polissacarídeos por microrganismos específicos do solo.

Análises envolvendo a respiração basal dos microrganismos presentes no solo, atividade enzimática, mineralização da MOS entre outros, sob condições controladas de laboratório representam estimativas as funções metabólicas da biomassa microbiana, refletindo sua fisiologia como comunidade total presente no solo (Ananyeva et al., 2008). E vários autores relatam que estas propriedades podem diferenciar as práticas de manejo e propriedades envolvidas na qualidade do solo (Marinari et al., 2006).

Trabalho realizado por Xavier et al. (2006), observou-se que o manejo de áreas sob cultivo orgânico com acerola e pastagem contribuiu para a manutenção e recuperação dos conteúdos de C e N da biomassa microbiana e da matéria orgânica leve, constituindo estratégias de manejo importantes a serem consideradas para a conservação e, ou, aumento da matéria orgânica e, conseqüentemente, para a melhoria da qualidade do solo e para a implementação do sequestro de Carbono.

Respiração basal é a respiração sem adição de substratos orgânicos ao solo podendo ser avaliada através da produção de CO₂ ou consumo de O₂ (Alef & Nannipierre., 1995). Entretanto, existe uma distinção entre respiração do solo e respiração microbiana onde a primeira indica a atividade biológica da biota total do solo, incluindo microrganismos e a fauna do solo, e raízes de plantas e a respiração microbiana é proveniente da atividade metabólica dos microrganismos do solo.

Altos valores na respiração microbiana indicam solos com microbiota mais ativa e, portanto, maior liberação de nutrientes para as plantas. Entretanto esses valores em longo prazo podem indicar perda de matéria orgânica no solo (Parkin et al., 1996).

Segundo Carvalho (2005) a respiração basal é influenciada por vários fatores do solo tais como umidade, temperatura, estrutura do solo e disponibilidade de nutrientes.

A quantificação do potencial de nutrientes, principalmente nitrogênio e carbono imobilizados é estimada pela respiração microbiana, ou seja, liberação de CO₂ e consumo de O₂, pelos microrganismos presentes no solo. Atualmente este processo é utilizado como um importante indicador de qualidade de solo, visto que a biomassa microbiana do solo (BMS) é extremamente sensível a diferentes sistemas de manejo.

A biomassa microbiana do solo corresponde à fração viva e ativa da matéria orgânica do solo composta por microrganismos menores que $5.10^{-3} \mu\text{m}^3$ (bactérias, actinomicetos, fungos, protozoários, algas e microfauna) (Moreira & Siqueira, 2006).

O carbono da biomassa microbiana do solo representa a quantidade de carbono imobilizado pela microbiota do solo. Vários fatores influenciam na assimilação do carbono pela biomassa microbiana como: pH, disponibilidade de carbono e nitrogênio, entre outros.

Segundo Mendes & Vivaldi (2001) a biomassa microbiana é responsável pela formação e manutenção da estrutura do solo, bem como pela biorremediação de poluentes e metais pesados. E para Santos et al. (2004) podem fornecer índices que permitem avaliar a dinâmica da matéria orgânica no solo.

Segundo Barros et al. (2007) a avaliação da biomassa microbiana é relativamente rápida quando comparada a avaliação direta da produtividade vegetal, podendo desta forma ter ampla aplicação na avaliação da qualidade do solo.

A avaliação da biomassa microbiana é uma análise clássica da microbiologia do solo, e a primeira metodologia foi proposta por Jenkinson (1966) e apresentada por sua forma mais reconhecida por Jenkinson e Powelson (1976). Esta análise tem como princípio a fumigação do solo, com o objetivo de eliminar a microbiota da amostra para que esta sirva como substrato no qual os microrganismos do solo, quando reinoculados a utilizem como fonte de carbono juntamente com a MOS, emitindo CO_2 no processo respiratório. A amostra fumigada é comparada com a amostra não fumigada, e a diferença entre as mesmas é proporcional ao carbono da comunidade microbiana do solo.

A biomassa microbiana do solo geralmente está relacionada com a quantidade de carbono orgânico para ser utilizada como fonte de energia pelos microrganismos. O balanço entre imobilização de mineralização de nutrientes pela biomassa microbiana define tanto o sincronismo no processo de liberação dos elementos para as plantas, como também atua regulando os processos de perdas destes elementos no solo (Roscoe et al., 2006).

Roscoe et al. (2006) relatam que o carbono da biomassa representa o reservatório mais disponível da MOS, sugerindo que o mesmo teria grande influência na dinâmica de nutrientes para as culturas anuais.

Segundo estudos em D'Andréa et al. (2002), a instalação de pastagens e sistemas de manejo agrícola em área de cerrado nativo reduz os teores de carbono da biomassa microbiana na camada superficial do solo, sendo que essa redução é menor em pastagem e maior no sistema agrícola convencional.

Segundo Schmitz (2003) a diversidade dos vegetais sobre o solo, conseqüentemente maiores espaços do solo são ocupados pelos sistemas radiculares, influenciando em diversidade de exsudatos liberados e tecidos vegetais, aumentando a diversidade da biota do solo.

Rangel e Silva (2007) observaram, utilizando sistema de pastagem nativa como referencial, que os sistemas que utilizavam sistemas de revolvimento do solo obtiveram menores valores de biomassa microbiana (BM). E de forma semelhante, Roldán et al. (2003) avaliando sistemas de preparo do solo, juntamente com diferentes níveis de cobertura do solo, relatam que os resultados da BM foram maiores em sistemas que não utilizavam revolvimento intensivo do solo.

Adeboye et al. (2006) relataram que pela rotação de culturas, conseqüentemente maior diversidade de qualidade de resíduos vegetais, houve influência positiva no incremento de MOS e BM, indicando uma tendência no aumento da qualidade do solo.

Segundo D'Andréa et al. (2002), o estabelecimento de pastagens em sistemas e áreas agrícolas de Cerrado nativo, diminui os teores de carbono da biomassa microbiana na camada superficial do solo.

3. JUSTIFICATIVA

A utilização atual do solo do Cerrado para fins produtivos tem introduzido culturas anuais isoladamente ou pastagens, diminuindo a fertilidade do solo, e conseqüentemente a redução da produtividade e relação custo/benefício insatisfatória.

Para manter os solos do Cerrado produtivos de forma sustentável é necessário desenvolver e utilizar sistemas agrícolas que mantenham ou melhorem as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. E, como possibilidade de recuperação e renovação das pastagens é o consórcio destas com culturas anuais.

A integração Agricultura-Pecuária é um sistema que integrada às duas atividades maximizando o uso racional e sustentável da terra. Otimiza o uso do solo, e melhora a produtividade das pastagens, possibilitando maior ciclagem de nutrientes e o incremento da matéria orgânica do solo. A sustentabilidade da integração lavoura-pecuária é dependente da interação entre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, juntamente com as plantas das culturas. (Zanine, 2006).

Os sistemas de integração entre lavoura e pecuária têm o potencial para aumentar a produtividade de grãos e carne/leite e reduzir os riscos de degradação: as forrageiras tropicais reciclam os nutrientes do solo, repõem a matéria orgânica, pela abundância de seus sistemas radiculares, e da atividade biológica decorrente. Já o cultivo das lavouras aumenta a oferta de nutrientes às pastagens aumentando seu potencial de produção e recuperam a fertilidade do solo pela correção química e adubação para o cultivo.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivos gerais

Avaliar o efeito de diferentes sistemas de manejo nos indicadores microbiológicos e nas frações da matéria orgânica do solo.

4.2. Objetivos específicos

- a) Avaliar o efeito do sistema de cultivo em consorciação de milho com forrageiras, na atividade biológica do solo, no carbono e nitrogênio da biomassa microbiana.
- b) Determinar os teores de carbono orgânico total, carbono orgânico particulado e carbono orgânico associado aos minerais do solo.

5. HIPÓTESE

A utilização de um sistema de manejo de consorciação de forrageiras com culturas adaptadas às condições de solo de cerrado promove a melhoria e manutenção da matéria orgânica e nos indicadores microbiológicos do solo e desta forma aumenta a qualidade do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEBOYE, M. K. A.; IWUAFOR, E. N. O.; AGBENIN, J. O. The effects of crop rotation and nitrogen fertilization on soil chemical and microbial properties in Guinea Savana Alfisol of Nigéria. **Plant and Soil**, v. 281, n. 1-2, p.97-107, 2006.

ALVARENGA, R. C.; LARA-CABEZAS, W. A.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, v. 22, p. 25-36, 2001.

ANANYEVA, N. D.; SUSYAN, E. A.; CHERNOVA, O.V.; WIRTH, S. Microbial respiration activities of soil from different climatic regions of European Russia. **European Journal of Soil Biology**, v. 44, n. 2, p. 147-157, 2008.

ANDRADE, A.R.S; GUERRINI, I.V.A; GARCIA, C.J.B; KATEZ, I.; GUERRA, H.O.G. Variabilidade espacial da densidade do solo sob manejo da irrigação. **Ciência Agrotécnica de Lavras**, v. 29, n. 2 p.322-329. 2005.

ALEF, K.; NANPIERRE, P. Methods in applied soil microbiology and biochemistry. London: **Academic Press**, 1995. 577 p.

ALVARENGA, R.C.; LARA-CABEZAS, W.A.; CRUZ, J.C.; SANTANA, D.P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, v.22, p.25-36, 2001.

ARAÚJO, A.S.F. & MONTEIRO, R.T.R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

ARAÚJO, A.S.F.; MONTEIRO, R.T.R.; CARVALHO, E.M.S.. Effect of composted textile sludge on growth, nodulation and nitrogen fixation of soybean and cowpea. **Bioresource Technology**, v.97, n. 5, p. 1028-1032. 2007.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Larossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 3, p. 425-435, 2005.

ARSHAD, M.A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 88, n. 2, p.153-160, 2002.

AVIDANO, L.; GAMARELO, E.; COSSA, P. G.; CARRARO, E. Characterization of soil health in a Italian polluted site by using microorganisms as bioindicators. **Applied Soil Ecology**, v. 30, n. 1 p. 21-33, 2005.

BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 53, n. 3-4, p. 215-230, 2000.

BALOTA E.L.; KANASHIRO, M.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D.S. & DICK, R.P. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agro-ecosystems. **Brazilian Journal of Microbiology**, v.35, n. 4, p.300-306, 2004.

BARROS, N.; GALLEGU, M.; FEIJÓO, S. Sensitivity of calorimetric indicators of soil microbial activity. **Thermochemica Acta**, v. 458, n. 1-2, p. 18-22, 2007.

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 and Soil**, v. 238, n. 1, p. 133-140, 2002.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 86, n. 2, p. 237-245, 2006.

BENDING, G.D.; TURNER, M.K. & JONES, J.E. Interactions between crop residue and soil organic matter quality and the functional diversity of soil microbial communities. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34, n.9, p. 1073-1082, 2002.

BOTREL, M. de A.; ALVIM, M.J.; XAVIER, D.F. Avaliação de gramíneas forrageiras na região sul de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 683-689. 1999.

BRAGAGNOLO, N. & MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por resíduos de OIT 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

CAMARGO, O.A. & ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, ESALQ, 1997. 132p.

CARTER, M.R. Soil Quality for Sustainable Land management: Organic Matter and Aggregation Interactions that Mintain Soil Functions. **Agronomy Journal**, v.94, p. 38-47, 2002.

CARVALHO, F. **Atributos bioquímicos como indicadores da qualidade de solo em florestas de Araucária angustifólia (Bert.) O. Ktze. no Estado de São Paulo**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Piracicaba. 79p, (Dissertação de Mestrado), 2005.

CARVALHO, R; GOEDERT, J.W; ARMANDO, S.M. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.11, p.1153-1155, 2004.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; FLECHA, A. M .T.; PAVINATO, P. S.; VIEIRA, F. C. B.; MAI, M. E. M. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia preta-milho, no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 163-171, 2002.

CHAER, G.M.; TÓTOLA, M.R.; LOBATO, M.C.C & Di LORIO, V.O. **SIMOQS- Sistema de Monitoramento da Qualidade do Solo**. Manual do usuário. Versão 1.0 – 2004.

CHENG, H.H. & KIMBLE, J.M. Characterization of soil organic carbon pools. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLET, R.F.& STEWART, B.A., eds. **Assessment methods for soil carbon**. Boca Raton, Lewis Publishers, p.117-130, 2001.

CNPSO- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, **Embrapa Soja**
http://www.cnpso.embrapa.br/index.php?op_page=22&cod_pai=16. Acesso em 13 de setembro de 2009.

COMISSÃO DA FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS – CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5º aproximação.** Viçosa, 1999. 359 p.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. <http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php?PAG=131> – **Safras, grãos**, Acesso em: 21 de janeiro 2009.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J. & SAPGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos correlacionados. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 29, p. 777-778, 2005.

CORAZZA, E.J. **Biodisponibilidade do íon fosfato em solos sob pastagens cultivadas na região do Cerrado.** 2002. 127p (Tese de Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CORRÊA, J. C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Quêrência, MT. **Pesquisa Brasileira Agropecuária**, v. 37, n. 2, p. 203-209, 2002.

CORREIA, J.R.; REATTO, A.; SÉRA, S.T. Solos e suas relações com o uso e manejo. In: **Cerrado: correção do solo e adubação.** 2º Ed. Brasília, DF: Embrapa informação Tecnológica, 2004. 416 p.

CUNHA, E.A., BUENO, M.S., SANTOS, L.E. Correlações entre características de carcaça de cordeiros Suffolk. In: **Reunião anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, 36, 1999, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre : SBZ, 1999. (CD-ROM).

D’ ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N. GUINARÃES, L. R. Estoques de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 2, p. 179-186, 2004.

D’ ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O. & CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores de qualidade do solo em sistemas de manejo na região do

cerrado do sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.26, p 913-923, 2002.

DERPSCH, R. Importancia de los abonos verdes y la rotación de cultivos em el sistema de siembra directa. In: **Encuentro nacional de productores em siembra directa**, 3, 1998. Anais... Itapúa: APASCU, p. 71-102, 1998.

DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; CELEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A. (Eds) Defining soil quality for sustainable environment. Madison, **Soil Science Society of America**, p.3-21, 1994.

DORAN, J.W. & ZEISS, M.R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 15, n.1, p. 3-11, 2000.

DYBZINSKI, R.; FARGIONE, J. E. ; ZAK, D. R.; FORNARA, D.; TILMAN, D. Soil fertility increases with plant species diversity in a long term biodiversity experiment. **Oecologia**, v. 158, n.1, p. 85-93, 2008.

EMBRAPA. **Manual de métodos de Análise do solo**, 2º edição, 1997. 212 p.

EMBRAPA- Empresa de Pesquisa Agropecuária
<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Soja/SojaCentralBrasil2003/index.htm>, Acesso em 21 de janeiro de 2009.

FABRÍCIO, A. C.; SALTON, J. C. Alterações no teor de matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de produção. Dourados: **Embrapa Agropecuária Oeste**, 1999. 4p. (Comunicado Técnico, 7).

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Ameliorating soil acidity of tropical oxisols by liming for sustainable crop production. **Advances in Agronomy**, v.99, p.345-399, 2008.

FEBRPDP – Federação Brasileira de Plantio Direto na palha . <http://www.febrapdp.org.br/>. Acesso em 03 de Julho de 2009.

FERREIRA, D.F. 2003. Sisvar versão 4.3. Lavras: **DEX-UFLA**.

FIDELIS, R. R.; ROCHA, R. N. C.; LEITE, U. T.; TANCREDI, F. D. Alguns aspectos do plantio direto para cultura da soja. **Bioscience Journal**, v. 19, n. 1, p. 23-31, 2003.

FRANZLUEBBERS, A.J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil and Tillage Research**, v. 66, n. 2, p. 95-106, 2002.

FRANZLUEBBERS, A.J.; HANEY, R.L.; HONS, F.M. Relationships of chloroform fumigation-incubation to soil organic matter pool. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 31, n. 3, p.395-405, 1999.

FREIXO, A.A. **Caracterização da matéria orgânica de Latossolos sob diferentes sistemas de cultivo através de fracionamento físico e espectrografia de infravermelho**. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 86p. (Dissertação de Mestrado), 2000.

GHISI, O. M. A.; ALMEIDA, A. R. P. de; ALCÂNTARA, V. B. G. Avaliação agronômica de seis cultivares de *Panicum maximum* Jacq. Sob três níveis de adubação. **Boletim de Industria Animal**, v. 46, n. 1, p. 1-15, 1989.

GOEDERT, W.J. Qualidade do solo em Sistemas de Produção Agrícola. In: **XXX Congresso Brasileiro de Ciências do Solo**. Recife – PE, p.1-10. 2005.

Instituto de Zootecnia - <http://www.iz.sp.gov.br/>. Nova Odessa – SP, Acesso em: 10 de maio de 2008.

ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 55, n. 1, p.69-78, 2000.

JANTALIA, C. P.; ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; BODDEY, M.; URQUIAGA, S. Mudanças no estoque de C do solo em áreas de produção de grãos: avaliação do impacto do manejo do solo. In: **Manejo de sistemas agrícolas: impacto no seqüestro de C e N nas emissões de gases de efeito estufa**, Porto Alegre, p. 35-59, 2006.

JENKINSON, D. S. Studies on the decomposition of plant material in soil II. Partial sterilization of soil and the soil biomass. **Journal of Soil Science**, v. 17, n. 2, p. 280-302, 1966.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 1, p. 1-13, 2009.

KENNEDY, A.; DORAN, J. Sustainable agriculture: role of microorganisms. In: **Bitton, G. (Ed.) Encyclopedia of environmental microbiology**. New York: John Wiley & Sons, p.3116- 3126, 2002.

KLEIN, V.A. & LIBARDI, P.L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, v.32, n. 6, p.120-128, 2002.

KLOSE,S.; MOORE, J.M.; TABATABAI, M.A. Arylsulfatase activity of microbial biomass in soils as affected by cropping systems. **Biology and Fertility of Soils**, v. 29, n. 1, p.46-54, 1999.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. Integração lavoura-pecuária. Santo Antonio de Goiás, **Embrapa Arroz e Feijão**, 570p, 2003.

KLUTHCOUSKI, J; AIDAR, H; STONE, L.F; CABRUCCI, T. Integração Lavoura-Pecuária e o manejo de plantas daninha. Junho, 2004. Disponível: [http://www.ipni.net/ppiweb/pbrazil.nsf/\\$webindex/](http://www.ipni.net/ppiweb/pbrazil.nsf/$webindex/) acessado em: 15/07/2008.

KRAMBERGER, B.; GSEIMAN, A.; JANZEKOVIC, M.; KALIGARIC, M.; BRACKO, B. Effects of cover crops on soil mineral nitrogen and on the yield and nitrogen content of maize. **European Journal of Agronomy**, Bologna, v. 31, n. 2, p. 103-109, 2009.

LA SCALA Jr., N.; BOLONHEZI, D. & PEREIRA, G.T. Shortterm soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no till sugar cane area in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 91, n. 1-2, p. 244-248, 2006.

LADD, J.N.; FOSTER, R.C. & SKJEMSTAD, J.O. Soil structure: carbon and nitrogen metabolism. **Geoderma**, v. 56, n. 1-4, p. 401-434, 1993.

LAL, R. Métodos para avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nos trópicos; tradução e adaptação de MEDUGNO, C.C & DYNIA. J.F. Jaguariúna: **Embrapa Meio Ambiente**. p. 97, 1999.

LAL, R. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. **Environmental pollution**, v. 116, n. 3, p. 353-362, 2002.

LEÃO, T.P.; SILVA, A.P.; MACEDO, M.C.M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V.P.B. Least limiting water range: a potential indicator of changes in near-surface soil physical quality after the conversion of Brazilian Savanna into pasture. **Soil and Tillage Research**, v.88, n. 1-2, p. 279-285, 2006.

LILIENFEIN, J. et al. Soil fertility under native Cerrado and pasture in the Brazilian savanna. **Soil Science Society of America Journal**, v. 67, n. 4, p. 1195-1205, 2003.

LITTELL, R.C., MILLIKEN, G.A., STROUP, W.W. **SAS system for mixed models**. Cary, NC: SAS Institute Inc. 633p, 1996.

LORENZI, H. **Plantas Daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas**, 3, São Paulo, Nova Odessa , p. 289, 2000.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbon e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28; p. 175-187, 2004.

MACEDO, M. C. M. Pastagens no ecossistema Cerrados: evolução das pesquisas para o desenvolvimento sustentável. In: **Reunião Anual da SBZ**, 42, Goiânia. Anais... Goiânia: SBZ, p. 56-84, 2005.

MACHADO, L. A. Z.; FABRICIO, A. C.; SALTON, J. C. Desempenho de novilhos em pastagem de braquiária decumbens permanente e após soja. Dourados: **Embrapa Agropecuária Oeste**, 1999. 5p. (Comunicado Técnico, 8).

MARINARI, S.; MANCINELLI, R.; CAMPIGLIA, E.; CREGO, S. Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy. **Ecological Indicators**, v. 6, n. 4, p. 701-711, 2006.

MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T.; WUTKE, E. B. Cultivo de cereais e cana-de-açúcar após soja: economia de adubo nitrogenado. **O Agrônomo**, Campinas, v. 54, n. 2, 2002.

MENDES, I.C & REIS JUNIOR, F.B. Microrganismos e disponibilidade de fósforo (P) nos solos: uma análise crítica. **Embrapa Cerrados** – Planaltina – DF (Documentos, 85). 26p, 2004.

MENDES, I.C. & VIVALDI, L. Propriedades microbiológicas de solos do bioma Cerrado sob vegetação nativa. In: **Reunião brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas**, Santa Maria. Anais. Sociedade Brasileira de Ciências do solo/ Sociedade Brasileira de Microbiologia, 2000. CD-ROM.

METAY, A.; MOREIRA, J. A. A.; BERNOUX, M.; BOYER, T.; DOUZET, J. M.; FEIGL, B.; FELLER, C.; MARAUX, F.; OLIVER, R.; SCOPEL, E. Storage and forms of organic carbon in a no-tillage under cover crops system on clayey Oxisol in dryland rice production (Cerrados, Brazil). **Soil and Tillage Research**, v. 94, n. 1, p. 122-132, 2007.

MIELNICZUK, J. Importância do estudo de raízes no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis. In: **Workshop sobre sistema radicular: metodologias e estudo de caso**, 1999, Aracaju SE. Anais... Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p.13-17, 1999.

MOREIRA, F.M. DE S. & SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: editora UFLA, 729p. 2006.

NASCIMENTO, J.T.; SILVA, I. de F. da; SANTIAGO. R.D; SILVA NETO, L. de F. da. Efeitos de leguminosas nas características químicas e matéria orgânica de um solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.7, n.3, 2003.

NICOLOSO, R.; AMADO, T. J. C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO, V. C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1723-1724, 2008.

OLIVERIA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; RESCK. D.V. & CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argilosos sob diferentes sistemas de uso de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n. 2, p. 291-299, 2003.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.327-336, 2004.

OLIVEIRA, O. C.; OLIVEIRA, I. P.; ALVES, B. J.R.; URQUIAGA, S.; MODDEY, R. M. Chemical and biological indicators of decline degradation of Brachiaria pastures in the Brazilian Cerrado Agriculture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 103, n. 2, p. 289-300, 2004.

PARKIN, T.B.; DORAN, J.W. & FRANCO-VIZCAÍNO, E. Field and laboratory tests of soil respirations. In: DORAN, J.W & JONES, A.J., ed. **Methods for assessing soil quality**. Madison, **Soil Science Society of América**, p. 145-231, 1996.

PAUSTIAN, K.; SIX, L.; ELLIOTT, E. T.; HUNT, H. W. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. **Biogeochemistry**, v. 48, n. 1, p. 147-163, 2000.

RANGEL, O. J. O; SILVA, C. A . Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1609-1623, 2007.

ROLDÁN, A.; CARAVACA, F.; HERNÁNDEZ; GARCÍA, C.; SÁNCHEZ-BRITO, C. VELÁSQUEZ, M. TISCAREÑO, M. No-tillage, crop residue additions, and legume cover cropping effects on soil quality characteristics under maize in Patzcuaro watershed (Mexico). **Soil and Tillage Research**, v. 72, n. 1, p. 65-73, 2003.

ROSCOE, R.; BUURMAN, L.; VELTHORST, E. J.; VASCONCELLOS, C. A. Soil organic matter dynamics in density and particle size fractions as revealed by the ¹³C-¹²C isotopic ratio in a Cerrado's oxisol. **Geoderma**, v. 104, n. 3-4, p. 185-202, 2001.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; JÚNIOR, F. B. R.; SANTOS, J. C. F.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana do solo: fração mais ativa da matéria orgânica. In: ROSCOE, R.; MERANTE, F. M.; SALTON, J. C. (Eds). **Dinâmica da material orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, p. 163-198, 2006.

SANO, E.E.; BARCELLOS, A.O.; BEZERRA, H.S. Assessing the spatial distribution of cultivated pastures in the Brazilian savanna. **Pasturas Tropicales**, v.22, n. 3, p. 2-15, 2000.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 153-156, 2008.

SANTANA, D.F. & BAHIA-FILHO, A.F.C. Indicadores de qualidade do solo. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 28, Resumos expandidos. Rio de Janeiro: SBCS,1999.

SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Ed. Genesis, Porto Alegre, Brasil. 508p, 1999.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeito de sistemas de produção de grãos e de pastagens sob plantio direto sobre o nível fertilidade do solo após cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 3, v. 25, p. 645-653, 2001.

SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B. Influencia de culturas de inverno sobre o rendimento de grãos de soja cultivada em sistemas de rotação de culturas. **Ciência Rural**, v. 31, n. 1, 2001.

SANTOS, V.B. dos; CASTILHOS, D.D.; CASTILHOS, R.M.V.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A. da S.; SILVA, D.G. da. Biomassa, atividade microbiana e teores de carbono e nitrogênio totais de um Platom solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.10, p.333-338, 2004.

SCHMITZ, J. A . K. **Indicadores biológicos de qualidade do solo**. Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Agronomia. 230P. (Tese Doutorado em Ciência do solo), 2003.

SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; STRIEDER, M. L.; SILVA, A. A da. Estratégias de manejo e cobertura de solo no inverno para cultivo do milho em sucessão no sistema semeadura direta. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, p. 1011-1020, 2006.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; CORAZZA, E. J.; VIVALDI, L. Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the “Cerrado” region, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 103, n. 2, p. 357-363, 2004.

SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. de O.; CERETTA, C. A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: **Fundamentos de Química do Solo**. 3 ed. MEURER, E. J. Porto Alegre: Evangraf, 285p, 2006.

SIX, J.; CALLEWAERT, P.; LENDERS, S.; DE GRUYZE, S.; MORRIS, S. J.; GREGORICH, E. G.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K. Measuring and understanding carbon storage in afforested soils by physical fractionation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, n. 6, p. 1981-1987, 2002.

STEVENSON, F. J. Humus chemistry: Genesis, composition, reactions. 2nd ed. John Wiley and Sons, Inc., New York, NY, 1994.

TABATABAI, A. Soil Enzymes. In: Waver, R.W.; ANGLE, J.S. & BOTTOMLEY, P.S. (Eds). **Methods of Soil Analyses. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties**, second ed. Soil Science Society, WI, USA, p. 775-833, 1994.

TRECENTI, R.; Oliveira, M.C.; HASS, G. **Integração Lavoura-Pecuária-Silvicultura**; boletim técnico. 54p. Brasília, DF, 2008.

TÓTOLA, M.R & CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como bioindicadores da qualidade dos solos. In: Tópicos em ciência do solo – publicado da **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. –Viçosa – MG, v.2, p.105-276, 2002.

VALLE, C. B. do; EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M. C. M. Características das plantas forrageiras do gênero *Brachiaria*. **Anais do 17 Simpósio sobre Manejo da Pastagem**, 133-176p. PEIXOTO, A. M.; PEDREIRA, C. G. S.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P (Eds). Piracicaba: FEALQ, 458p, 2001.

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

VIVELA, L.; SOUZA, D.M.G & SILVA, J.E. Adubação Potássica. IN SOUZA, D.M.G. & LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2º Ed.Brasília. Embrapa Informações e Tecnologia, p. 169-182, 2004.

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
<http://www.ufrgs.br/alimentus/feira/mpcerea/milho/milho.htm> Acesso em: 10 de maio de 2008.

USDA (United States Department of Agriculture). **Soil Quality Thunderbook**. A Note about Soil Quality and the Thunderbook, 2004.

XAVIER, F. A. S. **Compartimentos da matéria orgânica do solo em sistemas agrícola convencional e orgânico na região da Chapada da Ibiapaba-CE. Fortaleza**, 2004. 71P. (Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição das Plantas) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

XAVIER, S.A.F; MAIA, F.M.S; OLIVEIRA, S.T; MENDONÇA, S.E. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba – CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 2, p. 247-258, 2006.

ZANINE, A.M. et al. Potencialidade da integração lavoura-Pecuária: relação planta animal. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v.7, n.1, 2006. Disponível em <<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n010106/010601.pdf>> Acesso em: 10 de maio de 2008.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LECHMANN, J.; MIANO, T. M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, v. 79, n. 1-4, p. 117-161, 1997.

ZILLI, J. E.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER G.R., COUTINHO H.L.DA C; NEVES M. C. P. Diversidade microbiana como indicador da qualidade do solo. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**. v. 20, n.3, p. 391-411, 2003.

WANDER, M. M. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function. In: MAGDOFF, F. & WEIL, R. (Eds). **Advances in Agroecology**. CRC Press LLC, p.67-102, 2004.

WARKETING, B.P. The changing concept of soil quality. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 50, n. 3, p. 226-228, 1995.

WEBER, M. A.; MIELNICZUK, J. Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 429-437, 2009.

WENZL, P.; CHAVES, A. L.; PATIÑO, G. M.; MAYER, J.E.; RAO, I. M. Aluminum stress stimulates the accumulation of organic acids in root apices of Brachiaria species. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.165, n.5, p.582-588, 2002.

WILLIAMS, S. M. & WEIL, R. R. Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, n. 4, p. 1403-1049, 2004.

WISEMAN, C.L.S. & PÜTTMANN, W. Interactions between mineral phases in the preservation of soil organic matter. **Geoderma**, v.134, n. 1-2, p. 109-118, 2006.

WITTIG, R. General aspects of biomonitoring heavy metals by plants. In: MARKERT, B. (Org.) **Plant as biomonitors. Indicators for heavy metals in the terrestrial environment**. Weinheim: VCH, p. 3-27, 1993.

CAPÍTULO 1

Trabalho a ser encaminhado para a revista *Bragantia*

Dinâmica dos indicadores microbiológicos de qualidade do solo, em área cultivada com milho em monocultivo e em consórcio com forrageiras

Resumo

Parâmetros biológicos e bioquímicos do solo são capazes de refletir os impactos resultantes da utilização de práticas agrícolas, tendo em vista que a microbiota do solo participa de processos importantes, principalmente na dinâmica da matéria orgânica do solo. O objetivo do presente trabalho foi estudar a influência de diferentes sistemas de manejo agrícola sobre os indicadores microbiológico do solo. O experimento foi instalado em área com histórico de cultivo de capim *Andropogon gayanus* por 6 anos e posteriormente implantação do experimento que consistiu dos tratamentos: 1) milho (cultivar BR 20 20); 2) milho consorciado com *Brachiaria humidicola*; 3) milho consorciado com capim *Panicum maximum* cv Aruana; 4) *Brachiaria humidicola* e; 5) capim *Panicum maximum* cv Aruana. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com 3 repetições e 5 tratamentos (sistemas de cultivos), com medidas no espaço e no tempo por um período de 3 anos. Os indicadores microbiológicos (respiração basal, o carbono e nitrogênio da biomassa, nitrogênio total, carbono orgânico, relação $N_{mic}:N_{total}$ e relação $C_{microbiano}$ e o $C_{orgânico}$ ($C_{mic}:C_{org}$)) do solo foram analisados em três amostragens de solo, nas camadas de 0-10 e 10 -20 cm. O carbono da biomassa microbiana do solo e a respiração basal foram maiores nos consórcios milho e forrageiras. Observou-se aumento da atividade microbiana do solo com os sistemas de consorciação e profundidades analisadas. A relação $C_{mic}:C_{org}$ com maiores valores nos sistemas em consorcio mostrou que este manejo disponibiliza maior teor de matéria orgânica aos microrganismos do solo.

Palavras-chave: biomassa microbiana, indicadores microbiológicos, consorciação de culturas.

Dynamic of soil microbiological indicators in an area cultivated with maize in monoculture and intercropping with pasture

Abstract

Soil microbiological parameters are able to reflect the impacts from agricultural practices, because soil microbes has an important participation on soil organico matter dinamycis. To elucidate the influence of different agricultural management systems on soil microbial biomass, this study evaluated the several soil microbial indicators in Red-Yellow Dystrophic Typical Cerrado from an area under no tillage, intercropping of annual crops and pasture. The experiment was installed in an area with a history of cultivation of grass *Andropogon* for 6 years and after implementation of the experiment consisted of 15 plots under intercropping system of annual maize and pasture maize (*Brachiaria humidicola* grass *Panicum maximum* cv Aruana) There were plots with maize and pasture planted separated. The experimental design was randomized complete blocks with three replications and five treatments (cropping systems), with measurements in space and time for a period of three years. Soil samples were collected at three periods at depths of 0-10 and 10-20 cm. In each sample were determined basal respiration, biomass carbon and nitrogen, total nitrogen, organic carbon, ratio MBN: TN and ratio microbial carbon: organic carbon (MC:OC) It was observed an increased of soil microbial activity on intercropping systems and depths analyzed for most of soil microbiological indicators. The ratio MC:OC showed higher values in intercropping systems, which could indicate that this soil management provides a higher content of soil organic matter to microorganisms.

Key words: microbial biomass, biological activity, microbiological indicators, intercropping.

1. INTRODUÇÃO

Os solos do Cerrado, em geral, possuem baixa fertilidade, são muito intemperizados, profundos e ricos em caulinita e óxidos de Fe e Al, além de apresentam acidez elevada e alta capacidade de fixação de P (Goedert, 1983). Estes solos necessitam de práticas conservacionistas para manter e melhorar a qualidade de suas propriedades, e a liberação dos nutrientes da matéria orgânica tem grande contribuição como fonte de energia para os organismos e plantas (Cordeiro, 2006).

Estudos recentes revelam que a substituição da vegetação nativa por sistemas agrícolas cultivados resulta no decréscimo do aporte de C nos diferentes compartimentos da matéria orgânica do solo (Marchiori Junior & Melo, 2000; Leite et al., 2003).

Nesse contexto, os sistemas agrícolas convencionais, caracterizados pelo intenso revolvimento do solo e pelo uso de elevadas quantidades de adubos químicos e pesticidas, contribuem mais intensamente para as perdas de C orgânico do solo (Rasmussen et al., 1998; Mielniczuk et al., 2003).

Uma alternativa para se manter carbono orgânico no solo é o sistema de plantio direto que adota práticas agrícolas, como o consórcio de culturas com pastagens, que reduzem custos de produção e melhoram a produtividade das culturas (Bayer et al., 2006). Este sistema de manejo influencia a biomassa microbiana do solo e importantes processos a ela relacionados como a decomposição da matéria orgânica e a disponibilidade de nutrientes para as plantas (Balota et al., 2003).

O sistema de plantio direto fundamenta-se na consorciação e/ou rotação de culturas, e cada cultura apresenta características intrínsecas de morfologia e atividade fisiológica das raízes que poderá resultar em efeito diferenciado na biomassa microbiana do solo (Fidelis et al., 2003).

Em diferentes regiões do mundo, existe um consenso de que períodos de utilização com pastagens perenes, gramíneas e/ou leguminosas, condicionam melhorias na qualidade do solo e na produtividade de lavouras subsequentes (García-Préchac et al., 2004).

O sistema de manejo deve contribuir para a manutenção ou melhoria da qualidade do solo e do ambiente, bem como para a obtenção de adequadas produtividades das culturas em longo prazo.

Pesquisas sobre o impacto de diferentes sistemas de manejo na biomassa e atividade microbiana dos solos de Cerrado são recentes (Mendes & Vivaldi, 2001).

É essencial se obter indicadores de sustentabilidade, que quantifiquem e indiquem o grau de conservação de um sistema de produção; desta forma a relação entre o manejo e a qualidade do solo pode ser avaliada pelo seu efeito nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Araújo et al., 2007).

As propriedades microbiológicas do solo, tais como: a taxa de respiração, a diversidade e a biomassa microbiana, C e N da biomassa microbiana, quociente microbiano, são indicadores sensíveis que podem ser utilizados no monitoramento de alterações ambientais decorrentes do uso agrícola, sendo ferramentas para orientar o planejamento e a avaliação das práticas de manejo utilizadas (Doran & Parkin, 1994).

Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi estudar a influência de diferentes sistemas de manejo agrícola sobre os indicadores microbiológicos do solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi implantado no mês de novembro de 2007, e conduzido na Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília delimitada pelas coordenadas 186400.952W; 8235277.217S e 186492.597W; 8235280.043S (UTM, zona 23 sul) e 1080 m de altitude (Figura 4).



Figura 4. Localização geográfica da área experimental dentro do contexto estadual e nacional.

O clima é do tipo Aw, tropical estacional de savana, de acordo com a classificação de Köppen, apresentando um período chuvoso de outubro a março, e um período de seca de abril

a setembro. A região apresenta precipitação anual média de 1550 mm, tendo média mensal em 2008 de 12,5 mm, e média mensal em 2010 de 112,6 mm (Figura 5); com umidade relativa do ar entre junho e setembro abaixo de 70%, podendo cair para 16% no período mais seco do ano. E apresenta temperatura média entre 18 °C e 28,5 °C.

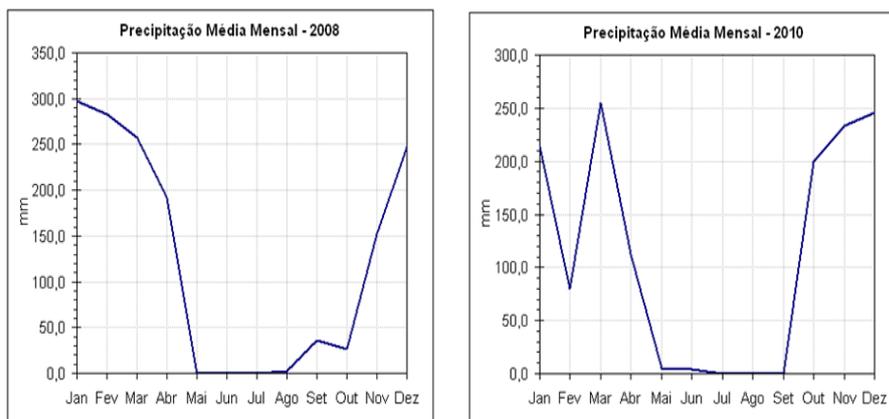


Figura 5. Precipitação média mensal nos anos de 2008 e 2010 coletados da Estação meteorológica automática da fazenda Água Limpa – Universidade de Brasília, referentes às épocas de coleta de solo para as determinações referentes ao estudo.

Antes da instalação do experimento, a área foi mantida com o cultivo de capim *Andropogon gayanus*, variedade Planaltina, por um período de 6 anos. Em outubro de 2007, a área foi preparada com aração e gradagem. A análise do solo, antes da instalação do experimento apresenta-se na Tabela 1.01.

Tabela 1.01. Análise química e granulométrica do solo antes da instalação do experimento, no ano de 2007.

Ano	pH	Ca	Mg	K	Al	P	MO	Areia	Silte	Argila
	(H ₂ O)	cmol _c dm ⁻³				mg dm ³	g dm ⁻³	g kg ⁻¹		
2007	5,6	0,9	0,6	0,05	0,2	0,5	32,5	200	275	525

Formatado: Fonte: 11 pt
Tabela formatada

Formatado: Fonte: 11 pt

A calagem com calcário dolomítico foi de 2,6 ton/ha, aos trinta dias antes do plantio do experimento e, antes da instalação do experimento, foi feita a aração e gradagem.

Os tratamentos foram: 1) milho (híbrido BR 20 20); 2) *Brachiaria humidicula*; 3) *Panicum maximum* cv Aruana; 4) milho consorciado com capim *Panicum maximum* cv

Aruana e; 5) milho consorciado com *Brachiaria humidicola* (Figura 5). A área de cada parcela foi de 80 m². Esses tratamentos foram cultivados anualmente, na área experimental durante o verão. A adubação anual nos tratamentos com milho foi 30 kg N ha⁻¹ (uréia), 70 kg ha⁻¹ KCl no plantio e duas aplicações em cobertura com 45 kg N ha⁻¹ (uréia) e 43 kg ha⁻¹ KCl. A primeira aplicação de cobertura foi feita quando a planta de milho apresentava quatro folhas e a segunda, vinte dias após a primeira aplicação de cobertura. Na adubação das forrageiras, foi utilizado 60 kg N ha⁻¹(uréia), 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (super simples) e 60 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio). As forrageiras foram semeadas pelo processo manual, a lanço, na quantidade de 30 kg ha⁻¹ de sementes, considerando o valor cultural, quando plantadas solteiras ou em consórcio com o milho. O espaçamento utilizado na cultura do milho foi de 0,95 m, com densidade de plantas de sete plantas por metro linear.

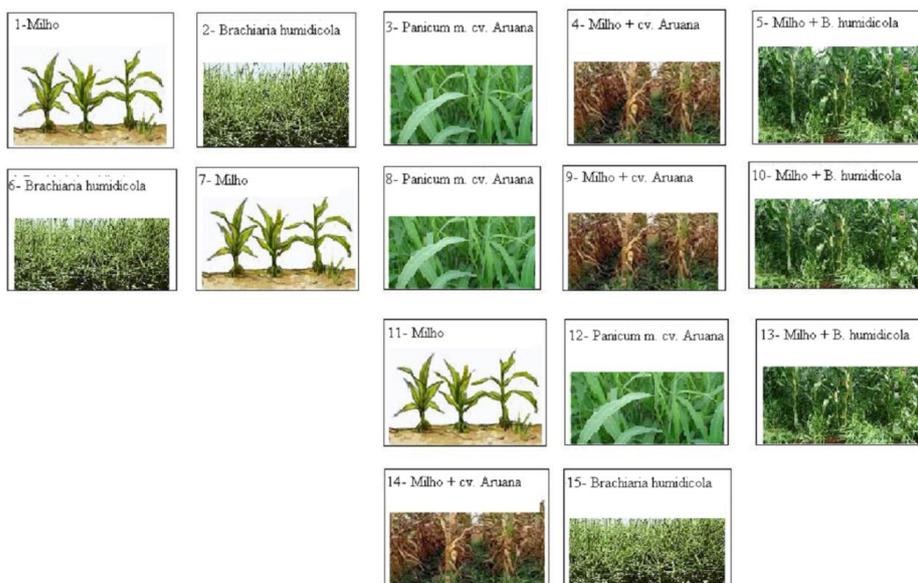


Figura 6. Desenho experimental. Parcelas contendo os tratamentos e repetições: 1) milho (híbrido BR 20 20); 2) *Brachiaria humidicola*; 3) *Panicum maximum* cv Aruana; 4) milho consorciado com capim *Panicum maximum* cv Aruana e; 5) milho consorciado com *Brachiaria humidicola*.

No segundo ano de plantio, em novembro de 2008, foram realizadas as determinações referentes a este estudo em todos os tratamentos. As áreas sob pastagens foram roçadas

manualmente, antes do plantio do milho. A adubação das forrageiras e do milho com ou sem consórcio foi a mesma realizada no ano anterior.

Os demais tratos culturais utilizados foram: para conter o ataque da praga, lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) foi realizada a aplicação de inseticida do grupo químico Benzoiluréia, de nome comum Lefenurom, na dose de 300 ml ha⁻¹ nas parcelas de milho. Foi realizada a capina manual para conter as plantas, bem como o controle químico com a utilização de glifosato, na dose de 3 litros ha⁻¹.

2.2 Coleta das amostras de solo

Coletaram-se amostras de solo em três épocas: março de 2008 (pós-colheita do milho), novembro de 2008 (antes do plantio do milho) e março de 2010 (pós-colheita do milho) e em duas profundidades de solo, 0-10 cm e 10-20 cm. Em cada parcela coletaram-se amostras, aleatórias, compostas de cinco subamostras nas entrelinhas de plantio. Estas foram acondicionadas em sacos plásticos, após homogeneização, identificadas e armazenadas em câmara fria, com 4° C de temperatura (Figura 7).



Figura 7. a) Representação do Trado holandês, utilizado na coleta das amostras de solo; b) amostragem de solo; c) homogeneização das subamostras para formação de uma amostra composta de solo e d) amostras de solos acondicionadas em sacos plásticos para posterior armazenamento em câmara fria.

2.3 Delineamento experimental

Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso, com três repetições. Para a análise estatística dos dados foi utilizado o seguinte modelo, conceituado como modelo misto, MIXED (Littell et al., 1996):

$y_{ijkl} = \mu + S_i + R_j(S_i) + E_k + (SE)_{ik} + R_j E_k(S_i) + P_l + (SP)_{il} + (EP)_{kl} + (SEP)_{ikl} + \varepsilon_{ijkl}$, onde: S_i é o efeito do sistema i ; $R_j(S_i)$ é o efeito da amostra j dentro do sistema i ; E_k é o efeito da época k ; $(SE)_{ik}$ é o efeito da interação sistema \times época; $R_j E_k(S_i)$ é o efeito da interação repetição \times época dentro do sistema; P_l é o efeito da profundidade l ; $(SP)_{il}$ é o efeito da interação sistema \times profundidade; $(EP)_{kl}$ é o efeito da interação época \times profundidade; $(SEP)_{ikl}$ é o efeito da interação sistema \times época \times profundidade e ε_{ijkl} é o erro.

Os resultados foram submetidos à análise de variância utilizando-se o software SAS (2008) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey – Kramer ao nível de 5% de probabilidade.

2.4 Análises dos indicadores microbiológicos

Analisaram-se os seguintes indicadores microbiológicos do solo: respiração basal, o Carbono (Cmic) e Nitrogênio (Nbm) da biomassa, nitrogênio total, carbono orgânico, relação Nbm:Ntotal e relação C microbiano sobre o C orgânico (Cmic: Corg).

2.4.1 Respiração basal

A respiração basal foi calculada através da metodologia de Alef e Nannipieri (1995), sendo calculada pela quantidade de C-CO₂ liberado das amostras de solo por um período de sete dias. As amostras foram tamisadas em peneira com abertura de 8 milímetros, retirando-se fragmentos de raízes e restos vegetais (Figura 8).

Os teores de umidade das amostras foram corrigidos para 80% da capacidade de campo do solo. As amostras foram divididas em sub-amostras (triplicatas) de 20 g de solo e colocadas em frascos herméticos de 500 mL contendo um frasco com 10 mL de KOH a 0,3M. As amostras foram incubadas por sete dias. A quantificação do CO₂ liberado durante a incubação, foi realizada por titulação com HCl a 0,1 N em erlenmeyer de 100 mL, contendo 3 gotas de fenolftaleína. A quantidade de CO₂ liberada foi calculada pelo número de moles de KOH inicial, menos o número de moles de KOH que reagiu com o HCl 0,1N.



Figura 8. Registro fotográfico de parte da metodologia utilizada na análise da respiração basal do solo (Do Carmo, F. F).

2.4.2 Carbono da biomassa microbiana (Cmic)

Para a determinação do carbono da biomassa microbiana (Cmic) foi utilizado o método de CFE- clorofórmio - fumigação-extração (Vance et al., 1987).

Para cada parcela amostrada foram feitas 6 repetições, sendo três amostras fumigadas e 3 amostras não fumigadas, cada uma contendo 20 gramas de solo, peso fresco.

Na fumigação das amostras foram adicionados 25 ml de clorofórmio (CHCL₃), sob vácuo de aproximadamente 600 mm/hg em dessecador. Após fumigação as amostras foram mantidas pelo período de 24 horas acondicionadas no dessecador (Figura 9).

O Cmic das amostras fumigadas e não fumigadas foi extraído com 70ml de sulfato de potássio 0,5M (K₂SO₄) com pH ajustado para 6,5, sob agitação horizontal (150 rpm) por 30 minutos e posterior filtragem do extrato em filtro de papel de Whatmann 42. Do filtrado foram retiradas com pipetas alíquotas de 8ml. Após este processo, foram adicionados 2ml de Dicromato de potássio 66,7 mM (K₂Cr₂O₇) e 15ml da mistura de ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄, 98%) e (H₃PO₄, 88%). A mistura foi então aquecida em bloco aquecedor por um período de 30 minutos sob temperatura de 100 °C para oxidação do carbono presente nas amostras de solo. Após resfriamento o K₂Cr₂O₇ residual foi quantificado através da titulação com sulfato ferroso amoniacal 33,3 mM, na presença de difenilamina 1%.

O carbono da biomassa microbiana foi calculado pela seguinte fórmula:

$$Cmic = (Cf - Cnf) / Kec, \text{ onde,}$$

Cf e CNF: representam carbono extraído das subamostras fumigadas e não fumigadas respectivamente.

Kec: representa a proporção do total do carbono microbiano extraído após a fumigação. Os valores de Kec citados na literatura são muito variáveis. Foi utilizado neste estudo o Kec = 0,38 (Wardle, 1994).



Figura 9. Registro fotográfico de parte da metodologia utilizada na análise do carbono da biomassa do solo (Do Carmo, F. F.)

2.4.3 Nitrogênio da Biomassa Microbiana (Nbm)

O nitrogênio da biomassa microbiana (Nbm) foi determinado com a mesma solução extraída para o Cmic. O nitrogênio contido nos extratos fumigados e não fumigados foi determinado por pré-digestão e destilação pelo método de Kjeldahl (Santos & Camargo, 1999). Em tubos de ensaio foram colocadas alíquotas de 20ml na presença de 3ml de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) e 1g de catalisador (mistura de $K_2SO_4:CUSO_4$ e selênio na relação de 1:0,1:0,01) e acondicionadas em bloco digestor com a realização de uma pré digestão na temperatura de $80^\circ C$ por 12 horas com aumento de temperatura para $150^\circ C$ por mais 1 hora e 30 minutos e posterior conclusão da digestão com o aumento da temperatura para $300^\circ C$ por um período de 3 horas. Nas amostras digeridas foram acrescentos 10ml de NaOH (40%) que foram posteriormente destiladas em 5ml de indicador ácido bórico até completar um volume aproximado de 35ml procedendo-se a titulação em ácido sulfúrico 0,025M (H_2SO_4).

O Nbm foi calculado pela seguinte fórmula:

$N_{bm} \text{ (mg kg}^{-1} \text{ solo)} = FNt/Kn$, onde,

FNt : resultado da diferença entre a quantidade de N mineral recuperado no extrato da amostra liberados das amostras de solo fumigadas e não fumigadas.

Kn: (0,54) é uma constante, expressa que 54% da fração nitrogênio da biomassa microbiana foi recuperada pelo extrator, após o processo de fumigação extração (Wardle, 1994).

2.4.4 Carbono orgânico total

O carbono orgânico total do solo foi determinado pela oxidação via úmida com dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) em meio sulfúrico e posterior titulação com sulfato ferroso amoniacal, segundo método modificado em Walkley & Black (1934), descrito por Nelson & Sommers (1996). Para cada amostra foram pesados 0,5g de terra fina seca ao ar, passada em peneira de 0,5mm. Em um erlenmeyer de 500ml foram adicionados 10ml de dicromato de potássio e em seguida 20ml de ácido sulfúrico e a mistura permaneceu em repouso por 30 minutos. Após o repouso adicionaram-se 200ml de água destilada, 10ml de ácido fosfórico, e 1ml do indicador e procedeu-se a titulação com sulfato ferroso amoniacal.

O teor de matéria orgânica foi calculado pela seguinte formula:

$$M.O \text{ total}(\%) = 10 \times (1-A/B) \times 1,34 \text{ onde,}$$

A = Volume do sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra e B = volume do sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação do branco.

2.4.5 Nitrogênio total

O nitrogênio total do solo (N_{total}) foi determinado de acordo com Bremner e Mulvaney (1982), através do método da digestão úmida semimicro Kjeldahl procedendo a destilação a vapor e posterior titulação para a quantificação do NH_3 .

Pesaram-se 0,2 g de terra fina seca ao ar (TFSA), e cada amostra pesada foi colocada em tubos de ensaio, e adicionaram-se 0,8 g da mistura catalítica ($10 K_2SO_4 + 1 CuSO_4 \cdot 5H_2O$), juntamente com 3 ml de H_2SO_4 concentrado. As amostras foram agitadas e levadas ao bloco

digestor a 335°C, por 45 minutos. Após, adicionou-se 1 ml de água oxigenada e foram acrescentados aos tubos 10 ml de água destilada. Esta mistura foi destilada em erlenmeyer contendo 10 ml de ácido bórico a 2%. O destilado foi titulado com ácido sulfúrico 0,003 N. O nitrogênio foi calculado por meio de uma equação de regressão linear.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análises microbiológicas do solo

Os valores respiração basal (R.basal), carbono da biomassa microbiana (Cmic), carbono orgânico (Corg), nitrogênio da biomassa microbiana (Nmic), nitrogênio total (Ntotal), relação Nmic:Ntotal e relação Cmic:Corg foram submetidos à análise de variância, onde foram constatados como significantes os efeitos simples (tratamentos e épocas) e os efeitos das interações duplas (tratamentos x profundidades e tratamentos x épocas). Não foi observada interação significativa entre tratamentos e profundidades. Apenas não foi verificado efeito significativo para tratamentos na profundidade (Tabela 1.02).

Tabela 1.02. Valores de F da análise de variância para Respiração Basal (R.basal), carbono da biomassa microbiana (Cmic), carbono orgânico (Corg), nitrogênio da biomassa microbiana (Nmic), nitrogênio total (Ntotal), relação Nmic:Ntotal e relação Cmic:Corg, relacionado aos cinco tratamentos, quatro profundidades, três épocas e a interação entre eles.

F.V.	G.L	R. basal	Cmic	Corg	Nmic	Ntotal	Nmic:Ntotal	Cmic:Corg
Tratamentos	4	72,10*	71,35*	56,95*	7,88*	10,69*	6,16*	25,29*
Profundidade	1	5,82*	72,88*	67,93*	0,05 ^{ns}	26,71*	3,45 ^{ns}	66,76*
Épocas	2	97,66*	169,21*	49,50*	183,09*	543,54*	154,89*	448,16*
T x P	4	12,05*	38,82*	4,61*	32,75*	3,81*	26,63*	3,16*
T x E	8	25,06*	6,68*	47,84*	9,39*	7,06*	9,56*	19,89*

F.V – Fonte de variação; G.L – Grau de liberdade; T x P – interação Tratamentos e profundidades; T x E – interação Tratamentos e épocas; * significativo ao nível de 5% de probabilidade no teste F; ^{ns} – Não significativo.

3.1.1 Respiração Basal

Houve diferença estatística entre os sistemas de produção e as épocas de coleta de solo (Tabela 1.03). Observou-se que as médias nas forrageiras em monocultivos foram significativamente maiores na terceira época (03/2010). É possível que este resultado esteja associado à presença de maior quantidade de substâncias orgânicas lábeis, substratos e nutrientes que acarretam incremento na atividade microbiana. (Passos, 2000).

Houve alteração da respiração basal do solo nos tratamentos em que o milho foi consorciado com *B. humidicola* ou *Panicum maximum* comparado ao sistema com milho em monocultivo. Segundo Follet & Schimel (1989) a maior liberação de CO₂ geralmente é devido à maior atividade biológica que, por sua vez, está relacionada diretamente com a quantidade de carbono lábil existente no solo. Entretanto, elevados valores de respiração nem sempre indicam condições desejáveis: uma alta taxa de respiração pode significar, em curto prazo, liberação de nutrientes para as plantas e, em longo prazo, perda de carbono orgânico do solo para a atmosfera (Parkin et al., 1996).

Tabela 1.03. Respiração basal em solo do Cerrado, contendo os seguintes tratamentos: milho; *Brachiaria humidicola*; *Panicum maximum* cv Aruana; milho + *Panicum maximum* cv Aruana (Milho + P.max) e milho+*Brachiaria humidicola* (Milho + B.hum). Os dados representam as médias das 3 épocas de amostragem em duas profundidades 0-10 e 10-20cm.

Sistemas	Épocas			Profundidade (cm)	
	03/2008	11/2008	03/2010	0-10	10-20
	-----mg C-CO ₂ /kg solo/dia-----				
Milho	5,70 aB	6,99 aC	7,41 aBC	6,11 aC	7,29 aC
<i>Brachiaria humidicola</i>	7,93 cA	11,35 bA	14,68 aA	10,07 bA	12,58 aA
<i>Panicum maximum</i>	3,70 bC	8,44 aBC	8,80 aB	7,73 aBC	6,22 bC
Milho + P.max	8,25 bA	10,98 aA	6,32 cC	8,80 aB	8,23 aB
Milho + B.hum	7,25 aB	10,32 aAB	9,06 abB	9,06 aA	8,69 aB

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam o sistema na mesma coluna considerando a mesma variável. (Época ou profundidade) Letras minúsculas comparam o sistema na mesma linha (comparação entre os sistemas).

De modo geral a maior atividade microbiana ocorreu na segunda época (11/2008), possivelmente foi devido à deposição dos resíduos das culturas associada a precipitações pluviométricas mais freqüentes no verão, influenciou um maior crescimento da biomassa

microbiana. (Espíndola et al., 2001) ou devido ao não revolvimento do solo (Vargas & Scholles, 2000).

Jakelaitis et al. (2008), também obtiveram uma tendência com maiores valores ($24,17 \mu\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$) em área cultivada com milho em plantio direto, ($25,13 \mu\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$) em área de pastagem formada pelo consórcio de milho com *Brachiaria brizantha*, ($23,47 \mu\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$) em área de pastagem de *Brachiaria brizantha*, indicando maiores teores em áreas sob rotação e plantio direto que em áreas apenas com gramíneas.

A respiração basal foi semelhante nas duas profundidades do solo, com exceção dos tratamentos com *B. humidicula* e *P. maximum*, que apresentaram efeitos opostos no consórcio com *B. humidicula*, que a respiração basal foi maior na profundidade de 10-20 cm. Silva et al. (2010) encontraram valores de respiração basal maiores na profundidade 0-10 cm em cultivo convencional com milho $104,3 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1} \text{C-CO}_2$ e $80,9 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1} \text{C-CO}_2$, na profundidade 10-20 cm e no cultivo de plantio direto do milho $186,6 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1} \text{C-CO}_2$ na profundidade superficial, em relação à profundidade de 10-20 cm, cujos valores foram $164,1 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1} \text{C-CO}_2$.

A maior atividade microbiana do solo pode ser resultante do acúmulo de matéria orgânica rica em frações lábeis (carboidratos, compostos nitrogenados e a própria biomassa microbiana e seus metabólitos) na superfície do solo, suscetível à decomposição com conseqüente liberação de nutrientes para as plantas, como pode ser reflexo de um consumo intenso de C oxidável pela população microbiana para a sua manutenção, em circunstâncias em que a biomassa microbiana encontra-se sob algum fator de estresse (Tótolá; Chaer, 2002).

3.1.2 Carbono da Biomassa Microbiana

Nas três épocas de amostragem, os consórcios de milho + *B. humidicula* e milho + *P. maximum* apresentaram maior carbono da biomassa microbiana que o sistema em monocultivo (Tabela 1.04).

A comparação entre as épocas de amostragem dentro de cada sistema de produção mostrou que houve aumento da primeira época (03/2008) para terceira época (03/2010) em todos os sistemas estudados. Não houve diferença estatística no sistema com milho em monocultivo. O aumento da biomassa microbiana em sistema de plantio direto ocorre devido à adição de resíduos culturais na superfície do solo (Roldán et al., 2003) e à maior diversidade vegetal, disponibilidade de substratos orgânicos com composição variada e maior diversidade

de compostos orgânicos depositados na rizosfera (Andréa et al., 2000), favorecendo o crescimento e atividade microbiana do solo.

O Cmic foi maior nos consórcios das pastagens com milho do que nas pastagens em monocultivo. Resultados diferentes foram obtidos por Silva et al. (2007) que observaram que a braquiária consorciada com milho apresentou carbono da biomassa microbiana do solo de 398 mg de C kg⁻¹ de solo e a braquiária em monocultivo, apresentou (401 mg de C kg⁻¹ de solo).

Tabela 1.04. Carbono da biomassa microbiana em solo do Cerrado, contendo os seguintes tratamentos: milho; *Brachiaria humidicula*; *Panicum maximum* cv Aruana; milho + *Panicum maximum* cv Aruana (Milho + P.max) e milho+*Brachiaria humidicula* (Milho + B.hum). Os dados representam as médias das 3 épocas de amostragem em duas profundidades 0-10 e 10-20cm.

Sistemas	Épocas			Profundidade (cm)	
	03/2008	11/2008	03/2010	0-10	10-20
----- mg C/kg solo -----					
Milho	107,25 aB	151,61 aB	235,91 aBC	176,92 aB	152,92 bD
<i>Brachiaria humidicula</i>	143,55 bB	144,36 bB	263,79 aA	163,93 bB	203,87 aC
<i>Panicum maximum</i>	123,32 bB	150,57 bB	209,18 aC	162,48 aB	159,65 aD
Milho + P.max	221,32 aA	224,05 aA	261,83 aA	220,91 bA	250,91 bB
Milho + B.hum	221,64 aA	224,02 bA	290,06 aA	207,72 bA	282,77 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam o sistema na mesma coluna considerando a mesma variável. (Época ou profundidade) Letras minúsculas comparam o sistema na mesma linha (comparação entre os sistemas).

O tipo de vegetação e as condições ambientais são fatores que determinam a quantidade e a qualidade do material que se deposita no solo, influenciando a heterogeneidade da microbiota e a taxa de decomposição (Moreira e Siqueira, 2006).

Nas profundidades do solo, o carbono da biomassa microbiana foi maior nos tratamentos consorciados, comparados ao milho em monocultivo (Tabela 1.04), sugerindo que houve incremento de matéria orgânica pelos sistemas consorciados, contribuindo para aumento da biomassa microbiana no solo.

No geral, o Cmic foi maior na profundidade de 10 - 20 cm. Este resultado contraria resultados encontrados no estudo de Giacomini et al. (2006), que obtiveram valores superiores

deste atributo nas profundidades mais superficiais do solo, mas, no presente trabalho os resultados obtidos podem ser explicados em função da diversidade das espécies vegetais e consequentemente à maior densidade radicular nos consórcios.

3.1.3 Carbono Orgânico

Na tabela 1.05 encontram-se os resultados de carbono orgânico e, em geral, este indicador não se alterou nas épocas de coleta. O maior valor obtido foi 28,88 g/kg solo no sistema *Panicum m.* cv Aruana, e o menor valor foi 19,67 g/kg no sistema com *B. humidicula*.

Os resultados deste trabalho são superiores aos encontrados por Leite et al. (2010), que observaram valores para plantio direto, em 2 anos na profundidade de 5-10 cm de 21,7 g/kg, e na profundidade de 10-20cm, 15,9 g/kg, e no sistema de plantio direto com 6 anos de implantação, na camada de 5-10cm, o valor foi de 24,4 g/kg e na profundidade de 10-20 foi de 21,9 g/kg.

Em pesquisa realizada por Siqueira Neto et al. (2009) foram encontrados valores também inferiores aos obtidos neste trabalho, na profundidade de 5-10cm em sistema de sucessões milho/trigo, 11,6 g/kg, e na profundidade de 10-20 cm, o valor de 11,1 g/kg; e em manejo de plantio direto com 22 anos, com mesmo sistema de plantio, valores de 20,8 e 19,5 g/kg nas profundidades de 5-10 e 10-20, respectivamente.

No plantio direto a adoção de manejo como a ausência de revolvimento do solo, a consorciação de culturas e a permanência dos resíduos culturais na superfície (Conceição et al., 2005) favorecem a agregação das partículas que protege da mineralização e promove o aumento da matéria orgânica do solo (Sá et al., 2001). Entretanto, o acúmulo de C pode variar regionalmente devido às condições climáticas (Carvalho et al., 2010), ao tipo de solo (Bayer & Mielniczuk, 1999), ao manejo aplicado e, principalmente, em função do tempo de implantação do SPD (Carvalho et al., 2009).

Entre as profundidades de solo, houve comportamento diferenciado entre os sistemas de produção; o *P. maximum* cv. Aruana + milho foi semelhante nas duas profundidades do solo; já no sistema milho em monocultivo houve menor Corg na profundidade de 10-20 cm. A *B. humidicula* solteira apresentou Corg semelhante entre as profundidades do solo; já em consórcio, o Corg foi menor na profundidade de 10-20 cm (Tabela 1.05).

Tabela 1.05. Carbono orgânico em solo do Cerrado, contendo os seguintes tratamentos: milho; *Brachiaria humidicula*; *Panicum maximum* cv Aruana; milho + *Panicum maximum* cv Aruana (Milho + P.max) e milho+*Brachiaria humidicula*(Milho + B.hum). Os dados representam as médias das 3 épocas de amostragem em duas profundidades 0-10 e 10-20cm.

Sistemas	Épocas			Profundidade (cm)	
	03/2008	11/2008	03/2010	0-10	10-20
----- g kg ⁻¹ solo -----					
Milho	25,74 aAB	26,86 aAB	27,44 aA	27,98 aA	25,38 bA
Brachiaria humidicula	23,60 aB	25,83 aB	26,88 aA	21,21 aC	19,67 aB
Panicum maximum	26,62 aA	28,88 aA	26,93 aA	28,87 aA	26,09 bA
Milho + P.max	23,37 bB	25,83 aB	26,25 aA	25,21 aB	25,09 aA
Milho + B.hum	24,16 aB	26,96 aAB	26,16 aA	27,05 aAB	24,47 bA

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam o sistema na mesma coluna considerando a mesma variável. (Época ou profundidade) Letras minúsculas comparam o sistema na mesma linha (comparação entre os sistemas).

A presença de maiores teores de carbono orgânico na profundidade de 0-10 cm está relacionada ao maior aporte de fitomassa na superfície e a redução no uso de implementos agrícolas para o preparo do solo onde todos os sistemas foram manejados sob sistema de plantio direto, aumentando a quantidade de MO e diminuindo a decomposição do material orgânico protegido fisicamente nos agregados do solo (Jantalia et al., 2007), levando a maiores teores na superfície que nas profundidades inferiores (Sisti et al., 2004).

3.1.4 Nitrogênio da Biomassa

Os maiores valores de nitrogênio da biomassa microbiana foram obtidos na primeira época (03/2008) em relação às outras épocas, para a maioria dos sistemas de produção (Tabela 1.06). Dentro da primeira época (03/2008) o maior valor foi 32,76 mg N kg⁻¹, o sistema com milho + *P. maximum* cv Aruana, e o menor valor foi 20,71 mg N kg⁻¹ de solo no sistema com capim *P. maximum* cv Aruana. Na segunda época (11/2008) não houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos e na terceira época (03/2010) o menor valor encontrado foi no sistema em consorciação milho + capim *P. maximum* cv Aruana (9,56 mg

N kg⁻¹ de solo) e o maior valor foi no sistema milho + *B. humidicula* (20,03 mg N kg⁻¹ de solo).

Tabela 1.06. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo do Cerrado, contendo os seguintes tratamentos: milho; *Brachiaria humidicula*; *Panicum maximum* cv Aruana; milho + *Panicum maximum* cv Aruana (Milho + P.max) e milho+*Brachiaria humidicula* (Milho + B.hum). Os dados representam as médias das 3 épocas de amostragem em duas profundidades 0-10 e 10-20cm.

Sistemas	Épocas			Profundidade (cm)	
	03/2008	11/2008	03/2010	0-10	10-20
	----- mg N kg ⁻¹ de solo -----				
Milho	23,96 aBC	8,50 bA	17,10 aAB	13,03 bB	20,07 aA
<i>Brachiaria humidicula</i>	26,92 aABC	12,84 bA	11,88 bBC	15,46 bB	18,96 aAB
<i>Panicum maximum</i>	20,71 aC	7,64 bA	16,95 aAB	16,09 aB	14,11 aC
Milho + P. max	32,76 aA	13,65 bA	9,56 bC	21,33 aA	15,98 bBC
Milho + B.hum	29,38 aAB	13,01 cA	20,03 bA	22,19 aA	19,42 aAB

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam o sistema na mesma coluna considerando a mesma variável. (Época ou profundidade) Letras minúsculas comparam o sistema na mesma linha (comparação entre os sistemas).

Em solos sob pastagem e plantio direto, tem-se observado aumento no Nmic somente em longo prazo (Hatch et al., 2000), devido ao efeito acumulativo de resíduo vegetal e conseqüente aumento de C orgânico no solo (Vargas et al., 2005) e, quanto maior a presença de raízes como nos sistemas em consorciação estudados, maior a exsudação de compostos orgânicos, que servem como fonte de C e energia à biomassa microbiana do solo.

Em geral, os maiores valores de Nmic foram obtidos na profundidade de 0-10 cm; os sistemas em consorciação apresentaram maiores valores (21,33 mg N kg⁻¹ de solo para consorciação milho + capim *P. maximum* cv Aruana e 22,11 mg N kg⁻¹ no sistema em consorciação milho + *B. humidicula*).

Em área sob plantio direto com soja, Perez et al. (2005) encontrou valores entre 10,50 mg N kg⁻¹ na profundidade 30-40 cm e 21,12 mg N kg⁻¹ de solo na profundidade de 0-5cm, corroborando com o presente estudo.

A liberação ou imobilização desses nutrientes depende da dinâmica dos microrganismos, da quantidade de resíduos vegetais, do rápido retorno e da eficiência de utilização de carbono pela microbiota (Baudoin et al., 2003).

3.1.5 Nitrogênio Total

Não houve diferenças estatísticas no N total entre os tratamentos nas primeiras épocas de coleta; já na terceira época, os tratamentos com milho em monocultivo e em consórcio com *P. maximum* cv. Aruana apresentaram os maiores valores de Ntotal.

Tabela 1.07. Nitrogênio total em solo do Cerrado, contendo os seguintes tratamentos: milho; *Brachiaria humidicula*; *Panicum maximum* cv Aruana; milho + *Panicum maximum* cv Aruana (Milho + P.max) e milho+*Brachiaria humidicula* (Milho + B.hum). Os dados representam as médias das 3 épocas de amostragem em duas profundidades 0-10 e 10-20cm.

Sistemas	Épocas			Profundidade (cm)	
	03/2008	11/2008	03/2010	0-10	10-20
----- g N/kg ⁻¹ solo -----					
Milho	1,64 bA	1,43 cA	1,89 aA	1,60 bA	1,70 aA
<i>Brachiaria humidicula</i>	1,59 bAB	1,46 cA	1,72 aB	1,56 aAB	1,61 aB
<i>Panicum maximum</i>	1,57 bAB	1,40 cA	1,72 aB	1,54 aB	1,58 aB
Milho + P.max	1,53 bAB	1,41 cA	1,85 aA	1,60 aA	1,60 aB
Milho + B.hum	1,55 bAB	1,40 cA	1,80 aAB	1,56 aAB	1,60 aB

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam o sistema na mesma coluna considerando a mesma variável. (Época ou profundidade) Letras minúsculas comparam o sistema na mesma linha (comparação entre os sistemas).

Entre as profundidades do solo, em geral, não houve diferença significativa entre as médias. Este fato pode estar relacionado ao tempo de adoção do plantio direto (apenas três anos) e aos aportes de plantas cultivadas que não foram suficientes para promover alterações positivas nos conteúdos de N total do solo; resultados semelhantes também foram observados por D'Andréa et al (2004), em áreas com soja sob plantio direto no Cerrado.

Embora o plantio direto promova um aumento nos teores de nitrogênio total do solo, freqüentemente se observa uma menor absorção de nitrogênio no sistema com milho, em comparação com um sistema convencional (Amado et al., 2000). Uma das causas prováveis

para a menor disponibilidade de nitrogênio no sistema plantio direto é a imobilização microbiana do N. A maior imobilização microbiana ocorre nas camadas superficiais do solo sob plantio direto, podendo ser suficientemente elevada para, isoladamente, afetar a absorção de nitrogênio pelas plantas (Vargas & Scholles, 1998).

3.1.6. $N_{mic}:N_{total}$

Para a relação $N_{mic}:N_{total}$, a primeira época (03/2008) foi superior em todos os sistemas, em relação às outras épocas analisadas, com exceção da terceira época (03/2010) para o *P. maximum* cv. Aruana (Tabela 1.08). Na primeira época, os maiores valores foram obtidos nos consórcios de milho e forragens. Na segunda época, o sistema em consorciação milho + *P. maximum* cv Aruana representou 1,02% e na época 3, a razão $N_{mic}:N_{total}$ foi maior para o sistema em consorciação com milho + *B. humidicula*. Isto sugere que, em geral os sistemas em consorciação foram os mais eficientes na imobilização do nitrogênio da biomassa microbiana, reduzindo dessa forma sua perda no solo. Segundo Sparling (1992), quanto maior for esta relação, melhor será a qualidade da matéria orgânica do solo.

Em geral, os maiores valores de $N_{mic}:N_{total}$ foram na profundidade superficial 0-10 cm e os sistemas em consorciação atingiram os maiores valores, representando 1,37% do N total do solo. Em contrapartida, o sistema milho em monocultivo, para esta profundidade, representou a menor porcentagem com 0,81% do N total do solo. Na profundidade 10-20 não houve diferença significativa entre os sistemas milho e *B. humidicula*, e os sistema *P. maximum* cv Aruana diferiram do sistema cultivado com milho. O sistema milho foi o único a apresentar comportamento crescente da profundidade de 0-10 cm para profundidade de 10-20 cm.

A razão $N_{mic}:N_{total}$ pode ser alterada pela fertilização nitrogenada (Coser et al., 2007), pela queima e manejo do solo e queima dos restos culturais (Barbosa, 2010).

Tabela 1.08. Relação Nmic:Ntotal em solo do Cerrado, contendo os seguintes tratamentos: milho; *Brachiaria humidicula*; *Panicum maximum* cv Aruana; milho + *Panicum maximum* cv Aruana (Milho + P.max) e milho+*Brachiaria humidicula* (Milho + B.hum). Os dados representam as médias das 3 épocas de amostragem em duas profundidades 0-10 e 10-20cm.

Sistemas	Épocas			Profundidade (cm)	
	03/2008	11/2008	03/2010	0-10	10-20
	-----%-----				
Milho	1,50 aB	0,65 bAB	0,93 bAB	0,81 bB	1,24 aA
<i>Brachiaria humidicula</i>	1,46 aBC	0,86 bAB	0,67 bAB	0,95 aB	1,04 aAB
<i>Panicum maximum</i>	1,29 aC	0,55 bB	1,00 aA	1,02 aB	0,88 aB
Milho + P.max	2,06 aA	1,02 bA	0,50 cB	1,37 aA	1,02 bAB
Milho + B.hum	1,83 aA	0,84 bAB	1,02 bA	1,37 aA	1,08 bAB

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam o sistema na mesma coluna considerando a mesma variável. (Época ou profundidade) Letras minúsculas comparam o sistema na mesma linha (comparação entre os sistemas).

3.1.7. Cmic:Corg

A relação Cmicrobiano:Corgânico é um indicador da disponibilidade da matéria orgânica para os microrganismos (Leite et al., 2004); no presente trabalho, houve diferença significativa nas três épocas analisadas (Tabela 1.09). Os maiores valores foram obtidos nos sistemas em consorciação nas duas primeiras. Na terceira época (03/2010), o maior valor foi no sistema com *B. humidicula* (2,25%), seguido pelos sistemas em consorciação milho+ *B. humidicula* (1,10%) e milho + *P. maximum* cv Aruana (0,99%) sugerindo que houve incremento de matéria orgânica nos sistemas com maior massa radicular.

Carneiro (2008), estudando as alterações no carbono orgânico do solo, na biomassa e atividade microbiana do solo, em dois tipos de solo de Cerrado, sob diferentes sistemas de manejo e uso do solo, obteve valores de 4,3% em sistema de milho com brachiária, 5,6% em soja com brachiária e 4% em área de cerrado.

Sousa et al. (2006), encontrou valores de 0,7% em milheto sob sistema convencional e em pastagem valor de 1,1%.

Tabela 1.09. Relação Cmicrobiano sobre o Corganico em solo do Cerrado, contendo os seguintes tratamentos: milho; *Brachiaria humidicula*; *Panicum maximum* cv Aruana; milho + *Panicum maximum* cv Aruana (Milho + P.max) e milho+*Brachiaria humidicula* (Milho + B.hum). Os dados representam as médias das 3 épocas de amostragem em duas profundidades 0-10 e 10-20cm.

Sistemas	Épocas			Profundidade (cm)	
	03/2008	11/2008	03/2010	0-10	10-20
	-----%-----				
Milho	0,40 bB	0,56 bB	0,86 aB	0,63 aBC	0,59 aB
Brachiaria humidicula	0,60 bAB	0,56 abB	2,25 aA	0,98 bA	1,31 aA
Panicum maximum	0,46 aB	0,54 aB	0,77 aB	0,57 aC	0,62 aB
Milho + P.max	0,95 aA	0,87 aA	0,99 aB	0,88 b AB	1,00 aA
Milho + B.hum	0,92 aA	0,90 aA	1,10 aB	0,79 bB	1,16 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam o sistema na mesma coluna considerando a mesma variável. (Época ou profundidade) Letras minúsculas comparam o sistema na mesma linha (comparação entre os sistemas).

Em geral, a relação Cmic:Corg foi maior na profundidade de 10-20 cm, sugerindo que em consórcio Milho + *B. humidicula* e milho + *P. maximum* cv Aruana, houve melhoria da qualidade da camada orgânica do solo nas camadas mais profundas (10-20cm). Outros autores encontraram maior relação Carbono microbiano: C orgânico na profundidade de 10-20 cm, em solo sob plantio direto após dois anos de implantação (Leite et al., 2010).

Apesar dos sistemas de produção estudados no presente trabalho estarem no terceiro ano de implantação (segundo ano com plantio direto), pode-se observar que os indicadores microbiológicos do solo se alteraram mais rapidamente que o N total do solo. Foi observado também que o carbono da biomassa microbiana, em geral, foi maior nos sistemas consorciados milho + *B. humidicula* e milho+ *P maximum* cv Aruana, favorecido, provavelmente, pela maior densidade radicular e por exsudados liberados pelas raízes das plantas em consórcio (Tabela 1.09).

4. CONCLUSÕES

1. A adoção do sistema de consorciação de culturas mostrou-se eficiente no aumento da atividade microbiana e no carbono da biomassa;
2. O carbono orgânico foi um indicador responsivo à interação dos efeitos dos sistemas de manejo das culturas consorciadas em comparação à cultura cultivada sem consorciação.
3. A relação $C_{mic} : C_{org}$ apresentou maiores valores nos sistemas em consorcio, indicando maior qualidade da matéria orgânica do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADACHI, M.; BEKKU, Y. S.; RASHIDAH, W.; OKUDA, T.; KOIZUMI, H. Differences in soil respiration between different tropical ecosystems. **Applied Soil Ecology**, v. 34, n. 2-3, p. 258-265, 2006.

ALEF, K.; NANNIPIERRE, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995. 576 p.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J; FERNANDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 179-189, 2000.

ANDRÉA, A. F. d'; 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, n.4, p.913-923, 2000.

ARAUJO, R; GOEDERT. J.W; LACERDA C.P.M. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n. 5, p.1099-1108, 2007.

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 Soils**, v. 38, n. 1, p. 15-20, 2003.

BARBOSA, L.A. **Impactos de sistemas de cultivo orgânico e convencional da cana-de-açúcar nos atributos do solo**. Universidade de Brasília – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2010. 80p. (Dissertação de mestrado).

BAUDOIN, E.; BENIZRI, E.; GUCKERT, A. Impact of artificial root exudates on the bacterial community structure in bulk soil and maize rhizosphere. **Soil Biology and Biochemistry**, v.35, p.1183- 1192, 2003.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F.A. de O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.1-26.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; SANTOS, S.R. Física do solo, diagnóstico e manejo da compactação em plantio direto. In: FONTOURA, S.M.V.; BAYER, C. **Manejo e fertilidade de solos em plantio direto**. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2006. 218p.

BREMNER, J.M.; MULVANEY, C.S. Nitrogen total. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R. (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties**. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, 1982. v. 2, p.595-624. (Agronomy monograph, 9).

CARNEIRO, M. A. C., ASSIS, P. C. R.; MELO, L. B. C.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B., SILVEIRA NEETO, A. N. Atributos bioquímicos em dois solos de Cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n.4, p. 276-283, 2008.

CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; PICOLLO, M. C.; GODINHO, V. P.; CERRI, C.C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. **Soil and Tillage Research**, v.103, p.342-349, 2009.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R. de; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil: uma revisão de literatura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.277-289, 2010.

CHAER, G. M. & TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1381- 1396, 2007.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 9, n. 5, p. 777-788, 2005.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte e depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p. 425-432, 1999.

CORDEIRO, F. C. **Atributos edáficos em área de pastagem plantada em relevo movimentado no noroeste do Estado do Rio de Janeiro**. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006. 89p. (Tese de Mestrado)

COSER, T. R.; RAMOS, M. L. G.; AMABILE, R. F.; & RIBEIRO JUNIOR, W. Q. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo de Cerrado com aplicação de fertilizante nitrogenado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.3, p.399-406, 2007.

DORAN, J. W. & PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; CELEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for sustainable environment. Madison, **Soil Science Society of America**, v.3-21, 1994. (Special Publication, 35)

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e formas de nitrogênio mineral em solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 2, p. 179-186, 2004.

EEKEREN, N.; BOMMELE, L.; BLOEM, J.; SCHOUTEN, T.; RUTGERS, M. DE GOEDE, R., REHEUL, D.; BRUSSAARD, L. Soil biological quality after 36 years of ley-arable cropping, permanent grassland and permanent arable cropping. **Applied Soil Ecology**, v.40, p.432-446, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA -EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FERREIRA, E. A.; RESCK, D. V.; GOMES, A. C.; & RAMOS, M. L. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.31, p.1625-1635, 2007.

FERREIRA, E. P.; SANTOS, H. P. S.; COSTA, J. R.; DE-POLLI, H.; & RUMJANEK, N. G. Indicadores microbianos da qualidade do solo sob diferentes rotações de culturas e manejo do solo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 177-183, 2010.

FOLLET, R.F.; SCHIMEL, D.S. Effect of tillage practices on microbial biomass dynamics. **Soil Science Society of America Journal**, v.53, p.1091-1096, 1989.

FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; COSTA, A. R. C.; OLIVEIRA, G. C. O.; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo Vermelho Distrófico de Cerrado sob duas rotações de culturas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n.1, p. 22-30, 2007.

GARCÍA-PRÉCHAC, F.; ERNST, O.; SIRI-PRIETO, G.; TERRA, J. A. Integrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguay. **Soil and Tillage Research**, v.77, p.1-13, 2004.

GIACOMINI, S. J.; JANTALIA, C.; AITA, C.; SANTOS, G. F.; ALVES, B. **Biomassa microbiana e potencial de mineralização do carbono e do nitrogênio do solo em sistemas de preparo de culturas**. Fertibio, 2006.

GOEDERT, W. J. Management of the cerrado soils of Brazil: a review. **European Journal of Soil Science**, v. 34, p. 405-428, 1983.

HATCH, D. J.; LOVELL, R. D.; ANTIL, R. S.; JARVIS, S.C. & OWEN, P.M. Nitrogen mineralization and microbial activity in permanent pastures amended with nitrogen fertilizer or dung. **Biology and Fertility of Soils**, v.30, p.288-293, 2000.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; SANTOS, J.B.; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagem e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.38, p.118-127, 2008.

JANTALIA, C. P.; RESCK, D. V. S.; ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. **Soil and Tillage Research**, v.95, n.1, p.97-109, 2007.

LEITE, L. F. C.; GALVÃO, S. R. S.; HILANDA NETO, M. R.; ARAÚJO, F. S.; & IWATA, B. F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.12, p.1273–1280, 2010.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A. & GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p.821-832, 2003.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S. & MACHADO, P. L. O. A. Simulação pelo Modelo Century da dinâmica da matéria orgânica de um Argissolo sob adubação mineral e orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.347-358, 2004.

LITTELL, R. C.; MILLIKEN, G. A.; STROUP, W. W.; WOLFINGER, R. D. **SAS System for Mixed Models**. Cary: Statistical Analysis System Institute, 1996. 633p.

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; MARCHETTI, M. E.; SOUZA, L. C. F. C.; SOUZA, C. M. A.; GONÇALVES, M. C.; SILVA, M. A. G. Rotação de culturas e relações com atributos químicos e microbiológicos do solo e produtividade do milho. *Ciências Agrárias*, v. 31, n. 4, p. 829-842, 2010.

MARCHIORI JÚNIOR, M. & MELO, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, p.1177-1182, 2000.

MATIAS, M. C. B.; SALVIANO, A. A. C.; LEITE, L. F. C.; & ARAÚJO A. S. F. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do Estado do Piauí. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 31, n. 3, p. 517-521, 2009.

MENDES, I.C. & VIVALDI, L.A. Dinâmica da biomassa e atividade microbiana em uma área sob mata de galeria na região do Distrito Federal. In: RIBEIRO, J.F.; FONSECA, C.E.L.;

SOUZA-SILVA, J.C (Eds). **Cerrado: caracterização e recuperação de matas de galeria**. Planaltina: Embrapa Cerrados, p.665-687, 2001.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BESAN, F. M.; LOVATO, T.; FERNÁNDEZ, F. F. & DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S. & ALVAREZ V., V. H., eds. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3, p.209-248, 2003.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras:UFLA, 2002. 625 p.

NETO, S. S.; VENZKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M. C.; CERRI, C. E. P.; & CERRI, C. C. Rotação de culturas no sistema de plantio direto em Tinagi (PR). I – Sequestro de carbono no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1013-1022, 2009.

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

PASSOS, R. R. **Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2000. 89p. (Tese de Doutorado).

PASSOS, R. R.; RUIZ, H. A.; CANTARUTTI, R. B.; & MENDONÇA, E. S. Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um Latossolo Vermelho Distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1109-1118, 2007.

PEREZ, K. S.; RAMOS, M. L.; 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, 2005.

RASMUSSEN, P. E.; ALBRECHT, S. L. & SMILEY, R.W. Soil C and N changes under tillage and cropping systems in semi-arid pacific northwest agriculture. **Soil Till**, v.47, p.197-205, 1998.

ROLDÁN, A.; CARAVACA, F.; HERNÁNDEZ; GARCÍA, C.; SÁNCHEZ-BRITO, C.VELÁSQUEZ, M.TISCAREÑO, M. No-tillage, crop residue additions, and legume cover cropping effects on soil quality characteristics under maize in Patzcuaro watershed (Mexico). **Soil and Tillage Research**, New York, v.72, p. 65-73, 2003.

ROZANE, D.E.; CENTURION, J. FF.; ROMUALDO, L. M.; TANIGUCHI, C, A, K.; TRABUCO, M.; ALVES, A. U. Estoques de carbono e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho Distrófico, sob diferentes manejos. **Bioscience Journal**, v. 26, n.1, p. 24-32, 2010.

SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; DICK, A. W.; LAL, R.; VENZKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. J. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian oxisol. **Soil Science Society of American Journal**, v. 65, n. 5, p. 1486-1499, 2001.

SAMPAIO, D. B.; ARAÚJO. A. S.; SANTOS, V.B. Avaliação de indicadores biológicos de qualidade do solo sob sistemas de cultivo convencional e orgânico de frutas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 2, p. 353-359, 2008.

SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A O. (editores). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Ed. Genesis, Porto Alegre, Brasil. 508pp, 1999.

SAS Institute. User's Guide. versão 9.1.3, versão para Windows. Cary, NC, USA, - 2008.

SILVA, M. B.;KLIEMANN, H.; SILVEIRA, P. M.; & LANNA, A. C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetale do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.12, p.1755-1761, dez. 2007.

SILVA, E. E., da; AZEVEDO, P.H.S.; DE-POLLI, H. **Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C)**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 6p. Comunicado Técnico.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L.; CARDOSO, E.L.; MOREIRA, F.M., CURI, N.; & ALOVISI, A. M. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campo das Vertentes – MG.R.Bras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p. 1585-1592, 2010.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. de C.; SCOPEL, E.; COSTA JUNIOR, C. da; CERRI, C.C; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.31, p.709-717, 2009.

SISTI, C. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 76, n.1, p. 39-58, 2004.

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.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A.; PAULINO, H. B.; SILVA, C. A.; BUZETTI, S. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, n.3, p. 323-329, 2006.

TÓTOLA, M. R. & CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade dos solos. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V. V.H. & SCHAEFER, C.E.G.R., (Eds.) **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, v. 2, p. 195-276, 2002.

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

VARGAS, L. K.; SHOLLES, 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**, Viçosa, v.24, p.35-42, 2000.

VARGAS, L. K.; SCHOLLES, D. Nitrogênio da biomassa microbiana, em sistemas de manejo do solo, estimado por métodos de fumigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.3, p.411-417, 1998.

VARGAS, L.K.; SELBACH, P.A. & SÁ, E.L.S. Imobilização de nitrogênio em solo cultivado com milho em sucessão à aveia-preta nos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, v.35, p.76-83, 2005.

WARDLE, D. A. Metodologia para a quantificação da biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Embrapa, Brasília, DF. 542p, 1994.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, p. 29-38, 1934.

CAPÍTULO 2

Trabalho a ser encaminhado para a revista Bioscience Journal

Frações da matéria orgânica em Latossolo sob plantio direto com consórcio milho e forrageiras

Resumo

A dinâmica da matéria orgânica do solo é controlada pela adição de resíduos orgânicos, por uma transformação contínua sob ação de fatores biológicos, químicos, físicos e pode ser alterada com maior ou menor intensidade, dependendo do sistema de cultivo utilizado. O estudo dos seus compartimentos visa obter informações a cerca da sua estabilidade, localização na estrutura do solo, bem como sua quantidade e qualidade. quantificar as frações da matéria orgânica em solo sob manejo de plantio direto com consórcio milho e forrageiras. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com três repetições e 5 tratamentos (sistemas de cultivos), com medidas repetidas no espaço. Os tratamentos constituíram-se de milho em monocultivo; *Brachiaria humidicula*; *Panicum maximum* cv Aruana; milho + *Brachiaria humidicula* e milho + capim *Panicum maximum* cv Aruana. Foram determinados os teores de carbono orgânico total, carbono orgânico particulado e carbono orgânico associado aos minerais do solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm. Foram também quantificados os acréscimos e reduções desses teores utilizando-se a área de cerrado como referência. Os resultados demonstraram que os sistemas com consorciação de culturas e forragens alteraram os diferentes compartimentos da matéria orgânica do solo. Dentre as frações avaliadas o C da matéria orgânica particulada mostrou-se o mais sensível em detectar os impactos dos sistemas de manejo utilizados.

Palavras-chave - Sistema de cultivo, matéria orgânica particulada, fracionamento.

Fractions of Latossolo organic matter under no-till corn and pasture consortium

Abstract

Soil organic matter dynamic is controlled by addition of organic residues, by a continuous transformation under biological, chemical, physical soil properties and can be changed with higher or lower intensity, depending on soil management used. The study of its compartments aims to obtain information about soil organic matter stability, location in the soil structure as well as their quantity and quality. This study aimed to evaluate soil organic matter fractions in Cerrado soil under no-tillage management with annual crops and pasture intercropping. The experimental design was a randomized block, with three replications and five treatments (cropping systems), with repeated measures in space. The treatments were: corn; *Brachiaria humidicola*; *Panicum maximum* cv Aruana; corn + *Brachiaria humidicola*, corn + *Panicum maximum* cv Aruana. Total organic carbon, particulate organic carbon and organic carbon associated with minerals were analyzed at the following layers: 0-5, 5-10, 10-20 and 20-30 cm. Increases and reductions of these levels, using the Cerrado as a reference, were analyzed. The results showed that treatments with intercropping and fodder caused different effects on organic matter pools. Among the fractions studied, particulate organic carbon showed to be more sensitive to the impacts caused by management systems.

Key words - Cropping system. particulate organic matter. fractionation.

1. INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo tem grande importância em regiões de clima quente e úmido, como as que predominam no Brasil (tropical e subtropical), pois este compartimento representa uma importante reserva de carbono no solo. Nessas regiões, com o intenso revolvimento do solo para plantio há rápida mineralização de resíduos vegetais e conseqüente diminuição dos estoques de matéria orgânica do solo (MOS).

Quando há substituição de ecossistemas naturais por sistemas agrícolas, geralmente ocorre o declínio do conteúdo de C do solo (Rosa et al., 2003). Entretanto, sistemas conservacionistas tendem, com o tempo, a apresentar incremento de matéria orgânica na superfície do solo (Canellas et al., 2003; Rangel; Silva, 2007).

O sistema de consorciação de culturas, componente básico de um sistema de manejo conservacionista, pode reduzir as perdas de estoque de carbono orgânico total (COT) do solo, pela manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo e proteção física da matéria orgânica em agregados de solo (Six et al., 2004; Conceição, 2006).

Bayer et al (2006) relatam, em estudos com solos agrícolas do sul do Brasil, taxa média de retenção de carbono atmosférico de $0,48 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em solos manejados sob sistema de plantio direto.

As diferentes frações de C orgânico do solo apresentam características químicas, físicas e morfológicas diferentes entre si, e a distribuição dessas frações no solo pode indicar a qualidade da matéria orgânica. Neste contexto pode-se utilizar como indicador da mudança de manejo do solo ou da qualidade ambiental, a distribuição das frações de matéria orgânica (Rangel; Silva, 2007; Dias et al., 2007).

O estoque de C do solo compreende frações intimamente associadas aos minerais, até frações mais lábeis, pouco ou não associadas à fração mineral, como os resíduos vegetais existentes entre e dentro de agregados do solo (Roscoe; Machado, 2002). Essa divisão, permite melhor entendimento da dinâmica da MOS.

O fracionamento granulométrico da MOS consiste na separação de duas frações orgânicas: o carbono orgânico particulado (COp) e o carbono orgânico associado aos minerais (COam) (Cambardella; Elliott, 1992). O COp é a fração da MOS separada por dispersão e peneiramento do solo associada à fração areia (COp > $53\mu\text{m}$), sendo caracterizado como partículas derivadas de resíduos de plantas e hifas com estrutura celulares reconhecíveis, cuja permanência no solo está condicionada à proteção física desempenhada por agregados (Golchin et al., 1994). O COam é a fração da MOS associada às frações silte e argila do solo

(CO_{am} < 53µm), sendo definida como a fração da MOS que interage com a superfície de partículas minerais, formando os complexos organominerais, estando protegida pelo mecanismo de proteção coloidal (Christensen, 1996).

Em condições tropicais, estudos sobre usos e manejos que visam à manutenção ou recuperação dos estoques de C no solo são muito importantes para contribuir para a sustentabilidade da produção e redução de problemas ambientais. Partindo desta afirmativa, este trabalho teve como objetivo estudar as frações da matéria orgânica em solo do Cerrado numa área sob manejo de plantio direto com consorciação de milho e forrageiras

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi implantado no mês de novembro de 2007, e conduzido na Fazenda Água Limpa - FAL, campo experimental da Universidade de Brasília UnB, localizada na Vargem Bonita, porção Sul-Sudoeste da região administrativa do Lago Sul, no DF (15°55'58''S e 47° 51'02''W e altitude de 1080 metros).

O clima é do tipo Aw, tropical estacional de savana, de acordo com a classificação de Köppen, apresentando um período chuvoso de outubro a março, e um período de seca de abril a setembro. A região apresenta precipitação anual média de 1550 mm, com umidade relativa do ar entre junho e setembro abaixo de 70%, podendo cair para 16% na estação mais seca do ano. E apresenta temperatura média entre 18 °C e 28,5 °C.

O solo da área de estudo, é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico, A moderado, textura argilosa a muito argilosa (Embrapa, 2006), e relevo plano, onde os atributos físicos e químicos encontram-se na Tabela 2.01.

Antes da instalação do experimento a área era mantida com o cultivo de capim *Andropogon gayanus*, variedade Planaltina, por um período de seis anos. Em outubro de 2007 essa área foi preparada com aração e gradagem. Foi realizada a calagem e em novembro do mesmo ano foi instalado o experimento.

Foram cultivadas as seguintes culturas que se constituíram nos tratamentos do experimento: 1) milho em monocultivo (cultivar BR 2020); 2) milho consorciado com *Brachiaria humidicula*; 3) milho consorciado com capim *Panicum maximum* cv Aruana; 4) *Brachiaria humidicula* e; 5) capim *Panicum maximum* cv Aruana. Esses tratamentos foram cultivados anualmente, na área experimental durante o verão. A adubação anual nos

tratamentos com milho foi 30 kg N ha⁻¹ (uréia), 70 kg ha⁻¹ KCl no plantio e duas aplicações em cobertura com 45 kg N ha⁻¹ (uréia) e 43 kg ha⁻¹ KCl. A primeira aplicação de cobertura foi feita quando a planta de milho apresentava quatro folhas e a segunda, vinte dias após a primeira aplicação de cobertura. Na adubação das forrageiras, foi utilizado 60 kg N ha⁻¹ (uréia) , 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (super simples) e 60 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio). As pastagens foram semeadas pelo processo manual, a lanço, na quantidade de 20 kg ha⁻¹ de sementes, considerando o valor cultural, quando plantadas solteiras ou em consórcio com o milho. O espaçamento utilizado na cultura do milho foi de 0,95 m, com densidade de plantas de sete plantas por metro linear.

Tabela 2.01. Caracterização química e física do solo no ano referente as análises, ano de 2008.

Característica ¹	Média e desvio-padrão (n=24)
Argila (g kg ⁻¹)	580,8 ± 50,5
Silte (g kg ⁻¹)	270,1 ± 30,6
Areia (g kg ⁻¹)	140,1 ± 50,1
pH (CaCl ₂)	5,1 ± 0,2
P (mg dm ⁻³)	0,7 ± 0,6
K ⁺ (mg dm ⁻³)	46,1 ± 5,5
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,4 ± 0,3
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,8 ± 0,2
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	3,7 ± 0,6
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,0 ± 0,0

¹ Atributos avaliados segundo metodologia preconizada pela Embrapa (1997).

Foram realizados tratos culturais para o controle de pragas com a aplicação de inseticida grupo químico Benzoiluréia, de nome comum Lefenurum, na dose de 300 ml ha⁻¹ nas parcelas de milho. Foi realizada capina manual para conter as plantas daninhas que infestavam a área do experimento, bem como o controle químico, para conter o crescimento das forrageiras e de outras daninhas presentes na área experimental, com a utilização de herbicida pós emergente de nome comum Glyphosate, com dose de 3 litros ha⁻¹.

2.2 Amostragem do solo

Foram coletadas amostras de solo deformadas dos tratamentos no ano 2009/2010, no terceiro ano de instalação do experimento, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 cm após a colheita da cultura do milho, nas entrelinhas de plantio. Foram coletadas três amostras por parcela, que se constituíram na amostra composta. Após, foram destorroadas e homogeneizadas, as amostras foram secas ao ar e peneiradas na malha de 2,0 mm.

2.3. Procedimentos analíticos

2.3.1 Fracionamento físico da matéria orgânica

O fracionamento físico da matéria orgânica foi realizado segundo Cambardella e Elliott (1992). As amostras, secas ao ar, foram passadas em peneira com malha de 2,0 mm. Destas, 20 gramas de cada amostra, foram colocadas em frascos plásticos com volume de 250 mL. Foram adicionados 70 mL de Hexametáfosfato de Sódio na concentração de 5 g L^{-1} . Esta mistura foi agitada em agitador horizontal, regulado para cento e trinta movimentos por minutos, pelo período de 15 horas.

Após o procedimento de agitação o conteúdo foi transferido para peneira de $53 \mu\text{m}$ e lavado em jato de água destilada. O material retido na peneira, constituído por resíduos orgânicos e pela fração areia foi definido como matéria orgânica particulada ($> 53 \mu\text{m}$). Este foi seco em estufa a 50°C por 72 horas. Após secagem a amostra foi moída em gral de porcelana e passada em peneira de 0,149 mm. Posteriormente, alíquotas foram pesadas e analisados os teores de carbono orgânico particulado (COp) segundo método por oxidação via úmida com dicromato de potássio na presença de ácido sulfúrico (Walkley; Black, 1934).

Uma alíquota da subamostra passada em peneira de 2 mm foi moída em gral de porcelana e passada em peneira de 0,149 mm. Este material foi utilizado para análise de carbono orgânico total (COt), segundo método de Walkley e Black (1934). O Carbono Orgânico associado aos Mineirais (COam) foi calculado pela diferença entre os teores de COt e COp.

2.4 Análise estatística

Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso, com três repetições. Cada parcela apresentou dimensão de 80 m², com 0,5 m entre parcelas. Para análise dos dados foi utilizado o seguinte modelo, conceituado como modelo misto MIXED (Littell et al., 1996):

$$Y_{ijk} = \mu + t_i + p_k + t_i p_k + b_j + e_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Onde:

t_i é o efeito do tratamento i

p_k é o efeito da profundidade k

$t_i p_k$ é o efeito da interação tratamento x profundidade

b_j é o efeito do bloco j

e_{ij} é o erro experimental

ε_{ijk} é o erro gerado pelas profundidades

b_j , e_{ij} e ε_{ijk} são efeitos aleatórios.

Os resultados foram submetidos a análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Considerou-se a profundidade como medida repetida no espaço. As análises foram realizadas utilizando-se o software SAS, versão 9.1 (SAS, 2008).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Efeitos dos tratamentos

Os valores de carbono orgânico total (COt), carbono orgânico particulado (COp) e carbono orgânico associado as minerais (COam) foram submetidos à análise de variância e foram obtidos como significantes os efeitos simples (tratamentos e profundidade) e os efeitos da interação dupla (tratamentos x profundidades). Apenas não foi verificado efeito significativo para tratamentos no COp (Tabela 2.02).

Tabela 2.02 - Valores de F da análise de variância para carbono orgânico total (COt), carbono orgânico particulado (COp), carbono orgânico associado aos minerais (COam), relacionado aos cinco tratamentos e quatro profundidades e a interação entre eles.

F.V.	G.L	COt	COp	COam
Tratamentos	4	12,62*	2,58 ^{ns}	16,24*
Profundidades	3	270,67*	541,74*	135,91*
T x P	12	7,70*	6,19*	4,70*

F.V – Fonte de variação; G.L – Grau de liberdade; T x P – interação Tratamentos e profundidades; * significativo ao nível de 5% de probabilidade no teste F; ^{ns} – Não significativo.

3.1.1 Carbono orgânico total (COt)

Na tabela 2.03 são apresentados os valores de COt dos sistemas nas diferentes profundidades. De maneira geral os teores de COt variaram de 15,1 a 22,6 g C kg⁻¹ de solo. As maiores diferenças foram encontradas entre as profundidades do solo, com diminuição dos teores de COt conforme aumento da profundidade. Estudos realizados em áreas de consorciação de culturas apresentam resultados semelhantes. Rossi (2009), avaliando a dinâmica da matéria orgânica em área de soja cultivada sobre palhada de braquiária e sorgo em Latossolo Vermelho, também verificou que os maiores valores de COt foram encontrados nas camadas 0-5 cm nos sistemas estudado. Loss et al. (2009)_b ao avaliar o carbono orgânico total sob diferentes sistemas de produção orgânica, em Argissolo Vermelho-Amarelo, observou uma tendência de valores mais elevados nas profundidades de 0-5 e 0-10 cm, constatando assim que este padrão demonstra a maior influência dos resíduos deixados na superfície pelos diferentes sistemas de uso do solo analisados.

Tormena et al. (2004) também observaram maiores valores de carbono orgânico na camada superficial do solo, ao estudar a estratificação de carbono orgânico em Latossolo Vermelho com sistema de plantio direto com 10 anos de implantação, confirmando desta forma que o sistema utilizado proporciona incremento e manutenção nos teores de carbono orgânico principalmente nas camadas superficiais do solo.

Tabela 2.03 - Teores de carbono orgânico Total – Cot nos sistemas com consorciação e cultura anual.

Sistemas	Profundidade (cm)							
	0-5		5-10		10-20		20-30	
	g·kg ⁻¹							
Milho	22,1	ABa	22,6	Aa	19,7	Ab	16,6	Ac
Brachiaria humidicula	20,8	Ba	20,9	Aba	19,3	Aa	16,0	Ab
Panicum m. cv Aruana	20,6	Ba	19,4	BCa	20,0	Aa	15,1	Ab
Milho + cv Aruana	22,6	Aa	18,7	Cb	18,5	Ab	15,4	Ac
Milho + Brac. hum.	21,5	ABa	19,9	BCab	18,8	Ab	16,1	Ac

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O acúmulo de carbono orgânico no solo no sistema de consorciação de culturas em plantio direto se dá preferencialmente nas camadas mais superiores do solo, em função da decomposição dos resíduos vegetais depositados sobre a superfície. Isto reflete a deposição superficial dos resíduos e a maior concentração de raízes nesta camada.

Entre os sistemas de manejo, verifica-se que ocorreu diferença estatística apenas nas camadas superficiais 0-5 cm e 5-10 cm. O sistema consorciado milho + *Panicum maximum* cv Aruana apresentou um dos maiores valores (22,6 g C kg⁻¹). Este efeito pode ser atribuído ao fato do sistema radicular das gramíneas ser abundante e acrescentar ao solo altos teores de matéria orgânica associados ao sistema radicular do milho. Eiza et al. (2005) avaliaram o efeito de sete sistemas de cultivo. Dentre eles o sistema de plantio direto e o sistema convencional em solos do sudeste de Buenos Aires, Argentina, em um experimento de longo prazo, constataram que o COt não respondeu claramente aos efeitos dos sistemas de cultivo.

Os tratamentos que apresentaram maior variação no teor de COt em profundidade foram os sistemas em consorciação corroborando desta forma a hipótese deste estudo, de maior incremento de matéria orgânica no solo pela introdução de sistemas com abundante sistema radicular tanto em profundidade quanto em espessura. Estima-se que a inclusão de pastagem em consorciação com lavouras amplie o potencial de retenção de C atmosférico no solo devido ao desenvolvido sistema radicular das forrageiras (D'Andrea et al., 2004).

3.1.2 Carbono orgânico particulado (COp)

Os maiores valores de COp foram encontrados nas camadas superficiais do solo, decrescendo significativamente em profundidade, o que evidencia a diferença estatística das camadas superficiais para as camadas mais profundas (Tabela 2.04). Isto confirma que esta fração da matéria orgânica, introduzida diretamente pela matéria seca dos vegetais tem sua decomposição realizada nesta camada superficial do solo.

Tabela 2.04 - Teores de carbono orgânico particulado (COp) em sistemas com consorciação e cultura anual.

Sistemas	Profundidade (cm)							
	0-5		5-10		10-20		20-30	
	g·kg ⁻¹							
Milho	5,4	Ba	5,3	Aab	1,8	Ab	2,0	Ac
Brachiaria humidicula	6,9	BAa	7,3	Aa	1,6	Ab	1,5	Ab
Panicum m. cv Aruana	7,3	Aa	6,5	Aa	2,1	Ab	1,6	Ab
Milho + cv Aruana	8,4	Aa	7,4	Aa	1,9	Ab	1,5	Ac
Milho + Brac. hum.	7,9	Aa	6,7	Aa	1,6	Ab	1,7	Ac

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Na profundidade de 0 a 5 cm, a introdução de forrageiras no consórcio com o milho elevou o incremento de matéria orgânica no solo, sob a forma de COp. O milho consorciado com *Panicum maximum* cv Aruana e *Brachiaria humidicula* apresentou maiores teores de COp do que o milho solteiro.

Nicoloso (2005), ao estudar a influência do aumento da intensidade de utilização das pastagens de inverno e diferentes sistemas de culturas de verão sobre a dinâmica da matéria orgânica do solo, em Argissolo Vermelho-Amarelo, em áreas de integração lavoura-pecuária sob SPD, constatou que o COp foi mais eficaz na expressão das modificações nos teores de carbono orgânico decorrentes do manejo, nos primeiros centímetros do solo: 0,0–2,5 e 2,5–5,0 cm.

Loss et al. (2009)^a observaram teores de CO_p na camada superficial 0-5 cm, 26% maiores em sistema de rotação (milho/berinjela) em sistema de plantio direto quando comparada ao sistema de sucessão de culturas (feijão/milho) sob sistema convencional.

De maneira geral, não foram verificadas diferenças nos teores de CO_p entre as profundidades 0-5 e 5-10 cm, nos diferentes sistemas de manejo. Essa constatação demonstra o efeito do plantio direto sobre o acúmulo superficial de matéria orgânica. As camadas mais profundas (10-20 e 20-30 cm) apresentaram menores teores de CO_p do que nas camadas superficiais.

Segundo Salton (2005), áreas sob pastagem de *Brachiaria sp.* podem ser importantes sítios de seqüestro de carbono atmosférico devido à grande produção de matéria seca e também pela intensa renovação do seu sistema radicular abundante e perene.

Os resultados obtidos nesse estudo deixam evidente que a fração particulada foi eficiente na detecção de alterações induzidas pelos sistemas de manejo do solo, concordando com Freixo (2000) e Bayer et al. (2004). Devido à sensibilidade da fração particulada da MOS, infere-se que este compartimento possa ser utilizado como indicador da avaliação de sistemas de manejo consorciados, nos quais as alterações no CO_t do solo ainda não tenham sido de grande magnitude.

As maiores variações nos teores de CO_p nas camadas mais superficiais do solo reforçam a dependência desta fração da adição de resíduos vegetais para a manutenção de seus valores. Em estudos de Sá et al. (2001), no sistema plantio direto, os teores de CO_p são mais de 75 % dependentes do carbono adicionado ao solo por resíduos vegetais na camada 0 – 2,5 cm e mais de 50 % na camada 2,5 – 5 cm.

A proporção de CO_p nos teores do CO_t (CO_p: CO_t), na camada de 0-5 cm, variou de 24,4% (sistema milho solteiro) a 37,2% (sistema em consorciação milho + capim *Panicum Maximum* cv aruana). Nessa mesma profundidade, essa relação variou de 9% em solo descoberto a 35% em área sob plantio direto no sul do Brasil (Conceição et al., 2005).

3.1.3 Carbono orgânico associado aos minerais (CO_{am})

Na Tabela 2.05 são apresentados os teores de CO_{am} para os sistemas de manejo nas diferentes camadas estudadas. Entre sistemas de manejo, foi verificada diferença apenas na profundidade de 0-5 cm. Nesta camada o milho em nonocultivo apresentou maior teor de CO_{am} do que os demais sistemas. A ausência de diferença entre os sistemas nas demais

profundidades mostra que essa fração da matéria orgânica apresenta-se altamente estabilizada e que pouca alteração sofre entre sistemas de manejo, conforme destacado por Bayer et al. (2004).

Tabela 2.05 - Teores de Carbono orgânico associado aos minerais (Coam) nos sistemas com consorciação e cultura anual.

Sistemas	Profundidade (cm)							
	0-5		5-10		10-20		20-30	
	g kg ⁻¹							
Milho	16,7	Aa	17,3	Aab	17,9	Aa	2,0	Ab
Brachiaria humidicula	13,9	Bb	13,6	ABb	17,7	Aa	1,5	Ab
Panicum m. cv Aruana	13,3	Bb	12,9	ABb	17,9	Aa	1,6	Ab
Milho + cv Aruana	14,2	Bb	11,3	ABb	16,6	Aa	1,5	Ab
Milho + Brac. hum.	13,6	Bb	13,2	ABb	17,2	Aa	1,7	Ab

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O solo analisado apresenta 60% argila, índice que indica elevada associação entre fração de matéria orgânica do solo. Solos com maior conteúdo de argila têm maior poder de conservação e estabilização da MO (Lepsch et al., 1982).

Em estudos realizados por Salton et al. (2002), afirmam que ocorrem aportes diferenciado de resíduos vegetais em sistemas de integrações sob sistema de plantio direto tanto na superfície quanto no perfil do solo pelas raízes, comparado a sistemas de plantio puros de grãos.

Os teores de COam foram semelhantes estatisticamente entre os tratamentos em consorciação. A avaliação desta fração da matéria orgânica nem sempre é um bom indicador do efeito do manejo nas propriedades do solo, uma vez que alterações no estoque deste compartimento da matéria orgânica levam muitos anos para serem detectados. Estudos realizados por Blanco-Canqui et al. (2010) em 33 anos de experimento revelaram baixos efeitos nos valores de matéria orgânica do solo nesta fração do solo.

Os estoques de COt são compostos em mais de 80 % pela fração COam. Esta fração apresenta pouca sensibilidade ao manejo em curtos períodos pela sua ciclagem mais lenta (Bayer et al., 2004), interação com a fração mineral do solo e formação de compostos

organominerais, num processo de estabilização química (Christensen, 1996) e recalcitrância bioquímica (Bayer, 1996).

É desejável que o solo apresente uma quantidade adequada de matéria orgânica particulada para garantir fluxo de carbono e manutenção da atividade biológica. Entretanto se o solo não dispuser de teores de CO_{am} em quantidades suficientes para garantir o suprimento das suas necessidades, os processos de oxidação da matéria orgânica do solo resultarão em diminuição nos estoques de carbono com conseqüente perda e degradação do solo.

Teores de carbono orgânico sob sistemas conservacionistas maiores que os teores sob sistemas convencionais, em Latossolos do Cerrado, são relatados com freqüência em vários estudos (Silva et al., 2004 ; Carvalho et al., 2007 ; Metay et al., 2007).

3.2 Relação dos teores de carbono entre sistemas de manejo e Cerrado nativo (ΔC)

Na figura 10 são apresentados os valores de ΔC em Mg ha⁻¹ para os diferentes sistemas estudados, tendo o solo de Cerrado como referência. Observa-se que em todos os sistemas estudados houve acréscimo nos teores de CO_t e CO_{am} e redução nos teores de CO_p para o tratamento com *Brachiaria humidicula*, capim *Panicum maximum* cv Aruana e milho + capim *Panicum maximum* cv Auana.

O maior teor de ΔCO_p no solo foi detectado no sistema sob consorciação milho + *Brachiaria humidicula* com valor de 2,01, enfatizando que os acréscimos de C são mais elevadas na profundidade superficial (Costa et al., 2009).

D'Andrea et al. (2004) verificaram que os sistemas de manejo conservacionistas armazenam mais carbono no solo. Maia et al. (2007), também encontraram resultados semelhantes com maiores teores no estoque de carbono em sistemas agroflorestais.

Os teores ΔCO_t foram maiores para o sistema em consorciação milho+ *Brachiaria humidicula*, o que está relacionado ao maior aporte de fitomassa na superfície e abundante sistema radicular formado pela gramínea. Pode se atribuir este fato ao manejo adotado, sistema de plantio direto, com menor utilização de implementos agrícolas para o preparo do solo, mantendo a quantidade de matéria orgânica com conseqüente diminuição da sua decomposição, que fica protegida fisicamente nos agregados do solo (Jantalia et al., 2007).

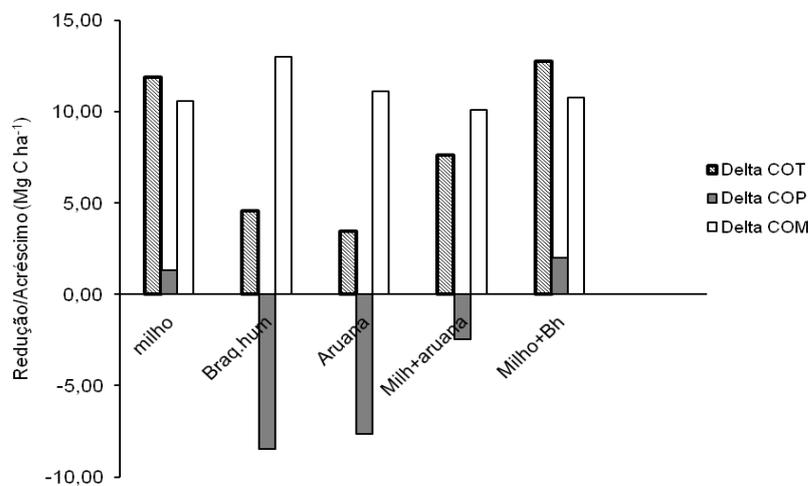


Figura 10 - Acréscimo e decréscimo de carbono nas diferentes frações da matéria orgânica sob sistemas de cultivo em relação ao Cerrado nativo.

Os estoques de carbono no solo são determinados pelo balanço das entradas, pelo aporte dos resíduos vegetais e pela aplicação de compostos orgânicos, bem como pelas saídas por meio da decomposição da matéria orgânica do solo (Leite et al., 2003). Com adoção do plantio direto, a ausência de revolvimento do solo, a rotação de culturas juntamente com a permanência dos resíduos vegetais na superfície, favorece a agregação que protege da mineralização, promovendo o aumento da matéria orgânica do solo (Sá et al., 2001).

Estudos realizados por Corazza et al (1999), em Latossolo Vermelho na região do Distrito Federal, observou taxa de acúmulo de C na camada de 0-20 cm de 47,35 Mg ha⁻¹ em sistema de plantio direto comparado com 36,51 Mg ha⁻¹ em sistema utilizando grade pesada. Bayer et al. (2006) observaram valores variando de -0,3 a 8,1 g⁻² ano⁻¹ em áreas sob plantio direto na camada de 0-20 cm. Isto indica que o estoque de C no solo pode ser influenciado pelo tipo de solo, manejo adotado, regiões, camadas amostradas entre outros fatores.

Todos os sistemas (em monocultivo ou em consórcio) apresentaram elevação nos teores de CO_{am} (acréscimos e ΔCO_{am} positivos). Esses resultados reforçam que, mesmo com elevado aporte de matéria orgânica, o uso agrícola de solos do Cerrado promove transformações que resultam em maior decomposição dos resíduos orgânicos do solo sob vegetação nativa.

Vários autores (Sá, 2009; Lal, 2004; Fearnside, 2006) descrevem que os estoques de carbono são menores em sistemas conservacionistas jovens, que ainda estão se estabilizando.

4. CONCLUSÕES

1. De maneira geral, os sistemas de manejo se diferenciaram quanto aos teores de carbono nas diferentes frações da matéria orgânica do solo.
2. Os maiores valores de COp foram detectados nas camadas superficiais do solo, decrescendo significativamente em profundidade.
3. O COp mostrou-se ser a fração mais sensível em detectar os impactos dos sistemas de manejo utilizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAYER R. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas de manejos de solos.** 1996. 240f. Tese (Doutorado em Ciência do solo) – Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

BAYER, R. C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. & PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis na matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L. MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soil under no-till. **Soil and Tillage Research**, v. 86, n. 2, p. 237-245, 2006.

BLANCO-CANQUI, H.; STONE, L. R.; STAHLMAN, P. W. Soil response to long term cropping systems on na Argiustoll in the central great plains. **Soil Science Society of America Journal**, v. 11, n. 2, p. 602-611, 2010.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n.4, p. 605-614, 2006.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n 2, p. 777-783, 1992.

CANELLAS, L. P.; VELOSSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E. & SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhiço e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 935-944, 2003.

CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C.; FEIGL, B. J.; PÍCCOLO, M. C.; GODINHO, V. P.; & HERPIN, U. Changes of chemical properties in na Oxisol after clearing

of native Cerrado vegetation for agricultural use in Vilena, Rondônia State, Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 96, p. 95-102, 2007.

CHRISTENSEN, B. T. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. IN: CARTER, M. R.; STEWART, B. A. (Eds.), 1996. **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton: CRC Lewis, p. 97-165.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistema de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n.5, p. 777-788, 2005.

CONCEIÇÃO, P. C. **Agregação e proteção física da matéria orgânica em dois solos do sul do Brasil**. 2006. 138f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

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

COSTA, O. V.; CANTARUTTI, R. B.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M.; NACIF, P. G. S.; FARIAS, J. C. Estoques de carbono do solo sob pastagem em área de tabuleiro costeiro no sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1137-1145, 2009.

DIAS, B. O.; SILVA, C. A.; SOARES, E. M. B & BETIOL, W. Estoques de carbono e quantificação de substâncias húmicas em Latossolo submetido à aplicação contínua de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n.4, p. 901-911, 2007.

DORAN, J. W. & PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. IN: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F & STEWAR, B. A.; eds. Defining soil quality for a sustainable environment. **Soil Science Society of America**, v. 35, n 35, p. 3-22, 1994.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N. & GUILHERME, L. R. G. Estoques de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n.2, p. 179-186, 2004.

EIZA, M. J.; NATALI FIORITI, GUILLERMO.; HERNANDEZ ECHEVERRIA. Fracciones de carbono orgânico em La copa Arable: efecto de los sistemas de cultivo y de La fertilización nitrogenada. **Revista Ciencia del Suelo**, v. 23, n.1, p. 59-67, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FEARNSIDE, P. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta Amazônica**, v. 36, n.3, p. 395-400, 2006.

FIGUEIREDO, C. C. **Compartimentos da matéria orgânica do solo sob sistemas de manejo e vegetação natural de Cerrado**. 2009. 100f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

FREIXO, A. A. **Caracterização da matéria orgânica de Latossolos sob diferentes sistemas de cultivo através de fracionamento físico e espectrografia de infravermelho**. 2000. 86f. Dissertação (Mestrado em ciências do solo) – Curso de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

GOLCHIN, A.; OADES, J. M.; SKJEMSTAD, J. O., CLARKE, P. Soil structure and carbon cycling. **Australian Journal of Soil Research**, v. 32, N. 5, p. 1043-1068, 1994.

HAYNES, R. J. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, n. 2, p. 211-219, 2000.

JANTALIA, C. P.; RESCK, D. V. S.; ALVES, B. J. R.; ZATARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Tillage affection on C stocks of a clayey Oxisol under a soy bean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. **Soil and Tillage Research**, v. 95, n. 2, p. 97-109, 2007.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate Changes. **Geoderma**, v. 123, n.2, p.1-12, 2004.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; & GAIVÃO, J. C. C. Estoques totais de C orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 821-832, 2003.

LEPSCH, I.F.; SILVA, N.M. & ESPIRONELO, A. Relação entre matéria orgânica e textura de solos sob cultivo de algodão e cana-de-açúcar, no estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 41, p. 231-236, 1982.

LITTELL, R.C., MILLIKEN, G.A., STROUP, W.W. **SAS system for mixed models**. Cary, NC: SAS Institute Inc. 633p, 1996.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. **Ciência Rural**, v. 39, n. 4, p.1077-1082, 2009.a

LOSS, A., PEREIRA, M. G; FERREIRA, E. P. SANTOS, L. L; BEUTLER, S. J; FERRZ-JUNIOR, A. S. L. Frações oxidáveis do carbono orgânico do solo em sistemas de aléias sob Argissolo Vermelho Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 867-874, 2009.b

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; & ARAÚJO FILHO, J. Organic carbon pools in Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 71, n.2, p. 127-138, 2007.

METAY, A.; MOREIRA, J. A. A.; BERNOUX, M.; BOYER, T.; DOUZET, J. M.; FEIGL, B.; MARAUX, F.; OLIVER, R.; SCOPEL, E. Storage and forms of organic in a no-tillage under cover crops system on clayey Oxisol in dryland rice production (Cerrados, Brazil). **Soil and Tillage Research**, v. 94, n. 1, p. 122-132, 2007.

NICOLOSO, R. S. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema de plantio direto**. 2005. 149f. Dissertação (Mestrado em

Ciências do Solo) – Curso de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2005.

PEPSCH, I. F.; SILVA, N. M.; ESPIRONELO, A. Relação entre matéria orgânica e textura do solo sob cultivo de algodão e cana-de-açúcar, no Estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 41, n. 8, p. 231-236, 1982.

RANGEL, O. L. P & SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1609-1623, 2007.

ROSA, M. E. C.; OLSZEVKI, N.; MENDONÇA, E. S.; COSTA, L. M. & CORREIA, J. R. Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n.5, p. 911-923, 2003.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica. Embrapa Agropecuária Oeste/ Embrapa Solos, Dourados, MS/ Rio de Janeiro, RJ, 86p, 2002.

ROSSI, C. Q. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em área de soja cultivada sobre palhada de Brachiária e sorgo**. 2009. 82f. Dissertação (Mestrado em ciências do solo) - Curso de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

SÁ, J. C. M.; CERRI, C.C.; DICK, W.A.; LAL, R.; VENSKE-FILHO, S.P.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, n. 5, p. 1486-1499, 2001.

SÁ, J. C. M.; LAL, R. Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 103, n. 1, p. 46-56, 2009.

SALTON, J. C.; FABRÍCIO, A.C.; MACHADO, L. A. Z.; OLIVEIRA, H. Pastoreio de aveia e compactação do solo. **Revista Plantio Direto**, v. 69, n. 48, p. 32-34, 2002.

SALTON, J. C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. 2005. 157f. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) - Curso de Pós-Graduação em Ciências do Solo - Universidade Federal d Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SAS Institute. User's Guide. versão 9.1.3, versão para Windows. Cary, NC, USA, - 2008.

SILVA, J.; RESCK, D. V. S.; CORAZZA, E. J.; & VIVALDI, L. Carbon storage in clayey Oxisol cultivated postures in Cerrado region, Brazil. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, v. 103, n. 2, p. 357-363, 2004.

SIX, J.; AGLE, S.M.; BREIDT, F.J.; CONANT, R.T.; MOSIER, A.R & 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, n. 2, p. 155-160, 2004.

SOANE, B. D. The role of organic matter in soil compactability: a review of some practical aspects. **Soil and Tillage Research**, v. 16, n. 2, p. 179-201, 1990.

TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n.6, p. 1023-1031, 2004.

ZHANG, B.; HORN, R.; HALLETT, P. D. Mechanical resilience of degraded soil amended with organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, v.69, n.3, p.864-871, 2005.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, p. 29-38, 1934.