



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA E PERDAS DE SOLO,
ÁGUA E NUTRIENTES NO CULTIVO DE HORTALIÇAS SOB
SISTEMAS DE MANEJO**

RODRIGO FERNANDES DE SOUZA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

BRASÍLIA/DF

MARÇO/2013



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA E PERDAS DE SOLO,
ÁGUA E NUTRIENTES NO CULTIVO DE HORTALIÇAS SOB
SISTEMAS DE MANEJO**

RODRIGO FERNANDES DE SOUZA

ORIENTADOR: Cícero Célio de Figueiredo
CO-ORIENTADOR: Nuno Rodrigo Madeira

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
EM AGRONOMIA

PUBLICAÇÃO: 56/2013

BRASÍLIA/DF

MARÇO/2013

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA E PERDAS DE SOLO,
ÁGUA E NUTRIENTES NO CULTIVO DE HORTALIÇAS SOB
SISTEMAS DE MANEJO**

RODRIGO FERNANDES DE SOUZA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM AGRONOMIA.

APROVADA POR:

CÍCERO CÉLIO DE FIGUEIREDO, DSc.

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília - FAV
(ORIENTADOR) CPF: 029.754.447-02. cicerocf@unb.br

MARIA LUCRÉCIA GEROSA RAMOS, PhD.

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília - FAV
(EXAMINADOR INTERNO) CPF: 002.094.438-12. lucrecia@unb.br

FLÁVIA APARECIDA DE ALCANTARA, PhD.

Pesquisadora da Embrapa Arroz e Feijão
(EXAMINADOR EXTERNO) CPF: 986.723.806-06. flavia.alcantara@embrapa.br

BRASÍLIA/DF, 19 de Março de 2013.

FICHA CATALOGRÁFICA

SOUZA, Rodrigo Fernandes,

Frações da matéria orgânica e perdas de solo, água e nutrientes no cultivo de hortaliças sob sistemas de manejo. / Rodrigo Fernandes de Souza; Orientação de Cícero Célio de Figueiredo; Co-orientação: Nuno Rodrigo Madeira – Brasília, 2013. 76 p.

Dissertação de Mestrado (M) – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2013.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SOUZA, R.F. **FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA E PERDAS DE SOLO, ÁGUA E NUTRIENTES NO CULTIVO DE HORTALIÇAS SOB SISTEMAS DE MANEJO**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2013, 76 p. Dissertação de Mestrado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: RODRIGO FERNANDES DE SOUZA

TÍTULO: Frações lábeis, oxidáveis e húmicas da matéria orgânica e perda de solo, água e nutrientes em área sob sistema de plantio direto com hortaliças

GRAU: MESTRE. ANO: 2013

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada à fonte.

Nome: Rodrigo Fernandes de Souza

CPF: 021.426.771-77

Endereço: QNH 10 casa 50 – Taguatinga – Brasília – DF Tel: (61) 3354-8404

Email: rodrigofunb@gmail.com

*“Debaixo das folhas mortas, a terra dorme segura
Pois nos dará para o ano, novo parto de fartura.”*

José Fortuna

Aos meus pais, minha irmã, amigos e familiares, dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois me dá forças todos os dias de minha vida para seguir em busca dos meus ideais.

Aos meus pais, Jucivaldo e Vilma por tudo que fizeram e fazem por mim.

À minha irmã Ranielle Felina, pelo apoio, carinho e companheirismo.

Ao meu orientador, Professor Dr. Cícero Célio de Figueiredo, por seu apoio e amizade, além da dedicação, competência, e apoio no decorrer do curso.

Ao meu co-orientador, Dr. Nuno Rodrigo Madeira, pela amizade, oportunidade e competência demonstrados.

À Embrapa Hortaliças, pela oportunidade de realização do experimento em suas instalações.

À Universidade de Brasília, à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAV) pela oportunidade de realização do Curso.

À CAPES pela concessão de bolsa de estudos.

Aos Drs. Carlos Pacheco, Juscimar da Silva e Ítalo Guedes, pesquisadores da Embrapa Hortaliças, pelas contribuições no decorrer do experimento.

Ao Dr. Agnaldo Donizete F. de Carvalho, pesquisador da Embrapa Hortaliças, pelo empenho e ajuda nas análises estatísticas do capítulo I.

Aos colegas, funcionários do campo experimental da Embrapa Hortaliças, pela ajuda e boa vontade sempre demonstradas.

À minha namorada Aryana Ferreira pelo carinho, compreensão e paciência.

Aos estagiários do Laboratório de Estudos de Matéria Orgânica do Solo, Luryan Euvira e Ismail Jadallah, pela amizade e ajuda nas análises laboratoriais.

Aos colegas de laboratório, Sara Dantas, Larissa Gomes, Júlia Emanuella, Aureliano Dantas e Harumi Sato, pela ajuda e pelas conversas diárias.

Aos amigos mestrandos e doutorandos do Programa de Pós Graduação em Agronomia da FAV/UnB, Jadson Moura, Juliana Hiromi, Thiago Rodrigues, Géssica Pereira, Jomara Moreno e Felipe Camargo.

A todos os professores e funcionários da Pós Graduação da FAV/UnB, pela dedicação, cordialidade e amizade que tiveram comigo.

Aos familiares e amigos que sempre me incentivaram e apoiaram nessa jornada.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para tornar este meu sonho realidade.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| RESUMO GERAL..... | 1 |
| GENERAL ABSTRACT | 3 |
| 1. INTRODUÇÃO GERAL | 4 |
| 2. OBJETIVOS | 5 |
| 2.1. Objetivo Geral | 5 |
| 2.2. Objetivos específicos | 5 |
| 3. REVISÃO DE LITERATURA..... | 5 |
| 3.1. Sistemas conservacionistas de uso do solo com ênfase no sistema de plantio direto | 5 |
| 3.2. Cultivo de hortaliças em sistema plantio direto | 7 |
| 3.3. Matéria orgânica do solo e suas frações..... | 8 |
| 3.4.1 Frações obtidas conforme o grau de suscetibilidade à oxidação (frações “oxidáveis”) | 9 |
| 3.4.2 Carbono da biomassa e atividade microbiana | 10 |
| 3.4.3 Frações do carbono de substâncias húmicas | 11 |
| 3.4. Perdas de solo, água e nutrientes em solos sob sistemas de manejo | 12 |
| 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 14 |
| CAPÍTULO I..... | 25 |
| FRAÇÕES LÁBEIS, OXIDÁVEIS E HÚMICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLO SOB SISTEMA DE PLANTIO DIRETO COM HORTALIÇAS ¹ | 25 |
| RESUMO | 26 |
| ABSTRACT | 27 |
| INTRODUÇÃO | 28 |
| MATERIAL E MÉTODOS..... | 29 |
| Localização e caracterização da área experimental..... | 29 |
| Sistemas de manejo estudados | 30 |
| Épocas e profundidades de amostragem..... | 31 |
| Condução das culturas | 32 |
| Análises Laboratoriais | 34 |
| Carbono da biomassa microbiana | 34 |
| Frações oxidáveis do carbono orgânico | 36 |
| Fracionamento de Substâncias Húmicas | 37 |
| Produtividade da hortaliça | 39 |

| | |
|--|----|
| Análises estatísticas | 39 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 40 |
| Carbono orgânico total..... | 41 |
| Carbono da biomassa microbiana..... | 42 |
| Frações oxidáveis do carbono | 45 |
| Carbono das frações húmicas | 47 |
| Produtividade da hortalixa | 50 |
| Análise de componentes principais | 51 |
| CONCLUSÕES | 52 |
| LITERATURA CITADA..... | 53 |
| CAPÍTULO II..... | 60 |
| PERDAS DE SOLO, ÁGUA E NUTRIENTES EM ÁREA CULTIVADA COM HORTALIÇAS SOB SISTEMA DE PLANTIO DIRETO ¹ | 60 |
| RESUMO | 61 |
| ABSTRACT | 62 |
| INTRODUÇÃO | 63 |
| MATERIAL E MÉTODOS..... | 64 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 67 |
| CONCLUSÕES | 69 |
| LITERATURA CITADA..... | 71 |
| CONCLUSÕES GERAIS | 76 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Precipitação mensal e temperaturas máximas e mínimas obtidas na estação meteorológica da Embrapa Hortaliças, Brasília-DF (média dos anos 2010, 2011e 2012). | 30 |
| Figura 2. Abertura de mini-trincheira para coleta de amostras de solo | 31 |
| Figura 3. Irradiação de subamostras em forno micro-ondas | 34 |
| Figura 4. Etapa de filtragem após extração | 36 |
| Figura 5. Amostras durante a determinação do CBM..... | 36 |
| Figura 6. Titulometria das frações oxidáveis do carbono orgânico. | 37 |
| Figura 7. Extratos de ácidos húmicos (escuro) e fúlvicos (claro)..... | 38 |
| Figura 8. Determinação do carbono com fonte de aquecimento externo e sob refluxo.. | 39 |
| Figura 9. Carbono orgânico total (COT) em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo do solo para coleta realizada no verão. PD, PPR e PC são, respectivamente, plantio direto, plantio com preparo reduzido e plantio convencional, as barras horizontais referem-se à diferença mínima significativa (DMS) pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). | 42 |
| Figura 10. Carbono orgânico total (COT) em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo do solo para coleta realizada no inverno. PD, PPR e PC são, respectivamente, plantio direto, plantio com preparo reduzido e plantio convencional, as barras horizontais referem-se à diferença mínima significativa (DMS) pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). | 42 |
| Figura 11. Carbono da fração Humina em Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo do solo para coleta realizada no verão. PD, PPR e PC são, respectivamente, plantio direto, plantio com preparo reduzido e plantio convencional, as barras horizontais referem-se à diferença mínima significativa (DMS) pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). | 49 |
| Figura 12. Carbono da fração Humina em Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo do solo para coleta realizada no inverno. PD, PPR e PC são, respectivamente, plantio direto, plantio com preparo reduzido e plantio convencional, as barras horizontais referem-se à diferença mínima significativa (DMS) pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). | 49 |
| Figura 13. Relação entre o carbono da fração humina (C_{HUM}) com as substâncias húmicas solúveis ($C_{AH} + C_{AF}$), para diferentes manejos do solo para a coleta realizada no verão, as barras horizontais referem-se à diferença mínima significativa (DMS) pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)..... | 50 |

| | |
|--|----|
| Figura 14. Relação entre o carbono da fração humina (C_{HUM}) com as substâncias húmicas solúveis ($C_{AH} + C_{AF}$), para diferentes manejos do solo para a coleta realizada no inverno, as barras horizontais referem-se à diferença mínima significativa (DMS) pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). | 50 |
| Figura 15. Diagrama de ordenação produzido por análise de componentes principais dos escores dos tratamentos sob sistemas de manejo e plantas de cobertura de amostras de solo coletadas no verão e no inverno em três camadas do solo. (a) 0-5 cm; (b) 5-10 cm; e (c) 10-30 cm. | 52 |
| Figura 16. Coletor de água e sedimentos. | 66 |
| Figura 17. Quantificação da perda de água. | 66 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Tratamentos de acordo com o preparo do solo e cultivos de verão..... | 30 |
| Tabela 2. Histórico de culturas cultivadas, <i>stand</i> de plantas e adubações. | 31 |
| Tabela 3. Atributos químicos do solo estudado ⁽¹⁾ | 33 |
| Tabela 4. Resumo da análise de variância com os valores dos quadrados médios e níveis de significância para os parâmetros avaliados, de acordo com a fonte de variação para as diferentes profundidades estudadas. | 40 |
| Tabela 5. Carbono orgânico total em solo sob sistemas de manejo, diferentes profundidades e épocas de amostragem. | 42 |
| Tabela 6. Carbono da biomassa microbiana e quociente microbiano em solo sob sistemas de manejo em diferentes profundidades e épocas de amostragem. | 43 |
| Tabela 7. Frações do carbono oxidável em solo sob sistemas de preparo do solo, diferentes profundidades e épocas de amostragem. | 45 |
| Tabela 8. Carbono de substâncias húmicas em solo sob sistemas de manejo, diferentes profundidades e épocas de amostragem. | 47 |
| Tabela 9. Produtividade do repolho em solo sob sistemas de manejo. | 50 |
| Tabela 10. Atributos químicos ⁽¹⁾ do solo estudado..... | 66 |
| Tabela 11. Perdas médias de solo e água em sistemas de manejo para a produção de hortaliças | 68 |
| Tabela 12. Taxas de empobrecimento do solo das parcelas experimentais em P extraível, K, Ca e Mg trocáveis e Matéria Orgânica (MO), em diferentes sistemas de preparo do solo de um Latossolo Vermelho cultivado com hortaliças. | 68 |

RESUMO GERAL

Frações da matéria orgânica e perdas de solo, água e nutrientes no cultivo de hortaliças sob sistemas de manejo

O uso do plantio direto é uma excelente alternativa para a produção de hortaliças nas condições edafoclimáticas do Brasil. Alterações nas quantidades e na qualidade da matéria orgânica e suas consequências no controle da erosão, obtidas pelo plantio direto para a produção de hortaliças, precisam ser melhor compreendidas. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos dos sistemas de manejo do solo nas frações lábeis, oxidáveis e húmicas da matéria orgânica do solo e nas perdas de solo, água, nutrientes e matéria orgânica por erosão hídrica sob chuva natural, em um Latossolo Vermelho cultivado com hortaliças. O experimento foi instalado em 2007, em área experimental da Embrapa Hortaliças no Distrito Federal, a qual foi anteriormente cultivada com hortaliças em sistema de preparo convencional do solo por 20 anos. Foram avaliados 3 sistemas de manejo do solo e duas configurações de plantas de cobertura: sistema de plantio direto com palhada de milho (PD_M); sistema de plantio direto com palhada de milho e mucuna consorciados (PD_{MM}); sistema de plantio com preparo reduzido com palhada de milho (PPR_M); sistema de plantio com preparo reduzido com palhada de milho e mucuna consorciados (PPR_{MM}); sistema de plantio com preparo convencional com palhada de milho (PC_M) e sistema de plantio com preparo convencional com palhada de milho e mucuna consorciados (PC_{MM}). As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-30 cm e em duas épocas: outubro de 2011, no início do 5º ano após a implantação do experimento, antes do plantio das culturas para formação de palhada; e julho de 2012, final do 5º ano, ainda durante o cultivo da hortaliça (repolho cv. Astrus). Foram determinados o carbono orgânico total (COT), o carbono da biomassa microbiana (CBM), das frações oxidáveis F1, F2, F3 e F4, e o carbono das frações ácido fúlvico (C_{AF}), ácido húmico (C_{AH}) e da humina (C_{HUM}). Foram ainda instaladas nas parcelas cultivadas com palhada de milho coletores com área de $3m^2$ e uma calha para coleta de sedimentos. Ao final, foi quantificado todo o sedimento depositado na calha, que foi analisado para os teores de nutrientes e matéria orgânica para o cálculo da taxa de empobrecimento do solo. As principais alterações nos atributos avaliados ocorreram na camada mais superficial onde, de maneira geral, o PD_M se destacou, sendo o sistema que apresentou maiores teores de COT. Os valores de CBM foram menores nos sistemas de PC, mostrando-se sensível ao revolvimento do

solo. Para o carbono das frações húmicas, somente os ácidos húmicos foram influenciados pelo manejo do solo. Os sistemas de plantio tiveram influência somente nas frações mais lábeis do carbono (F1 e F2). A produtividade de repolho não foi influenciada pelo manejo do solo. O SPD apresentou menor taxa de perda de água e, quando comparado ao PPR e SPC, as perdas foram, respectivamente 11 e 6 vezes menores. Em relação às perdas de solo o PD apresentou uma redução de 90% em relação às perdas mensuradas para o PC. As taxas de empobrecimento de P e K foram maiores nos sistemas preservacionistas (PD e PPR), enquanto para MO foram próximas a 1,0.

Palavras-chave: Carbono orgânico, substâncias húmicas, manejo do solo, erosão.

GENERAL ABSTRACT

Organic matter fractions and soil loss, water and nutrients to grow vegetables under management systems

The aim of this study was to evaluate the effects of tillage systems on soil labile, oxidizable organic matter and humic soil and soil loss, water, nutrients and organic matter by water erosion under natural rainfall in a Oxisol cultivated with vegetables. The experiment was installed in 2007 in the experimental area of Embrapa Vegetables in the Federal District, which was previously cultivated with vegetables in conventional tillage soil for 20 years. Three systems of soil management and two sets of cover crops were evaluated: no-till corn stover (PD_M); tillage with maize straw and velvet bean (PD_{MM}); with reduced tillage planting with corn stover (PPR_M); with reduced tillage planting with corn stover and mucuna (PPR_{MM}) with conventional tillage corn stover (PC_M) and conventional tillage with maize straw and velvet bean (PC_{MM}). Soil samples were collected in 0-5, 5-10 and 10-30 cm and at two times: in October, before planting crops for formation of straw, and in July, during the cultivation of vegetables. Total organic carbon (COT), microbial biomass carbon (CBM), oxidizable fractions F1, F2, F3 and F4, and carbon fractions of fulvic acid (C_{AF}), humic acid (C_{AH}) and humin (C_{HUM}) were determined. In the plots cultivated with maize straw collectors were installed with an area of $3m^2$ and a trough to collect sediments. At the end, all the sediment was quantified deposited in the pipeline, which was analyzed for levels of nutrients and organic matter to the calculation of the rate of soil depletion. The main changes occurred in the attributes evaluated in the superficial layer where, in general, the PD_M is highlighted, and the system showed the highest COT. CBM values were lower in PC systems, being sensitive to soil disturbance. For carbon humic fractions, only the humic acids showed influences by soil management. The yield of cabbage was not influenced by soil management. The PD showed a lower rate of water loss and, when compared to PRP and SPC, the losses were respectively 11 and 6 times lower. Regarding the PD soil loss was reduced by 90% compared to losses measured for the PC. The depletion rates of P and K were higher in systems preservationists (PD and PPR), while for MO were close to 1.0.

Keywords: Organic carbon, humic substances, soil management, erosion.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A Organização Mundial de Saúde (OMS) tem incentivado em todo o mundo campanhas de estímulo ao consumo de hortaliças e frutas. Esses alimentos são importantes para a composição de uma dieta saudável da população, já que apresentam uma densidade energética baixa e são ricos em vitaminas, micronutrientes, fibras e outros elementos fundamentais ao organismo. Para atender a essas demandas, a produção de hortaliças em maior escala tem de ser acompanhada por sistemas de manejo que possibilitem aumento de produção aliada à sustentabilidade da produção, preservando a qualidade do solo.

A demanda pelo uso de sistemas de manejo que preservem a qualidade do solo tem crescido nos últimos anos. Dentre os sistemas conservacionistas, o sistema de plantio direto (SPD) tem se destacado apresentando resultados satisfatórios. Este sistema foi idealizado como forma de controle da erosão hídrica. Estudos comprovam que o uso desse sistema tem influenciado em diversas características físicas, químicas e biológicas do solo. No cultivo de grãos, o SPD tem sido largamente utilizado; porém para produção de espécies olerícolas, poucos estudos têm sido realizados para avaliar este tipo de manejo e sua influência na produção de hortaliças.

Dentre as vantagens do SPD está a redução nas perdas de solo e nutrientes por erosão hídrica. Além dos problemas ambientais, a erosão trás problemas econômicos e sociais. Em termos sociais diversas catástrofes acontecem anualmente pela ocupação desordenada e pelo mau uso do solo.

Recentemente, um sistema semelhante ao SPD passou a ser utilizado em hortaliças como tomate e cebola. Este sistema conhecido por Plantio com Preparo Reduzido (PPR), utiliza uma gradagem leve com incorporação parcial e superficial da palhada. Este sistema surgiu por questões operacionais como fonte de facilitar operações como o semeio de cebola ou o transplante de mudas de tomate.

A matéria orgânica apresenta relação estreita com as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo e por isso é amplamente empregada como indicadora da qualidade do solo e dos manejos agrícolas. Características relacionadas à labilidade, à facilidade de oxidação e à quantidade e atividade da biomassa microbiana podem servir de ferramentas na avaliação de sustentabilidade dos cultivos, sob a perspectiva de conservação do solo.

Nesse sentido, considerando a importância dos sistemas conservacionistas como o SPD e o PPR para a produção sustentável de hortaliças, é preciso encontrar as melhores formas de manejo das culturas de cobertura de forma para contribuir com a sustentabilidade desse sistema de manejo nas condições do Cerrado. Assim, mudanças nas frações lábeis, oxidáveis e húmicas da matéria orgânica e as perdas de solo, água e nutrientes podem indicar as alterações provocadas pelo uso do solo sob SPD em comparação ao sistema de plantio com preparo convencional do solo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Quantificar os teores de carbono nas frações lábeis, oxidáveis e húmicas da matéria orgânica e quantificar as perdas, sob chuva natural, de solo, água e nutrientes em um Latossolo Vermelho cultivado com hortaliças sob diferentes sistemas de manejo do solo.

2.2. Objetivos específicos

Estudar os efeitos dos sistemas de manejo conservacionistas e convencionais para produção de hortaliças nas frações lábeis, oxidáveis e húmicas da matéria orgânica do solo.

Estimar as perdas de solo, água e nutrientes em solo sob sistemas de manejo convencionais e conservacionistas para a produção de hortaliças.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Sistemas conservacionistas de uso do solo com ênfase no sistema de plantio direto

Sistemas conservacionistas de manejo apresentam um expressivo efeito na melhoria da qualidade de solos tropicais e subtropicais (COSTA et al., 2004). Alguns desses sistemas têm como princípio a manutenção da cobertura vegetal e seus resíduos sobre o solo, destacando-se como estratégia eficaz para a conservação do solo e demais recursos naturais (CAIRES et al., 2006).

Nos sistemas de plantio convencional, a camada superficial do solo é revolvida, o que proporciona desagregação das partículas e conseqüente transporte pelas

enxurradas. Já os sistemas conservacionistas, como o SPD e o PPR, preconizam, respectivamente, a ausência e a redução de revolvimento do solo, contribuindo para a preservação de sua estrutura.

As diferentes formas de manejo podem afetar significativamente as características de escoamento/fluxo na superfície do solo, por mudanças na rugosidade da superfície, bem como as variações na estrutura do solo, estabilidade de agregados, teor de matéria orgânica, e pelo aumento da porosidade total das camadas cultivadas (CASSOL & LIMA, 2003; CARVALHO et al., 2009).

Cerca de 80 milhões de hectares do bioma Cerrado vêm sendo cultivados com diferentes usos da terra, o que corresponde a 39,5% da área total do bioma. As duas classes mais representativas de uso da terra são as pastagens cultivadas e as culturas agrícolas, que ocupam 26,5 e 10,5% do Cerrado, respectivamente. Aproximadamente 61% da área do bioma encontram-se preservada, incluindo áreas com vegetação em regeneração e pastagens nativas (SANO et al., 2008).

Esses dados demonstram a crescente transformação do bioma Cerrado para as atividades agrícolas. Diversas características edafoclimáticas como boa distribuição pluviométrica no verão e o relevo plano ou suavemente ondulado possibilitam a produção agrícola em larga escala, principalmente de grãos. Segundo levantamento sistemático da produção agrícola para a safra de 2012, feito pelo IBGE (2012) a área colhida em 2012 foi de 48,8 milhões de hectares, o que indica um acréscimo de 0,3% frente à área colhida em 2011. Destes, 21,6 milhões na região dos cerrados (EMBRAPA CERRADOS, 2012), onde aproximadamente 50% estão cultivados sob SPD. O Brasil é referência mundial no desenvolvimento e adoção do SPD, destacando-se no cenário internacional, com mais de 22 milhões de ha (FREITAS, 2007).

O SPD baseia-se no manejo sustentável dos recursos solo e água visando otimizar o potencial genético das plantas cultivadas e fundamenta-se em três requisitos básicos: revolvimento mínimo do solo, rotação de culturas e manutenção de palhada na superfície do solo (FREITAS, 2002). Esse sistema surgiu nos Estados Unidos da América em meados da década de 1950 como forma de se evitar a erosão hídrica, consequência do excessivo número de operações para o preparo do solo (DICK, 1991).

Em comparação ao sistema de plantio convencional (SPC), o SPD apresenta como vantagens a redução no uso de máquinas, a diminuição das variações da temperatura do solo, a melhoria da estrutura do solo, o aumento da infiltração e da retenção de água no solo, a redução das perdas de água por evaporação e por

escoamento superficial, o melhor desenvolvimento do sistema radicular da cultura, a melhoria no controle de plantas invasoras, a redução dos processos erosivos e o aumento da eficiência do uso de água pelas plantas (BERTOL et al., 2004; MAROUELLI et al., 2010).

O cultivo intensivo dos solos nas regiões tropicais e subtropicais começou a ser substituído a partir da década de 1980 pelo SPD, que se tornou uma das tecnologias de cultivo de maior expressividade e qualidade nessas regiões (DERPSCH et al., 1991).

A manutenção de resíduos vegetais na superfície, a rotação de culturas e o mínimo revolvimento do solo (revolvimento somente na linha/cova de semeadura), princípios básicos da adoção do SPD, além de reduzirem a emissão de CO₂ para a atmosfera, atuam no aumento do estoque de C e N no solo (CARVALHO et al., 2010).

Além disso, coberturas do solo com resíduos de culturas podem reduzir a erosão, dissipando a energia cinética das gotas de chuva sobre a superfície, diminuindo a velocidade do fluxo e do aumento da profundidade da camada de água na superfície do solo (MARTINS FILHO et al., 2009).

Além das vantagens já destacadas do SPD sobre o controle da erosão e a diminuição das perdas de solo, água e nutrientes, e, conseqüentemente, da poluição dos cursos d'água, o uso desse sistema tem sido incentivado pelo seu papel no aumento dos estoques de matéria orgânica do solo, possibilitando a diminuição das emissões de C para a atmosfera.

3.2. Cultivo de hortaliças em sistema plantio direto

As primeiras experiências no Brasil de cultivo de hortaliças em SPD surgiram em Santa Catarina na década de 1980, com o cultivo mínimo de cebola, mais especificamente na região de Ituporanga, maior pólo cebolicultor do Brasil (MONEGAT, 1991; AMADO et al., 1992; MADEIRA, 2009).

O transplantio direto na palha de mudas de tomateiro para processamento vem sendo introduzido na região dos cerrados, especificamente nos estado de Goiás e Minas Gerais, tendo por vantagens melhor conservação do solo, maior tolerância a estresses hídricos e menor uso de maquinário na lavoura (GIORDANO et al., 2000). Em manejo de irrigação, o uso do plantio direto com diferentes níveis de palhada para produção de repolho não afetou a produtividade da cultura, todavia, a eficiência no uso de água

aumentou linearmente com o aumento da quantidade da palhada (MAROUELLI et al., 2010).

Em estudos preliminares de uso de plantio direto em hortaliças no Cerrado observou-se que a cobertura vegetal e o revolvimento localizado reduziram a erosão em até 95% (ANDRADE et al., 2009).

Para o cultivo de hortaliças em SPD é fundamental o cultivo de espécies que proporcionem a formação de palhada vigorosa e homogênea para cobertura do solo. Normalmente têm sido utilizadas gramíneas como o milho e o milheto ou consórcio dessas gramíneas com leguminosas como mucuna (*Mucuna aterrima*) ou crotalária (*Crotalaria juncea*).

A sucessão de culturas numa mesma área é fundamental no sistema de produção de hortaliças, pois permite explorar os nutrientes racionalmente, evitando o esgotamento do solo através da alternância de espécies com diversidade na exigência de nutrientes e nos sistemas radiculares (SOUZA, 2003).

Diversos autores vêm avaliando a viabilidade do SPD em hortaliças no Brasil com resultados positivos, Branco et al. (2009) em tomate em São Paulo; Epagri (2004) em abóbora no planalto de Santa Catarina; Factor et al. (2009) em cebola em São Paulo; Marouelli et al. (2006) em tomate para processamento no Distrito Federal, além de outras diversas experiências empíricas e, por vezes, pontuais. Nos Estados Unidos, país pioneiro no uso desse sistema, Abdul-Baki e Teasdale (1997) em tomate para processamento, Abdul-Baki et al. (1999) em pimentão, Morse (1997) em batata.

3.3. Matéria orgânica do solo e suas frações

A matéria orgânica do solo (MOS) é composta por diferentes frações em diferentes estágios de decomposição, compostos humificados e materiais carbonizados, associados ou não à fração mineral, além dos organismos vivos como raízes e os constituintes da fauna edáfica (ROSCOE & MACHADO, 2002).

A importância da matéria orgânica (MOS) em relação às propriedades químicas, físicas e biológicas do solo é amplamente reconhecida. A MOS é considerada um dos principais indicadores da qualidade do solo (DORAN & PARKIN, 1994). Além das mudanças na quantidade de MOS em solos cultivados, também têm sido observadas mudanças na sua qualidade, notadamente no grau de oxidação e labilidade (BLAIR et al., 1995; SHANG & TIESSEN, 1997).

Com o desenvolvimento de novas técnicas de detecção, tem sido possível o estudo da MOS pela compreensão de suas diferentes frações. Diversos tipos de fracionamento têm sido apresentados utilizando-se diversos princípios como a solubilidade em meios ácido e alcalino, a densidade e tamanho das partículas orgânicas, ou a facilidade para a oxidação na presença de diferentes soluções oxidantes.

Por meio do fracionamento da MOS é possível compreender os efeitos dos sistemas de manejo sobre as modificações na sua qualidade. Por exemplo, o acúmulo de carbono em frações lábeis da MOS tem sido relacionado à sua proteção física no interior de agregados, em consequência da inacessibilidade aos microrganismos e suas enzimas (FELLER & BEARE, 1997). A matéria orgânica protegida no interior de agregados apresenta um tempo de permanência no solo maior do que a matéria orgânica livre, sendo esta proteção maior nos microagregados do que nos macroagregados (BUYANOVSKY et al., 1994).

3.4.1 Frações obtidas conforme o grau de suscetibilidade à oxidação (frações “oxidáveis”)

De acordo com procedimento apresentado por Chan et al. (2001), o carbono oxidável é dividido em quatro frações (F1, F2, F3 e F4), conforme o grau de suscetibilidade à oxidação, na presença de diferentes concentrações de ácido sulfúrico. As frações F1 e F2, de mais fácil oxidação, estão associadas à disponibilidade de nutrientes e à formação de macroagregados (BLAIR et al., 1995; CHAN et al., 2001). Já as frações F3 e F4 estão relacionadas a compostos de maior estabilidade química e massa molar, oriundos da decomposição e humificação da MOS (STEVERSON, 1994). A metodologia é uma modificação do método original descrito por Walkley & Black (1934). No método original, o C é determinado pela utilização de uma única concentração de ácido sulfúrico (12 mol L^{-1}) e, com a modificação proposta por Chan et al. (2001), foi possível separar quatro frações com graus decrescentes de oxidação, por meio da utilização de quantidades crescentes de ácido sulfúrico.

Os maiores teores de C, em relação ao carbono orgânico total (COT), são encontrados na fração F1 na camada superficial do solo, o que associa a concentração dessa fração à maior disponibilidade de resíduos vegetais (MAIA et al., 2007). Em sistema orgânico de produção, os maiores teores de C foram encontrados nas frações F1 e F4. O uso de consórcio berinjela/milho propiciou melhor distribuição de cada fração

oxidável, apresentando um equilíbrio entre matéria orgânica de maior labilidade no solo (F1) e aquela mais recalcitrante (F4) (LOSS et al., 2010).

De modo geral, os resultados de pesquisas com frações obtidas por níveis de oxidação do C evidenciam que culturas agrícolas e/ou sistemas de manejo que favorecem adições frequentes de material orgânico ao solo tendem a apresentar maior proporção de carbono na fração lábil em detrimento das frações mais resistentes à oxidação (BLAIR et al., 1995; CHAN et al., 2001).

3.4.2 Carbono da biomassa e atividade microbiana

A biomassa microbiana do solo (BMS) é a fração viva da MOS, responsável por processos bioquímicos e biológicos no solo e sensivelmente alterada pelas condições impostas pelo meio (BALOTA et al., 2008). Dessa forma, a BMS é influenciada pelo clima, pela aeração, pela disponibilidade de nutrientes minerais e pelo C orgânico do solo. Em situações com maior deposição de resíduos orgânicos no solo e com grande quantidade de raízes há estímulo da biomassa microbiana, acarretando aumento populacional (SOUZA, 2010).

Para a quantificação do carbono da biomassa microbiana (CBM), diversos métodos são utilizados. O método da irradiação-extração proposto por Islam & Weil (1998) tem tido resultados semelhantes ao método da fumigação-extração proposto por Vance et al. (1987). Em estudo realizado por Ferreira et al. (1999), a irradiação reduziu os coeficientes de variação nas amostras de solo submetidas ao procedimento de extração, indicando ser o método irradiação-extração, em termos operacionais, o mais adequado para estimar o C microbiano no solo.

O CBM é afetado pelo sistema de manejo, apresentando no SPD maiores teores em relação ao preparo convencional (MATIAS et al., 2009; NUNES et al., 2011; PRAGANA et al., 2012; MATOSO et al., 2012). Isto pode ser explicado pela maior sensibilidade do C microbiano, sendo este afetado negativamente pelo revolvimento do solo, conforme observaram diversos autores para solos do Cerrado (MENDES et al., 2003; FIGUEIREDO et al., 2007; FERREIRA et al., 2007; BRANDÃO-JUNIOR et al., 2008; LISBOA et al., 2012).

A comparação dos teores de CBM entre áreas nativas e agrícolas é utilizada para demonstrar os impactos causados pelos sistemas de manejo quando da transformação do

Cerrado para agricultura. Em relação à área sob vegetação nativa do Cerrado, diferentes sistemas de uso e manejo do solo promoveram diminuição no CBM e na relação CBM/COT em todas as profundidades amostradas (SILVA et al., 2010). Este comportamento pode ser explicado pelo maior, contínuo e variado aporte de substratos orgânicos provenientes da maior diversidade de espécies na vegetação nativa e com diferentes graus de suscetibilidade à decomposição (CARDOSO et al., 2009).

O preparo do solo executado com aração e, ou, gradagem aumenta o potencial de perda de matéria orgânica por erosão hídrica e decomposição microbiana, sendo esta a principal forma de perda de matéria orgânica do solo afetada pelos preparos (REICOSKY & LINDSTROM, 1993).

Assim, a biomassa microbiana, a atividade da microbiota e o carbono orgânico do solo são atributos muito sensíveis ao manejo do solo, sendo os primeiros a serem afetados quando ocorre a mudança de um sistema em que não há ação antrópica, para um sistema cultivado (SOUZA et al., 2006). O uso do sistema de manejo adequado é muito importante para a manutenção dos teores de MOS. O revolvimento do solo, por exemplo, pode duplicar a perda de MOS em relação a um sistema de manejo sem revolvimento (BAYER et al., 2000). Os teores de carbono da biomassa microbiana em solos cultivados com hortaliças tem variado entre 87,38 e 188,21 mg kg⁻¹ para a camada de 0-10 cm de profundidade (CHAVES et al, 2012; MOURA et al., 2013).

3.4.3 Frações do carbono de substâncias húmicas

As substâncias húmicas (SH), constituintes de aproximadamente 70 a 80% da MOS na maioria dos solos, são compostas pelas frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina, determinadas com base na solubilidade em meio ácido ou alcalino (STEVEYSON, 1994). Conforme a metodologia empregada, outras frações podem ser obtidas como o ácido fúlvico livre, ácido fúlvico soda e ácidos fúlvico e húmico pirofosfato, entre outros.

As frações húmicas têm sido utilizadas como indicadores de qualidade do solo, em razão da forte interação das SH com o material mineral e o manejo do solo (FONTANA et al., 2006). A distribuição do carbono orgânico nas três frações depende do tipo de solo, do tipo de vegetação, do uso e do manejo empregado (DICK & MARTINAZZO, 2006). Diversos trabalhos relatam a influência dos sistemas de manejo

agrícola nas substâncias húmicas (BARRETO et al., 2008; PORTUGAL et al., 2008; SANTANA et al., 2011). O uso do sistema de plantio direto, por exemplo, preserva os teores de carbono orgânico em todas as frações húmicas (ROSA et al., 2008). Já sistemas em que há o revolvimento do solo favorecem o aumento de ácidos fúlvicos e de humina e diminuição de ácidos húmicos (CUNHA et al., 2001). Quando avaliado em profundidade, diversos autores encontraram diminuição das frações ácidos húmicos e fúlvicos (ARAÚJO et al., 2004; LOSS et al., 2010; ROSSI et al., 2011).

Apesar da grande disponibilidade de dados de frações lábeis, oxidáveis e húmicas em solos sob SPD, ainda há pouca informação quando esse sistema é utilizado na produção de hortaliças e nas condições edafoclimáticas do Cerrado.

3.4. Perdas de solo, água e nutrientes em solos sob sistemas de manejo

A erosão é um processo de desprendimento, arraste e deposição de partículas do solo. Este processo é descrito como físico-energético gerado a partir das interações de agentes ativos (vento e chuva) e passivo (solo) do sistema natural. Dependendo das características desses agentes e suas interfaces, este processo pode originar perdas de solo, água e outras substâncias (CASSOL & REICHERT, 2002).

Diversos autores tem estimado as taxas anuais de perdas de solo, água e nutrientes em áreas ocupadas por lavouras e pastagens. As metodologias utilizadas são, em sua maioria, modificações desenvolvidas a partir da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) – *Universal Soil Loss Equation* – proposto por Wischmeier & Smith (1978). A partir das taxas de perdas podem-se estimar os prejuízos econômicos. Para isso, alguns métodos podem ser utilizados. De acordo com Rodrigues (2005), o método mais utilizado é o do custo de reposição de nutrientes.

No Brasil, os impactos da erosão causam um prejuízo anual da ordem de R\$10,6 bilhões, sendo R\$7,33 bilhões relacionados com a reposição de corretivos e nutrientes e outros R\$3,29 bilhões ligados ao tratamento de água para consumo, reposição de reservatórios, manutenção de estradas, recarga de aquíferos, consumo de combustíveis e energia em áreas irrigadas (OLIVEIRA, 2007). Por isso, a avaliação das perdas de solo nos processos de produção agrícola assume importância fundamental na escolha e adoção de práticas que visam minimizar a degradação do solo e, conseqüentemente, manter ou aumentar a sustentabilidade da atividade agrícola (CARDOSO et al., 2004).

Em áreas agrícolas, a erosão hídrica é um processo impactante que altera as propriedades do solo, sendo considerada a forma mais prejudicial de degradação (COGO et al., 2003) e o principal fator causador da insustentabilidade nos sistemas de produção agrícola (MEIRELLES et al., 2005).

A degradação do solo ocorre em geral a partir da interferência antrópica sobre este recurso natural (SILVA et al., 2005), sendo a erosão, a lixiviação, a compactação do solo e a perda de MOS, exemplos de processos degradativos em sistemas agrícolas (BEZDICEK et al., 1996).

A declividade, a capacidade de infiltração de água no solo, a distância da rampa de declive percorrida pelo escoamento, a rugosidade superficial, a percentagem de cobertura do solo e a resistência do solo à ação da chuva são os principais fatores relacionados às condições do terreno que determinam a intensidade do processo erosivo (PEREIRA et al., 2003). Devido à importância que o fenômeno apresenta, diversos estudos vem sendo realizados a fim de avaliar a influência do manejo do solo nas perdas por erosão (VINSANTIN et al., 2002; CASSOL & LIMA, 2003; CASSOL et al., 2004; ANDRELLO et al., 2003; ATREYA et al., 2006).

A erosão hídrica, por ser seletiva, preferencialmente transporta os sedimentos mais finos, de menor diâmetro e de baixa densidade, constituídos, sobretudo de colóides minerais e orgânicos e normalmente enriquecidos de elementos minerais (BERTOL et al., 2007). Em geral, existe relação linear positiva entre a concentração de nutrientes no material erodido e aquela na camada de 0–0,025 m de profundidade do solo original (BERTOL et al., 2003).

Optar por sistemas conservacionistas que têm como princípio a manutenção de cobertura vegetal e seus resíduos sobre o solo tem se destacado como estratégia eficaz quando se refere à sustentabilidade dos sistemas agrícolas nas regiões tropicais e subtropicais (CAIRES et al., 2006). Segundo Amado et al. (1989), 20% de cobertura do solo podem reduzir em até 50% as perdas de solo, comparativamente a solo descoberto.

Áreas agrícolas sob preparo convencional são grandes contribuintes da degradação do solo, pois neste sistema, com intenso revolvimento do solo, ocorre a desestabilização dos agregados provocando o selamento superficial e conseqüentemente o aumento do escoamento superficial e a perda de solo (REICHERT et al., 2000). Esta é mais fortemente influenciada pelos sistemas de manejo do solo do que as de água (BERTOL et al., 2007).

Estudos relativos à eficácia de sistemas conservacionistas de manejo do solo no controle de perdas de nutrientes indicam que o total de nutrientes perdidos por erosão hídrica decresce quando tais sistemas são utilizados, em relação aos convencionais (SEGANFREDO et al., 1997).

Em solos cultivados com hortaliças, poucos estudos são realizados a fim de medir as perdas de solo e nutrientes. Um dos poucos trabalhos existentes foi realizado na Embrapa Hortaliças e mostrou que a perda total de solo foi 82% menor em SPD (CAIXETA et al., 2009). Quando comparado aos sistemas florestais e em fruticultura, o cultivo de hortaliças em sistema convencional apresentou maiores taxas de perdas de solo por erosão devido, principalmente, à falta de práticas que reduzam a velocidade do escoamento superficial e à pequena taxa de cobertura vegetal proporcionada pelas culturas (MENDES et al., 2011). Em geral, o uso do sistema de plantio direto tem ocasionado menores taxas de perdas de solo, água e nutrientes (LEITE et al., 2009; PANACHUKI et al, 2011).

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDUL-BAKI, A.; TEASDALE, J.R. Sustainable production of fresh-market tomatoes and other summer vegetables with organic mulches. USDA, 23p. 1997. (**Farmers Bulletin n° 2279**).

ABDUL-BAKI, A.; MORSE, R.D.; TEASDALE, J.R. Tillage and mulch effects on yield and fruit fresh mass of bell pepper (*Capsicum annum L.*). **Journal of Vegetable Crop Production**, v. 5, p. 43-58, 1999.

AMADO, T.J.C.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa do manejo do resíduo cultural de soja na redução das perdas do solo por erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, p. 251-257, 1989.

AMADO, T.J.C.; SILVA, E.; TEIXEIRA, L.A.J. Cultivo mínimo de cebola: máquina para o preparo de solo nas pequenas propriedades. **Agropecuária Catarinense**, v. 1, p. 25-26, 1992.

- ANDRADE, C.; ALCÂNTARA, F.A.; MADEIRA, N.R.; MACÊDO, R.H.; SOUZA, R.F. Erosão hídrica em um Latossolo Vermelho cultivado com hortaliças sob diferentes sistemas de manejo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, **Anais... XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 2009.
- ANDRELLO, A.C.; APPOLONI, C.R.; GUIMARÃES, M.F. Uso do Césio-137 para avaliar taxas de erosão em cultura de soja, café e pastagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 223-229, 2003.
- ARAÚJO, E.A.; LANI, J.L.; AMARAL, E.F.; GUERRA, A. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo Distrófico na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 307-315. 2004.
- ATREYA, K.; SHARMA, S.; BAJRACHARYA, R.M.; RAJBHANDARI, N.P. Applications of reduced tillage in hills of central Nepal. **Soil and Tillage Research**, v. 88, p. 16-29, 2006.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 599-607, 2000.
- BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 641-649, 2008.
- BARRETO, A.C.; FREIRE, M.B.G.S.; NACIF, P.G.S.; ARAÚJO, Q.R.; FREIRE, F.F.; INÁCIO, E.S.B. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1471-1478, 2008.
- BERTOL, I.; MELLO, E.L.; GUADAGNIN, J.C.; ZAPAROLLI, A.L.V.; CARRAFA, M.R. Nutrient losses by water erosion. **Scientia Agricola**. v. 60, p. 581-586, 2003.
- BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JR., W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 155-163, 2004.

- BERTOL, O. J.; RIZZI, N.E.; BERTOL, I.; ROLOFF, G. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 781-792, 2007.
- BEZDICEK, D. F.; PAPENDICK, R. I.; LAL, R. Introduction: importance of soil quality to health and sustentable land management. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Ed.). Methods for assessing soil quality. **Soil Science Society of America**, p. 1-8, 1996. (SSSA. Special publication, 49).
- BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, p. 1459-1466, 1995.
- BRANCO, R.B.F.; SUGUINO, E.; BLAT, S.F.; BOLONHEZI, D.; CECÍLIO FILHO, A.B.. Atributo físico e químico do solo em sistema de plantio direto do tomateiro. **Horticultura Brasileira**, v. 27, p. 3665-3669, 2009.
- BRANDÃO-JUNIOR, O.; HUNGRIA, M.;FRANCHINI, J.C.; ESPINDOLA, C.R. Comparação entre os métodos de fumigação-extração e fumigação-incubação para determinação do carbono da biomassa microbiana em um Latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1911-1919, 2008.
- BUYANOVSKY, G.A.; ASLAM, M.; WAGNER, G.H. Carbon turnover in soil physical fractions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1167-1173, 1994.
- CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J; FERRACCIÚ ALLEONI, L. R.; CAMBRI, M.A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 87-98, 2006.
- CAIXETA, R.P.; ALNCANTARA, F.L.; MADEIRA, N.R.; ABDALLA, R.P. Perdas de solo, água, nutriente e matéria orgânica em área cultivada com cebola em diferentes sistemas de manejo do solo. Embrapa Hortaliças (**Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 51**) 2009.

- CARDOSO, D.P.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SÁFADI, T.; FONSECA, S.; FERREIRA, M.M.; MARTINS, S.G.; SÁ, J.J.G.; MARQUES, M. Erosão hídrica avaliada pela alteração na superfície do solo em sistemas florestais. **Scientia Forestalis**, v. 66, p. 25-37, 2004.
- CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; MOREIRA, F.M.S.; CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 631-637, 2009.
- CARVALHO, D.F.; CRUZ, E.S.; PINTO, M.F.; SILVA, L.D.B.; GUERRA, J.G.M. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 3-9, 2009.
- CARVALHO, J.L.N.; AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N.; MELLO, C.R.; CERRI, C.E.P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 277-289, 2010.
- CASSOL, E.A.; REICHERT, J.M. **Pesquisa em erosão do solo no Brasil**. p.399-420. In: ARAÚJO, Q.R. (organizador). 500 anos de uso do solo no Brasil. Editora UESC, 605p. 2002.
- CASSOL, E.A.; LIMA, V.L. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 117-124, 2003.
- CASSOL, E.A.; CANTALICE, J.R.B.; REICHERT, J.M.; MONDARDO, A. Escoamento superficial e desagregação do solo em entressulcos em solo franco-argilo-arenoso com resíduos vegetais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 685-690, 2004.
- CHAN, K.Y.; BOWMAN, A., Oates, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture ley. **Soil Science**, v. 166, p. 61-67, 2001.
- CHAVES, A.A.A.; LACERDA, M.P.C.; GOEDERT, W.J.; RAMOS, M.L.G; KATO, E. Indicadores de qualidade de Latossolo Vermelho sob diferentes usos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, p. 446-454, 2012.

- COGO, N.P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R.A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 743-753, 2003.
- COSTA, F. S.; BAYER, C; ALBUQUERQUE, J.A.; FONTOURA, S.M.V. Aumento de matéria orgânica num Latossolo Bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, p. 587-589, 2004.
- CUNHA, T.J.F.; MACEDO, J.R.; RIBEIRO, L.P.; PALMIERI, F.; FREITAS, P.L.; AGUIAR, A.C. Impacto do manejo convencional sobre propriedades físicas e substâncias húmicas de solos sob cerrado. **Ciência Rural**, v. 31, p. 27-36, 2001.
- DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. **Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ)**, 272p, 1991.
- DICK, W.A. Continuous application of no tillage to Ohio soils. **Agronomy Journal**, v. 83, n. 1, p. 65-73, 1991.
- DICK, D. P.; MARTINAZZO, R. **Matéria orgânica em ambientes terrestres e aquáticos: compartimentos, composição e reações**. In: POLETO, C.; MERTEN, G. H. Qualidade dos Sedimentos. ABRH, p. 65-80, 2006.
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A., eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**, 1994.
- EMBRAPA CERRADOS. Notícia disponível em <http://www.cpac.embrapa.br/unidade/apresentacao>, acesso em 22 de novembro de 2012.
- EPAGRI. 2004. **Sistema de plantio direto de hortaliças: o cultivo do tomateiro no Vale do Rio do Peixe, SC, em 101 respostas dos agricultores**. EPAGRI, 53p. (Boletim didático, 57).

- FACTOR T.L.; LIMA J.R.S.; PURQUERIO L.F.V.; TIVELLI S.W.; TRANI P.E.; BREDA JR J.M.; ROCHA M.A.V. Manejo da adubação nitrogenada na produção de cebola em plantio direto. **Horticultura Brasileira**, v. 27, p. 613-620, 2009.
- FELLER, C.; BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v. 79, p. 69-116, 1997.
- FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 991-996, 1999.
- FERREIRA, E.A.B.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C.; RAMOS, M.L.G. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1625-1637, 2007.
- FIGUEIREDO, C.C.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C.; FERREIRA, E.A.B.; RAMOS, M.L.G. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em resposta a diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 551-562, 2007.
- FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; CUNHA, T.J.F.; SALTON, J.C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41 p. 847-853, 2006.
- FREITAS P.L. Sustentabilidade: harmonia com a natureza. **Agroanalysis**, v. 22, p. 12-17, 2002.
- FREITAS, P.L.; NETO, L.M.; BANZATTO, C.V. Solos: além de tudo, sequestro de carbono. **Agroanalysis**, v. 27, p.15-16, 2007.
- GIORDANO, L.B.; SILVA, J.B.C.de; BARBOSA, V. Escolha de cultivares de plantio. In: SILVA, J.B.C.; GIORDANO, L.de B. (Orgs.). **Tomate para processamento industrial**. Brasília: Embrapa Comunicação – Embrapa Hortaliças, p. 36-57, 2000.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**, v. 25 p.1-84, 2012.

- ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soils**, v. 27, p. 408-416, 1998.
- LEITE, M.H.S.; COUTO, E.G.; AMORIM, R.S.S.; COSTA, E.L.; MARASCHIN, L. Perdas de solo e nutrientes num Latossolo Vermelho-Amarelo ácrico típico, com diferentes sistemas de preparo e sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 689-699, 2009.
- LISBOA, B.B.; VARGAS, L.K.; SILVEIRA, A.O.; MARTINS, A.F.; SELBACH, P.A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 45-55, 2012.
- LOSS, A.; MORAES A.G.L.; PEREIRA, M.G.; SILVA, E.M.R.; ANJOS L.H.C. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produção orgânica. **Comunicata Scientiae**, v. 1, p. 57-64, 2010.
- MADEIRA, N.R. Avanços tecnológicos no cultivo de hortaliças em sistema de plantio direto. **Horticultura Brasileira**, v. 27, p. 4036-4037, 2009.
- MAIA, S.M.F.; XAVIER, F.A.S.; SENNA, O.T.; MENDONCA, E.S.; ARAUJO, J.A. Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 71, p. 127-138, 2007.
- MARQUELLI, W. A.; SILVA, H. R.; MADEIRA, N. R. Uso de água e produção de tomateiro para processamento em sistema de plantio direto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1399-1404, 2006.
- MARQUELLI, W.A.; ABDALLA, R.P.; MADEIRA, N.R.; OLIVEIRA, A.S.; SOUZA, R.F. Eficiência de uso da água e produção de repolho sobre diferentes quantidades de palhada em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 369-375, 2010.
- MARTINS FILHO, M.V.; LICCIOTI, T.T.; PEREIRA, G.T.; MARQUES JUNIOR, J.; SANCHEZ, R.B. Perdas de solo e nutrientes por erosão num Argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, 29:8-18, 2009.

- MATIAS, M.C.B.S.; 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 Amazônica**, v. 31, p. 517-521, 2009.
- MATOSO, S.C.G.; SILVA, A.N.; FIORELLI-PEREIRA, E.C.; COLLETA, Q.P.; MAIA, E. Frações de carbono e nitrogênio de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes usos na Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v. 42, p. 231-240, 2012.
- MENDES, I.C.; SOUZA, L.V.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 435-443, 2003.
- MEIRELLES, M.S.P.; BUENO, M.C.D.; DIAS, T.C.S.; COUTINHO, H.L.C. Sistema de suporte a decisão para avaliação do risco de impactos ambientais em bacias hidrográficas por redes de dependência e lógica fuzzy. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, XII. p. 2259-2266, 2005.
- MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo: Características e manejo em pequenas propriedades**. Ed. do autor, 337p, 1991.
- MORSE, R.D. No-till production of Irish potato on raised beds. In: GALLAHER, R.N.; MCSORLEY, R. (eds) Proc. **Southern Conservation Tillage Conference for Sustainable Agriculture**, p. 117-121, 1997.
- MOURA, L.N.A.; LACERDA, M.P.C; RAMOS, M.L.G. Qualidade de Organossolo sob diferentes usos antrópicos em áreas de preservação permanente no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 33-39, 2013.
- NUNES, R.S.; LOPES, A.A.C.; SOUSA, D.M.G.; MENDES, I.C. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo de cerrado com a sucessão soja-milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1407-1419, 2011.

- OLIVEIRA, J.R. Perdas de solo, água, e nutrientes em um Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes padrões de chuva simulada. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ, Instituto de Agronomia, 2007. (**Dissertação de Mestrado**).
- PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; SOBRINHO, T.A.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES D.B.B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1777-1785, 2011.
- PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; MATOS, A. T. Desprendimento e arraste do solo pelo escoamento superficial. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, p. 423-429, 2003.
- PORTUGAL, A.F.; JUCKSCH, I.; SCHAEFER, C.E.G.R. Determinação de estoques total de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2091-2100, 2008.
- PRAGANA, R.B.; NÓBREGA, R.S.A.; RIBEIRO, M.R.; LUSTOSA FILHO, J.F. Atributos biológicos e dinâmica da matéria orgânica em Latossolos Amarelos na região do Cerrado piauiense sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 851-858, 2012.
- REICHERT, J. M.; SILVEIRA, M. J.; WOHLBERG, E. V.; PELEGRINI, A.; REINERT, D.J. Perdas de solo afetadas pela intensidade de chuva, horizonte do solo e declividade do solo. In: Paiva & Paiva. (Org.). **Caracterização quali-quantitativa da produção de sedimentos**. ABRH-UFSM, p. 81-97, 2000.
- REICOSKY, D.C.; LINDSTROM, M.J. Effect of fall tillage method on short term carbon dioxide flux from soil. **Agronomy Journal**, v. 85, p. 1237-1243, 1993.
- RODRIGUES, W. Valoração econômica dos impactos ambientais de tecnologias de plantio em região de Cerrados. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 43. p. 135-153, 2005.

- ROSA, C.M.; CASTILHOS, R.M.V.; DICK, D.P.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S. Teor e qualidade de substâncias húmicas de Planossolo sob diferentes sistemas de cultivo. **Ciência Rural**, v. 38, p. 1589-1595, 2008.
- ROSCOE, R.; MACHADO, P.L.O.A. Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica. **Embrapa Solos**. 86p, 2002.
- ROSSI, C.O.; PEREIRA, M.G.; GIACOMO, S.G.; BETTA, M.; POLIDORO, J.C. Frações húmicas da matéria orgânica do solo cultivado com soja sobre palhada de braquiária e sorgo. **Bragantia**, v. 70, p. 622-630, 2011.
- SANO, E.E.; ROSA, R.; BRITO, J.L.; FERREIRA, L.G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 153-156, 2008.
- SANTANA, G.S.; DICK, D.P.; JACQUES, A.V.A.; CHITARRA, G.S. Substâncias húmicas e suas interações com Fe e Al em Latossolo subtropical sob diferentes sistemas de manejo de pastagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 461-472, 2011.
- SEGANFREDO, M.L.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 287-291, 1997.
- SHANG, C.; TIESSEN, H. Organic matter lability in a tropical oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density and magnetic fractionations. **Soil Science**, v. 162, p. 795-807, 1997.
- SILVA, A. M.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; LIMA, J.M.; AVANZI, J.C.; FERREIRA, M.F. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 1223-1230, 2005.
- SILVA, R.R.; SILVA, M.L.N.; CARDOSO, E.L.; MOREIRA, F.M.S.; CURI, N.; ALOVISI, A.M.T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1585-1592, 2010.

- SOUZA, J.L. Manual de horticultura orgânica. Viçosa: **Aprenda Fácil**. 564 p., 2003.
- SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; 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**. Agronomia. v. 28, p. 323-329, 2006.
- SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.D.G.; ANGHINONI, I.; LIMA, C.V.S.; CARVALHO, P.C.S; MARTINS, A.P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 79-88, 2010.
- STEVERSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2 ed. John Wiley, 496p., 1994.
- VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, p. 703-707, 1987.
- VINSENTIN, D.; BERTOL, I.; AMARAL, A.J.; CARRAFA, M.R.; ZOLDAN JUNIOR, W.A. Erosão hídrica em quatro cultivos sob chuva natural. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 14., 2002, **Resumos expandidos...** UFMT, 2002.
- WALKLEY, A.; BLACK, J.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic titration method. **Soil Science**, v. 37, p. 29-38, 1934.
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D., Predicting rainfall erosion losses—a guide to conservation planning. **Agriculture Handbook**, US Department of Agriculture, US Government Printing Office, v. 537, 58p., 1978.

CAPÍTULO I

FRAÇÕES LÁBEIS, OXIDÁVEIS E HÚMICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLO SOB SISTEMA DE PLANTIO DIRETO COM HORTALIÇAS¹

Rodrigo Fernandes de Souza², Cícero Célio de Figueiredo³, Nuno Rodrigo Madeira⁴

²Universidade de Brasília – UnB, C. Postal 4508, 70910-970, Brasília-DF, ³Professor FAV/UnB, ⁴Pesquisador Embrapa Hortaliças, C. Postal 218, 70359-970

(Trabalho a ser enviado para a Revista Brasileira de Ciência do Solo)

¹Trabalho apresentado pelo primeiro autor como parte da dissertação de mestrado em Agronomia pela UnB, Brasília-DF.

RESUMO

O uso de sistemas conservacionistas para a produção de hortaliças tem crescido no Brasil com reflexos positivos na qualidade do solo. Considerando que os sistemas de manejo alteram a quantidade e a qualidade da matéria orgânica (MOS), este trabalho teve por objetivo avaliar a distribuição de frações lábeis, oxidáveis e húmicas da matéria orgânica em um Latossolo sob sistemas de manejo e cultivado com hortaliças. Os tratamentos avaliados consistiram na combinação de três sistemas de manejo de solo: plantio direto (PD); plantio com preparo reduzido (PPR); e preparo convencional (PC). Também foram utilizadas duas configurações para provimento de palhada: milho e consórcio milho e mucuna, cultivados no verão. No inverno, nessas áreas, foram cultivadas hortaliças. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. As amostras de solo foram coletadas na entrelinha de cultivo da hortaliça em três profundidades (0-5 cm, 5-10 cm e 10-30 cm), em duas épocas de amostragem: em outubro, antes do plantio das culturas para formação de palhada; e em julho, durante o cultivo da hortaliça. Foram determinados o carbono orgânico total (COT), o carbono da biomassa microbiana (CBM), das frações oxidáveis F1, F2, F3 e F4, e o carbono das frações ácido fúlvico (C_{AF}), ácido húmico (C_{AH}) e da humina (C_{HUM}). As principais alterações nos atributos avaliados ocorreram na camada mais superficial onde, de maneira geral, o PD com palhada de milho se destacou, sendo o sistema que apresentou maiores teores de COT. Os valores de CBM foram menores nos sistemas de PC, mostrando-se sensível ao revolvimento do solo. Para o carbono das frações húmicas, somente os ácidos húmicos apresentaram influência pelo manejo do solo. Os sistemas de preparo tiveram influência somente nas frações mais lábeis do carbono (F1 e F2). A produtividade de repolho não foi influenciada pelo manejo do solo, mas foi beneficiada pelo uso do consórcio milho + mucuna como planta de cobertura formadora de palhada.

Palavras-chave: Carbono orgânico, manejo do solo, biomassa microbiana, substâncias húmicas.

ABSTRACT

The use of conservation tillage systems for vegetable production in Brazil has grown with positive effects on soil quality. Whereas management systems alter the quantity and quality of organic matter (MOS), this study aimed to evaluate the distribution of labile, oxidizable and humic organic matter in an Oxisol under management systems and cultivated with vegetables. The treatments consisted of the combination of three different tillage systems: no-tillage (PD) with reduced tillage planting (PPR) and conventional tillage (PC). Two configurations for providing straw were used: corn intercropping corn and velvet beans, grown in summer. In winter, these areas were cultivated using vegetables. The experimental design was a randomized block design with four replications. Soil samples were collected between rows of growing vegetables at three depths (0-5 cm, 5-10 cm and 10-30 cm) in two sampling periods: in October, before planting crops for formation of straw, and in July, during the cultivation of vegetables. Microbial biomass carbon (CBM), oxidizable fractions F1, F2, F3 and F4, and carbon fractions of fulvic acid (C_{AF}), humic acid (C_{AH}) and humin (C_{HUM}) were determined. The main changes occurred in the attributes evaluated in the superficial layer where, in general, the SPD with maize straw stood out, and the system showed the highest COT. CBM values were lower in PC systems, being sensitive to soil disturbance. For carbon humic fractions, only the humic acids showed influences by soil management. Only the more labile carbon fractions (F1 and F2) were influenced by the tillage systems. The yield of cabbage was not influenced by soil management, but was benefited by the use of maize + mucuna as cover crop mulch-forming.

Keywords: Organic carbon, soil tillage, microbial biomass, humic substances.

INTRODUÇÃO

O Cerrado consiste em uma área sob plena expansão da fronteira agrícola no Brasil, cobrindo aproximadamente 200 milhões de hectares (BUSTAMANTE et al., 2006). Destes, cerca de 80 milhões vêm sendo cultivados com diferentes usos da terra. As duas classes mais representativas de uso da terra são as pastagens cultivadas e as culturas agrícolas, que ocupam 26,5 e 10,5% do Cerrado, respectivamente. Aproximadamente 61% da área do bioma encontra-se preservada, incluindo áreas com vegetação em regeneração e pastagens nativas (SANO et al., 2008).

Diversos sistemas de manejo e culturais são utilizados no Cerrado com impactos sobre os componentes do solo, notadamente sobre os compartimentos da matéria orgânica (MOS). Com o uso de sistemas convencionais de cultivo o solo atua como fonte de C para atmosfera (BAYER et al., 2004), enquanto o sistema de plantio direto (SPD) é uma alternativa para minimizar os impactos causados ao solo, pelas diferentes formas de uso, pois, os princípios básicos da adoção do SPD levam à redução da emissão de CO₂ para a atmosfera e atuam ainda no aumento do estoque de C e N no solo (CARVALHO et al., 2010).

A importância da MOS para a melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo é amplamente reconhecida. Nos últimos anos diversos procedimentos analíticos foram desenvolvidos com o intuito de se entender as funções das frações que compõem a MOS. Entre essas frações, a biomassa microbiana do solo (BMS) é a fração viva da MOS, responsável por processos bioquímicos e biológicos no solo e sensivelmente alterada pelas condições impostas pelo meio (BALOTA et al., 2008). Em situações com maior deposição de resíduos orgânicos no solo e com grande quantidade de raízes há estímulo da biomassa microbiana, acarretando aumento populacional (SOUZA et al., 2010).

O fracionamento químico é um dos mais antigos procedimentos analíticos de estudo da MOS. As frações húmicas têm sido utilizadas como indicadoras de qualidade do solo, em razão da forte interação das substâncias húmicas (SH) com o material mineral e relação com o manejo do solo (FONTANA et al., 2006). Diversos trabalhos relatam a influência dos sistemas de manejo agrícola nas substâncias húmicas (BARRETO et al., 2008; PORTUGAL et al., 2008; SANTANA et al., 2011). O uso do sistema de plantio direto, por exemplo, preserva os teores de carbono orgânico em todas as frações húmicas (ROSA et al., 2008). Já sistemas que preconizam o revolvimento

favorecem o aumento de ácidos fúlvicos e de humina e diminuição de ácidos húmicos (CUNHA et al., 2001).

Outro fracionamento que indica a estabilidade do carbono avalia o carbono oxidável, conforme proposto por CHAN et al. (2001), e divide em quatro frações (F1, F2, F3 e F4), conforme o grau de suscetibilidade à oxidação em diferentes concentrações de ácido sulfúrico. As frações F1 e F2, de mais fácil oxidação, estão associadas à disponibilidade de nutrientes e à formação de macroagregados (BLAIR et al., 1995; CHAN et al., 2001). Já as frações F3 e F4 estão relacionadas a compostos de maior estabilidade química e massa molar, oriundos da decomposição e humificação da MOS (STEVENSON, 1994).

Assim, as frações do carbono são atributos muito sensíveis ao manejo do solo, sendo os primeiros a serem afetados quando ocorre a mudança de um sistema em que não há ação antrópica para um sistema cultivado (SOUZA et al., 2006).

A partir do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar as frações lábeis, oxidáveis e húmicas da matéria orgânica do solo, sob cultivo de hortaliças em sistema de plantio direto, sistema de plantio com preparo reduzido e sistema de plantio com preparo convencional, em Latossolo no Cerrado.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido no setor de campos experimentais do Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças (CNPH) – Embrapa Hortaliças, Brasília, DF (15°56'S, 48°08'W, altitude de 997,6 m). O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo Cwa, temperado úmido com inverno seco e verão quente. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa (SANTOS et al., 2006).

A área experimental originalmente coberta por vegetação de campo sujo vem sendo cultivada com hortaliças desde a década de 1980 sob sistema convencional de preparo do solo. O experimento está instalado desde dezembro de 2007, em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições.

A precipitação pluviométrica e a temperatura média mensal da área experimental estão apresentadas na figura 1.

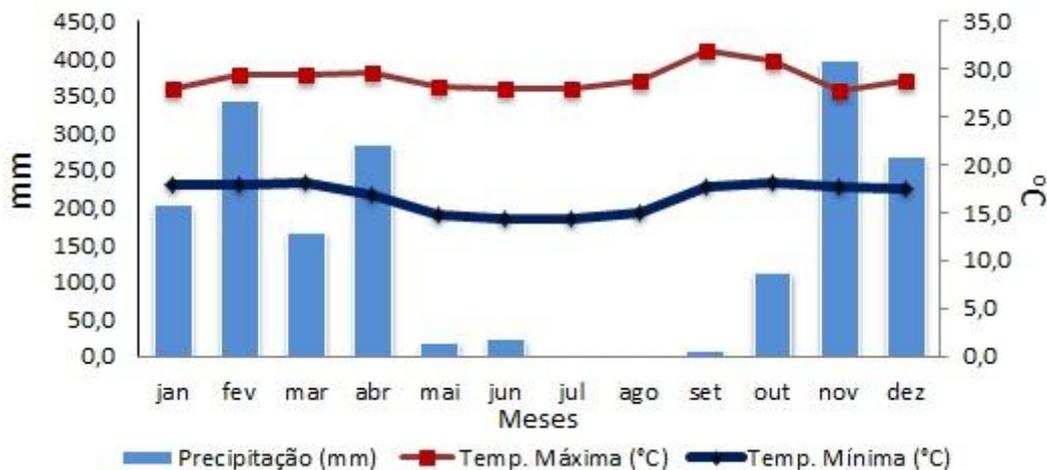


Figura 1. Precipitação mensal e temperaturas máximas e mínimas obtidas na estação meteorológica da Embrapa Hortaliças, Brasília-DF (média dos anos 2010, 2011 e 2012).

Sistemas de manejo estudados

O delineamento experimental é em blocos ao acaso, em esquema fatorial 3x2, com 4 blocos e parcelas medindo 12 metros de comprimento por 9 metros de largura, os tratamentos são constituídos por três diferentes sistemas de manejo do solo (Sistema de Plantio Direto –SPD, Sistema de Plantio com Preparo Reduzido – PPR, e Sistema de Plantio com Preparo Convencional – PC) e duas coberturas vegetais para provimento de palhada (Milho – M ou o consórcio Milho e Mucuna – MM), cultivadas durante o verão (de dezembro a abril), conforme descrição apresentada na tabela 1.

Tabela 1. Tratamentos de acordo com o preparo do solo e cultivos de verão.

| Tratamento | Cultivo | |
|-------------------|----------------|-----------|
| | Verão | Inverno |
| SPD _M | Milho | Hortaliça |
| SPD _{MM} | Milho e Mucuna | Hortaliça |
| PPR _M | Milho | Hortaliça |
| PPR _{MM} | Milho e Mucuna | Hortaliça |
| SPC _M | Milho | Hortaliça |
| SPC _{MM} | Milho e Mucuna | Hortaliça |

SPD_M: plantio direto com palhada de milho; SPD_{MM}: plantio direto com palhada de milho e mucuna; PPR_M: preparo reduzido com palhada de Milho; PPR_{MM} preparo reduzido com palhada de milho e mucuna; SPC_M preparo convencional com palhada de Milho e SPC_{MM}: preparo convencional com palhada de milho e mucuna.

Na tabela 2 são apresentados os dados relativos ao histórico de cultivos, *stand* de plantas e adubações utilizados de 2007 a 2011.

Tabela 2. Histórico de culturas cultivadas, *stand* de plantas e adubações.

| Safr | Cultura | | <i>Stand</i> ¹ | Adubaço | |
|-----------|-------------------------|----------|---------------------------|--|--|
| | Verão | Inverno | | Plantio | Cobertura |
| 2007/2008 | Milho Milho + Mucuna | Cebola | 400.000 | 600 kg ha ⁻¹ NPK 04-30-16 | 400 kg ha ⁻¹ Sulfato de amônio |
| 2008/2009 | Milho Milho + Mucuna | Repolho | 23.089 | 1250 kg ha ⁻¹ de Superfosfato simples + 250 kg ha ⁻¹ de Sulfato de amônio | 500 kg/ha de Sulfato de amônio |
| 2009/2010 | Milho Milho + Mucuna | Brócolos | 23.089 | 1000 kg ha ⁻¹ Superfosfato simples + 250 kg ha ⁻¹ de Sulfato de amônio | 500 kg/ha de Sulfato de amônio |
| 2010/2011 | Milho Milho + Mucuna | Abóbora | 3.333 | 300 kg ha ⁻¹ Superfosfato simples | 150 kg/ha de Sulfato de amônio |

¹ *stand* para hortaliças em plantas por hectare.

Épocas e profundidades de amostragem

As amostras foram coletadas em três profundidades (0-5 cm; 5-10 cm e 10-30 cm), em duas épocas de amostragem. A primeira em 18 de outubro de 2011, no início do período chuvoso, no início do quinto ano de implantação do experimento, neste estudo considerada como “verão”, e a segunda em 13 de julho de 2012, no final do quinto ano, em pleno desenvolvimento do repolho na fase de formação das cabeças, considerada como “inverno”. Para tanto, foi aberta uma mini-trincheira até a profundidade de 35 cm (Figura 2).



Figura 2. Abertura de mini-trincheira para coleta de amostras de solo

Para compor cada amostra composta, foram coletadas duas subamostras de forma aleatória nas entrelinhas de plantio. Estas foram homogeneizadas e

acondicionadas em sacos plásticos identificados e armazenadas em câmara fria a 4 °C, para a realização das análises microbiológicas. Parte dessa amostra foi seca ao ar, macerada e todo o solo passado em peneira de malha de 0,5 mm para as demais análises.

Condução das culturas

Na tabela 3 são apresentados os atributos químicos do solo estudado, cuja coleta foi realizada antes do cultivo das culturas para provimento de palhada.

O milho foi semeado em todas as parcelas no dia 08/12/2011 com espaçamento entre linhas de 0,80 m e cinco sementes por metro linear. Foi utilizada adubação corretiva fosfatada com 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅. O híbrido comercial Ag 1045 da Agrocere® foi utilizado com população de 55.000 plantas ha⁻¹. Nos tratamentos em que se utilizou o consórcio milho e mucuna, esta foi semeada utilizando espaçamento entre linhas de 1,60 metros e duas sementes por metro linear, 30 dias após o semeio do milho. Em meados de março de 2012 foi realizado o manejo do milho e da mucuna com triturador-desintegrador, mais conhecido em campo pelo nome comercial Triton®, com a manutenção da palhada sobre o solo. As parcelas com PC foram submetidas ao preparo do solo (1 aração e 2 gradagens) e as parcelas com o PPR gradeadas uma vez com grade niveladora semi-aberta, somente para incorporação superficial dos restos culturais na profundidade máxima de 5 cm.

Tabela 3. Atributos químicos do solo estudado⁽¹⁾.

| Sistemas de Manejo | pH H ₂ O | P | K ⁺ | Na ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H+Al |
|--------------------|---------------------|--------------------------------|----------------|-----------------|---|------------------|------------------|-----------|
| | (1:2,5) | -----mg dm ⁻³ ----- | | | -----cmol _c dm ⁻³ ----- | | | |
| 0-5cm | | | | | | | | |
| PDM | 5,20±0,27 | 90,50±30,21 | 109,25±9,07 | 8,00±0,50 | 6,03±0,76 | 2,38±0,56 | 0,08±0,10 | 8,38±1,70 |
| PDMM | 5,14±0,18 | 85,25±29,26 | 109,50±9,88 | 7,25±0,50 | 5,70±0,92 | 2,70±0,87 | 0,09±0,06 | 8,98±0,83 |
| PRM | 5,45±0,37 | 97,35±9,61 | 132,75±10,05 | 8,50±1,00 | 6,90±1,87 | 2,88±0,87 | 0,05±0,06 | 8,10±1,49 |
| PRMM | 5,50±0,40 | 93,85±69,70 | 138,75±9,91 | 7,50±0,58 | 6,95±1,27 | 3,15±1,09 | 0,04±0,08 | 7,08±1,79 |
| PCM | 5,39±0,21 | 48,50±16,97 | 123,50±33,96 | 8,25±1,26 | 5,25±0,80 | 2,20±0,94 | 0,06±0,05 | 7,60±0,39 |
| PCMM | 5,35±0,30 | 68,20±16,30 | 124,75±13,74 | 8,25±0,96 | 5,50±0,67 | 2,10±0,94 | 0,05±0,06 | 7,55±0,96 |
| 5-10cm | | | | | | | | |
| PDM | 5,36±0,08 | 80,95±21,70 | 92,00±4,97 | 8,25±0,58 | 5,70±1,47 | 1,68±0,57 | 0,10±0,10 | 8,58±0,95 |
| PDMM | 5,35±0,19 | 87,03±11,12 | 90,75±4,50 | 7,75±0,50 | 5,33±1,03 | 1,35±0,06 | 0,08±0,10 | 8,20±1,26 |
| PRM | 5,63±0,37 | 92,28±8,10 | 111,00±13,59 | 8,00±0,00 | 6,60±1,57 | 2,13±0,62 | 0,03±0,05 | 6,53±1,83 |
| PRMM | 5,63±0,35 | 78,28±37,55 | 105,50±12,50 | 8,50±0,58 | 5,78±2,13 | 2,23±0,28 | 0,04±0,08 | 6,78±1,19 |
| PCM | 5,43±0,13 | 53,35±23,90 | 99,75±18,21 | 7,75±0,96 | 5,15±0,58 | 1,58±0,10 | 0,05±0,04 | 7,55±0,64 |
| PCMM | 5,35±0,13 | 69,68±13,04 | 103,25±12,61 | 8,25±0,50 | 5,28±0,93 | 1,68±0,62 | 0,08±0,10 | 7,85±0,37 |
| 10-30cm | | | | | | | | |
| PDM | 5,41±0,30 | 60,78±25,07 | 85,00±3,92 | 8,50±0,50 | 5,65±1,66 | 1,70±0,70 | 0,13±0,10 | 7,40±1,24 |
| PDMM | 5,41±0,26 | 55,60±28,32 | 89,00±6,73 | 9,00±2,71 | 5,20±1,78 | 1,85±0,49 | 0,13±0,19 | 7,80±1,24 |
| PRM | 5,61±0,54 | 56,53±4,08 | 101,25±8,02 | 7,50±0,58 | 5,25±1,91 | 1,70±0,44 | 0,04±0,08 | 6,13±2,34 |
| PRMM | 5,54±0,43 | 67,35±52,79 | 97,50±17,71 | 8,00±0,82 | 5,53±1,24 | 1,80±0,45 | 0,05±0,06 | 6,85±1,57 |
| PCM | 5,35±0,24 | 38,85±17,63 | 90,00±11,86 | 8,00±0,82 | 4,43±0,81 | 1,83±0,10 | 0,09±0,06 | 7,03±0,51 |
| PCMM | 5,40±0,29 | 49,65±11,59 | 83,75±23,96 | 8,25±0,96 | 4,35±0,93 | 1,60±0,34 | 0,08±0,06 | 7,38±1,28 |

⁽¹⁾ Valores correspondentes às médias e desvio padrão das amostras em cada profundidade nos tratamentos utilizados nesse estudo. ⁽²⁾ Atributos avaliados pela metodologia proposta pela Embrapa (1997).

Posteriormente, no dia 16 de maio de 2012 foram transplantadas em todas as parcelas a hortaliça repolho – cv. Astrus Plus da Seminis® sobre os tratamentos citados acima. O espaçamento utilizado foi de 0,70 x 0,60 m com 23.089 plantas ha⁻¹. A área total de cada parcela foi de 108 m² (12 m x 9 m). Foram utilizados na adubação de plantio 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Foram realizadas duas adubações de cobertura com sulfato de amônio aos 20 e 40 dias após o transplante com 6 e 10 gramas planta⁻¹, respectivamente. Os demais tratos culturais foram realizados conforme indicações técnicas para a cultura.

Análises Laboratoriais

Carbono da biomassa microbiana

As amostras foram retiradas da refrigeração, tamisadas em peneira de 2 mm, e após excluídos os restos de raízes, foram deixadas em temperatura ambiente por 12 horas.

A determinação do carbono da biomassa microbiana (CBM) foi realizada pelo método de irradiação-extração, proposto por Islam & Weil (1998), onde foram pesadas seis sub-amostras de 20 g de solo (três irradiadas e três não irradiadas). As amostras foram irradiadas em forno de micro-ondas (Figura 3) por período de 137 segundos.

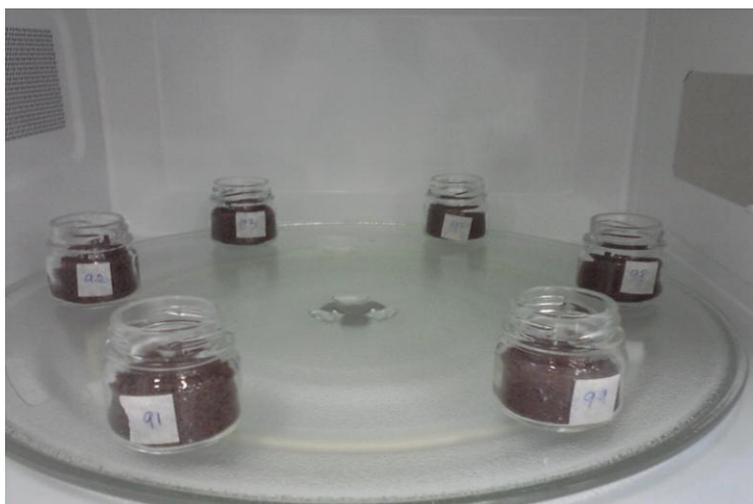


Figura 3. Irradiação de subamostras em forno micro-ondas

O tempo de irradiação foi calculado em função da potência real do forno micro-ondas, que foi medida da seguinte forma: aqueceu-se 1L de H₂O e mediu-se a variação

de temperatura da água antes e 120 segundos após exposição ao micro-ondas (Equação 1).

$$P = \frac{C_p \cdot K \cdot \Delta T \cdot m}{t} \quad \text{Equação 1.}$$

Em que:

P = potência real do aparelho em W;

$C_p = 1 \text{ J ml}^{-1} \text{ K}^{-1}$, capacidade da água de receber calor;

$K = 4,184$; fator de correção de cal $\text{J ml}^{-1} \text{ K}^{-1}$ para watts (J S^{-1});

ΔT = variação de temperatura de 1L de H_2O em 2 minutos de exposição em $^\circ\text{C}$;

$m = 1000\text{g}$, massa da água em gramas;

$t = 120 \text{ s}$, tempo de exposição da água ao micro-ondas.

Em seguida, o tempo de exposição foi determinado de acordo com a equação 2.

$$t = \frac{r \cdot m}{P} \quad \text{Equação 2.}$$

Em que:

t = tempo de exposição das amostras ao micro-ondas;

$r = 800 \text{ J g}^{-1}$ de solo, quantidade de energia necessária para a exposição;

m = peso total das amostras a serem irradiadas em gramas;

P = potência real do aparelho em W.

Posteriormente, a extração foi realizada com 80 ml de sulfato de potássio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ por amostra. As amostras foram agitadas em agitador horizontal por 30 minutos a 150 rpm. Logo após, foram deixadas em repouso por 30 minutos para decantação dos sedimentos. O sobrenadante foi passado em filtro de passagem lenta ($8 \mu\text{m}$) (Figura 4). Foi utilizada uma alíquota de 8 ml do extrato filtrado para a determinação do CBM. Adicionaram-se 2 ml de dicromato de potássio $0,066 \text{ mol L}^{-1}$ e 10 ml de ácido sulfúrico concentrado. Após agitação manual, as amostras ficaram em repouso por mais 30 minutos para esfriar e adicionaram-se 50ml de água destilada. Como indicador foi utilizado o Ferroin (1,485 g de Orto-Fenantrolina + 0,695 g de Sulfato Ferroso em 100 ml de água) e posterior titulação, com sulfato ferroso amoniacal $0,033 \text{ mol L}^{-1}$ (Figura 5).



Figura 4. Etapa de filtragem após extração



Figura 5. Amostras durante a determinação do CBM.

O carbono da biomassa microbiana foi calculado pela fórmula: $CBM = (CI - CNI) / K_{ec}$, onde, CI e CNI: representam o total de carbono orgânico liberado das subamostras irradiadas e não irradiadas, respectivamente; o K_{ec} : fator que representa a quantidade de carbono proveniente da biomassa microbiana. Os valores de K_{ec} citados na literatura são muito variáveis. Neste estudo utilizou-se o $K_{ec} = 0,33$ (MENDONÇA & MATOS, 2005).

Frações oxidáveis do carbono orgânico

As frações oxidáveis da matéria orgânica foram determinadas de acordo com o procedimento proposto por Chan et al. (2001) adaptado por Rangel et al. (2008) assim resumido: amostras de 0,5g de terra fina seca ao ar (TFSA) foram colocadas em Erlenmeyers de 250 mL, onde adicionaram-se 10 mL $K_2Cr_2O_7$, $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ e

quantidades de H_2SO_4 , 2,5 ml, 5 ml, 10 ml e 20 ml correspondentes, respectivamente, às concentrações finais de 3, 6, 9 e 12 mol L^{-1} . A oxidação foi realizada sem fonte externa de calor e a titulação dos extratos foi realizada com uma solução de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0,4 mol L^{-1} (sal de Mohr) (Figura 6), utilizando-se como indicador a fenantrolina ($\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2\text{H}_2\text{O}$), preparada em função da mistura de 1,465 g de indicador com 0,985 g de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, que foram dissolvidos em 100 mL de água destilada. O fracionamento do C produziu quatro frações, com graus decrescentes de oxidação:

Fração 1 (F1): C oxidado por $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ em meio ácido com 3 mol L^{-1} de H_2SO_4 ;

Fração 2 (F2): diferença entre o C oxidado por $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ em meio ácido com 6 e 3 mol L^{-1} de H_2SO_4 ;

Fração 3 (F3): diferença entre o C oxidado por $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ em meio ácido com 9 e 6 mol L^{-1} de H_2SO_4 ;

Fração 4 (F4): diferença entre o C oxidado por $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ em meio ácido com 12 e 9 mol L^{-1} de H_2SO_4 .

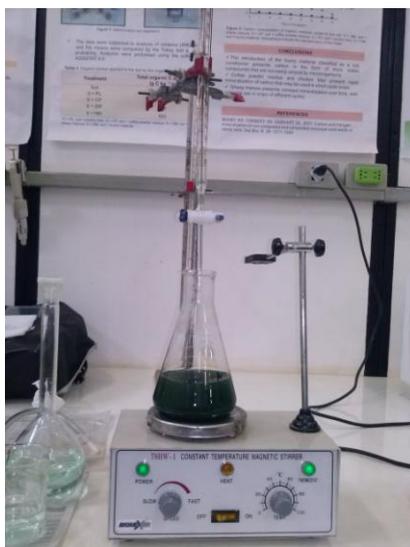


Figura 6. Titulometria das frações oxidáveis do carbono orgânico.

Fracionamento de Substâncias Húmicas

O carbono de frações húmicas da matéria orgânica (ácidos fúlvicos, húmicos e huminas) foi determinado seguindo metodologia descrita por Mendonça & Matos (2005).

A metodologia pode ser dividida em duas etapas. Na primeira, resumidamente, colocou-se 1g de TFSA em tubo de centrífuga de 50 mL com tampa e adicionaram-se 20 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹ (relação 1:20). O material foi agitado em agitador horizontal por 4 horas a 80 rpm e permaneceu em repouso por 12 h. Posteriormente foi centrifugado a 4.000 g por 30 min, recolhido o sobrenadante, que foi reservado em recipiente separado. Adicionaram-se mais 20 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹ a cada amostra e foi agitado novamente por 2,5 horas em agitador a 80 rpm. Em seguida foi novamente centrifugado a 4.000 g por 30 min e recolhido o sobrenadante junto ao previamente reservado, que consiste no extrato alcalino. Considerou-se a fração húmica o precipitado retido nos tubos de centrífuga de 50 mL. Este precipitado foi cuidadosamente transferido para beakers de 50 mL, utilizando água destilada com mínimo de líquido possível (± 10 ml), aquecido estufa a 45 °C (até a secagem completa).

O pH do extrato alcalino foi ajustado para 1,0-1,5, pela adição de gotas de solução de H₂SO₄ 20%. Após o ajuste do pH transferiu-se o material para tubo de centrífuga e centrifugou-se por 20 minutos a 4.000g para separação dos ácidos húmicos e fúlvicos. O sobrenadante, correspondente aos ácidos fúlvicos, foi transferido para outro tubo de centrifuga e seu volume completado para 50 ml com água destilada. Ao precipitado, que corresponde aos ácidos húmicos, adicionaram-se 30 ml de NaOH 0,1 mol L⁻¹, homogeneizou-se e completou-se o volume com água destilada para 50mL (Figura 7).

A segunda etapa consistiu na determinação dos teores de carbono nos extratos das frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina e foi realizada por meio da oxidação do C com dicromato de potássio e titulação com sulfato ferroso amoniacal com aquecimento externo sob refluxo (NELSON & SOMMERS, 1996) (Figura 8).



Figura 7. Extratos de ácidos húmicos (escuro) e fúlvicos (claro).

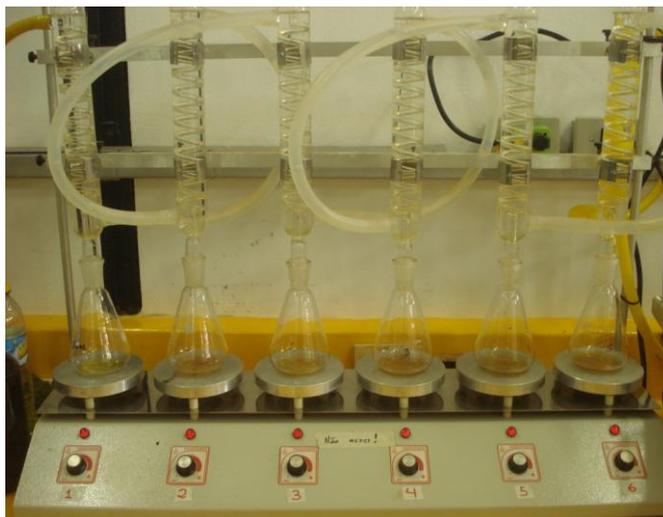


Figura 8. Determinação do carbono com fonte de aquecimento externo e sob refluxo.

Produtividade da hortaliça

Aos 90 dias após o transplante, realizou-se a colheita de vinte plantas de repolho nas parcelas experimentais. Como não foram observadas falhas de *stand* relacionadas aos sistemas de manejo, foi considerado o *stand* com 100% de área colhida. As plantas colhidas por tratamento foram pesadas e foram classificadas como cabeças comerciais. Assim, estimou-se a produção para a área de um hectare.

Análises estatísticas

As variáveis obtidas foram submetidas à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). As análises foram realizadas utilizando-se o programa estatístico SAS.

Os dados, de todas as variáveis em conjunto, foram submetidos à análise de componentes principais (PCA), a partir de combinações lineares das variáveis originais em eixos ortogonais independentes. Esta análise foi realizada com o objetivo de identificar quais fatores (preparo de solo, plantas de cobertura ou época de coleta) mais interferem no agrupamento das variáveis (CBM, COT, frações oxidáveis, frações húmicas). As análises foram realizadas utilizando-se o software XLSTAT 2011.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 4 são apresentados os valores do quadrado médio da análise de variância para preparo do solo, cobertura vegetal e para a interação preparo x cobertura vegetal, para cada profundidade estudada.

Tabela 4. Resumo da análise de variância com os valores dos quadrados médios e níveis de significância para os parâmetros avaliados, de acordo com a fonte de variação para as diferentes profundidades estudadas.

| F.V. | Preparo | | Cobertura | | Preparo x Cobertura | |
|---|------------|---------|--------------|---------|---------------------|---------|
| Quadrados médios | | | | | | |
| 0-5 cm | | | | | | |
| | Verão | Inverno | Verão | Inverno | Verão | Inverno |
| COT | 15,27** | 49,40** | 1,00 | 1,00 | 3,73 | 5,77 |
| CBM | 13699,90** | 217,70 | 13232,38** | 5836,58 | 13337,28** | 5440,07 |
| C _{AH} | 2,38** | 0,05 | 0,72 | 0,12 | 0,34 | 0,57 |
| C _{AF} | 0,13 | 0,06 | 0,73* | 0,08 | 0,23 | 0,13 |
| C _{HUM} | 13,28** | 1,81* | 0,01 | 0,16 | 0,05 | 0,08 |
| F1 + F2 | 9,76** | 13,03* | 1,21 | 0,62 | 0,75 | 1,49 |
| F3 + F4 | 0,72 | 3,78 | 0,003 | 1,87 | 2,00 | 1,49 |
| 5-10 cm | | | | | | |
| | Verão | Inverno | Verão | Inverno | Verão | Inverno |
| COT | 9,49** | 1,12 | 3,18 | 3,22 | 0,06 | 0,83 |
| CBM | 9953,10** | 2746,81 | 15899,59** | 3491,85 | 674,61 | 1176,41 |
| C _{AH} | 0,75 | 0,08 | 2,02* | 0,06 | 1,14* | 1,22* |
| C _{AF} | 0,36 | 0,48* | 0,32 | 0,45* | 0,43 | 0,26 |
| C _{HUM} | 21,07** | 0,53 | 0,11 | 2,47 | 0,20 | 0,94 |
| F1 + F2 | 4,73* | 1,33 | 0,88 | 0,70 | 0,49 | 0,88 |
| F3 + F4 | 0,86 | 1,13 | 0,66 | 0,26 | 0,26 | 0,31 |
| 10-30 cm | | | | | | |
| | Verão | Inverno | Verão | Inverno | Verão | Inverno |
| COT | 1,82 | 1,12 | 1,31 | 3,22 | 0,21 | 0,33 |
| CBM | 254,19 | 266,16 | 12977,22** | 195,96 | 179,06 | 5211,25 |
| C _{AH} | 0,79 | 0,47 | 0,51 | 0,02 | 0,19 | 0,14 |
| C _{AF} | 0,05 | 0,25 | 0,08 | 0,39 | 0,13 | 0,27 |
| C _{HUM} | 0,31 | 2,41 | 5,78* | 0,10 | 0,24 | 3,15 |
| F1 + F2 | 2,45 | 2,52 | 1,08 | 1,60 | 0,07 | 7,37 |
| F3 + F4 | 1,72 | 1,19 | 0,001 | 4,45 | 0,04 | 6,26 |
| Variável independente de profundidade e época | | | | | | |
| Produtividade | 40242887,5 | | 233888627,6* | | 31717608,5 | |

F.V – Fontes de Variação; COT – carbono orgânico total; CBM – carbono da biomassa microbiana. C_{AH} – Carbono dos Ácidos Húmicos; C_{AF} – Carbono dos Ácidos Fúlvicos; C_{HUM} – Carbono da Humina; F1 – Fração 1; F2 – Fração 2; F3 – Fração 3; F4 – Fração 4; * e ** são, respectivamente, significativo a 5 % e 1%.

Carbono orgânico total

Os teores COT variaram de 14,7 a 25,6 g kg⁻¹ com decréscimo gradual com a profundidade (Tabela 5). Esses valores estão próximos àqueles encontrados em solos do Cerrado (SIQUEIRA NETO et al., 2009; FIGUEIREDO et al., 2010; VIANA et al., 2011; COSTA JUNIOR et al., 2011) e inferiores aos encontrados por outros autores em regiões de clima subtropical (CRUZ et al., 2003; SOUZA et al., 2006; SANTANA et al., 2011).

Os teores encontrados para COT são considerados abaixo do limite de sustentabilidade de 40,0 g kg⁻¹, sugeridos por Goedert (2005) e Papa et al. (2011).

Em ambas as épocas de amostragem o sistema PD_{MM} apresentou maiores valores de COT do que os sistemas sob preparo convencional do solo, na camada de 0-5 cm (Tabela 5). Ainda nesta camada, considerando apenas o inverno, os dois sistemas sob plantio direto (PD_{MM} e PD_M) apresentaram teores de COT superiores aos sistemas sob preparo convencional. Esses resultados sugerem que o aporte de materiais em diferentes quantidades e qualidades contribui para o aumento dos teores de C do solo (GUARESCHI et al., 2012). Demonstram ainda que o consórcio de milho e mucuna promove aumentos dos teores de COT superficiais que permanecem nas diferentes épocas do ano. Conforme relatado por Amado et al. (2001), a utilização de mucuna no plantio direto do milho promove aumento nos estoques de C orgânico. Além disso, mesmo com o uso desse consórcio cultural, o revolvimento anual do solo promove perdas da matéria orgânica oriunda dos resíduos culturais.

Os sistemas sob preparo reduzido apresentaram valores intermediários de COT entre o plantio direto e o sistema convencional em ambas as profundidades e épocas de amostragem. A exceção foi verificada na camada 0-5 cm, no inverno, na qual o SPC_{MM} foi inferior aos sistemas sob preparo reduzido.

Na camada de 5-10 cm apenas o PC_M foi superior ao PPR_{MM} no verão, não havendo diferenças entre os demais sistemas. Isso pode ter sido decorrente do efeito da aração que incorpora resíduos orgânicos em profundidade. Resultados semelhantes foram encontrados por Pereira et al (2010), que verificaram maiores teores de COT, nesta camada, para o manejo convencional.

Na camada de 10-30 cm não foram verificadas diferenças nos teores de COT entre os sistemas em ambas as épocas. Esses resultados demonstram que as mudanças promovidas pelos sistemas de manejo no COT foram restritas às camadas superficiais

com pouca alteração em profundidade, conforme também observado por Pereira et al. (2010).

Tabela 5. Carbono orgânico total em solo sob sistemas de manejo, diferentes profundidades e épocas de amostragem.

| Sistema | 0-5 cm | | 5-10 cm | | 10-30 cm | |
|-------------------|--------------------------------|---------|---------|---------|----------|---------|
| | Verão | Inverno | Verão | Inverno | Verão | Inverno |
| | -----g kg ⁻¹ C----- | | | | | |
| PD _M | 21,3 AB | 23,3 A | 18,4 AB | 17,7 A | 15,7 A | 15,4 A |
| PD _{MM} | 23,3 A | 25,6 A | 17,8 AB | 17,9 A | 14,8 A | 15,1 A |
| PPR _M | 22,5 AB | 22,8 AB | 17,1 AB | 18,1 A | 15,2 A | 16,4 A |
| PPR _{MM} | 21,9 AB | 22,8 AB | 16,4 B | 17,5 A | 14,8 A | 14,9 A |
| PC _M | 20,0 B | 20,1 BC | 19,4 A | 18,0 A | 16,0 A | 15,1 A |
| PC _{MM} | 19,8 B | 19,0 C | 18,5 AB | 17,9 A | 15,8 A | 14,7 A |

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quando avaliado apenas o sistema de preparo do solo independente da cobertura vegetal, em ambas as épocas de coleta (verão e inverno) verificou-se, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, maiores teores de COT nos tratamentos de PD (figuras 9 e 10).

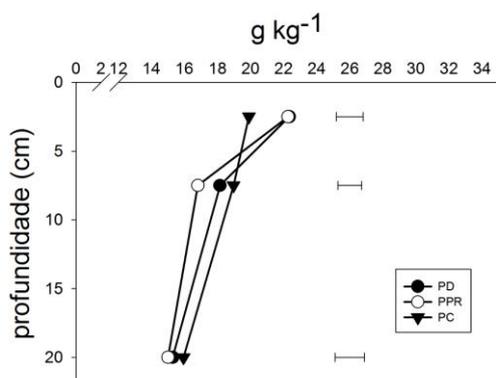


Figura 9. Carbono orgânico total (COT) em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo do solo para coleta realizada no verão. PD, PPR e PC são, respectivamente, plantio direto, plantio com preparo reduzido e plantio convencional, as barras horizontais referem-se à diferença mínima significativa (DMS) pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

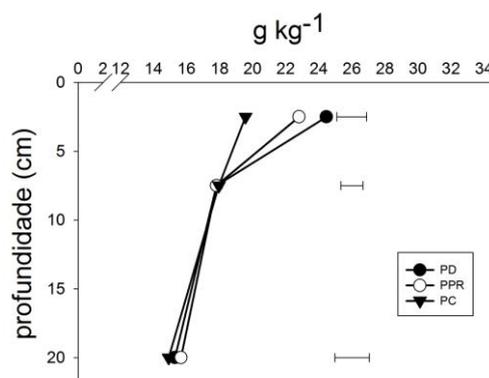


Figura 10. Carbono orgânico total (COT) em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo do solo para coleta realizada no inverno. PD, PPR e PC são, respectivamente, plantio direto, plantio com preparo reduzido e plantio convencional, as barras horizontais referem-se à diferença mínima significativa (DMS) pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Carbono da biomassa microbiana

Os teores CBM variaram de 146,78 a 438,27 mg kg⁻¹ com decréscimo gradual com a profundidade. Esses valores estão próximos àqueles encontrados por outros

autores para Latossolos (FERREIRA et al., 2007; SILVA et al., 2007; CUNHA et al., 2011).

Na Tabela 6 são apresentados os teores de CBM e dos quocientes microbianos para os sistemas de manejo, nas profundidades estudadas. De maneira geral, verifica-se que as maiores diferenças entre sistemas foram verificadas na época do verão em ambas as profundidades. No inverno, apenas o PPR_M foi superior ao PPR_{MM}, na camada 0-5 cm, não havendo diferenças entre os demais sistemas e profundidades.

Na primeira coleta (verão) os sistemas de manejo do solo influenciaram o CBM, como já verificado por outros autores (FERREIRA et al., 2007; MATIAS et al., 2009; SILVA et al., 2010; NUNES et al., 2011; PRAGANA et al., 2012; MATOSO et al., 2012).

Como também observaram Carneiro et al. (2009); Pôrto et al. (2009) e Nunes et al. (2011) os sistemas conservacionistas (PD e PPR) apresentaram maiores valores de CBM, o que pode ser explicado pela maior sensibilidade do C microbiano, sendo este afetado negativamente pelo revolvimento do solo, conforme observado por diversos autores para solos do Cerrado (MENDES et al., 2003; FIGUEIREDO et al., 2007; SILVA et al., 2007; CARNEIRO et al., 2008; CUNHA et al., 2011). Independente da cobertura vegetal, na profundidade de 0-5 cm, o plantio direto apresentou valores de CBM 29%, em média, superiores ao observado no plantio convencional.

Tabela 6. Carbono da biomassa microbiana e quociente microbiano em solo sob sistemas de manejo em diferentes profundidades e épocas de amostragem.

| Preparo | 0-5 cm | | 5-10 cm | | 10-30 cm | |
|---------------------------------|----------|----------|----------|---------|----------|---------|
| | Verão | Inverno | Verão | Inverno | Verão | Inverno |
| CBM | | | | | | |
| -----mg kg ⁻¹ C----- | | | | | | |
| PD _M | 363,2 B | 197,7 AB | 262,3 BC | 262,3 A | 169,5 BC | 223,1 A |
| PD _{MM} | 400,5 AB | 199,1 AB | 322,6 A | 274,5 A | 219,1 A | 235,9 A |
| PPR _M | 305,2 C | 238,1 A | 190,7 D | 210,3 A | 173,4 BC | 271,2 A |
| PPR _{MM} | 438,3 A | 146,8 B | 254,5 BC | 262,3 A | 209,3 AB | 207,7 A |
| PC _M | 320,4 C | 204,7 AB | 251,2 BC | 264,3 A | 156,4 C | 222,7 A |
| PC _{MM} | 290,5 C | 201,0 AB | 281,6 AB | 272,4 A | 210,4 AB | 256,3 A |
| -----qMic----- | | | | | | |
| -----% | | | | | | |
| PD _M | 1,71 | 0,85 | 1,43 | 1,48 | 1,08 | 1,45 |
| PD _{MM} | 1,72 | 0,78 | 1,81 | 1,53 | 1,48 | 1,56 |
| PPR _M | 1,36 | 1,04 | 1,12 | 1,16 | 1,14 | 1,65 |
| PPR _{MM} | 2,00 | 0,64 | 1,55 | 1,50 | 1,41 | 1,39 |
| PC _M | 1,49 | 1,02 | 1,29 | 1,47 | 0,98 | 1,48 |
| PC _{MM} | 1,47 | 1,06 | 1,52 | 1,52 | 1,33 | 1,74 |

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O uso consorciado de milho com mucuna no verão para formação de palhada para cobertura do solo elevou os teores de CBM nos sistemas PD e PPR em todas as profundidades e em PC nas camadas subsuperficiais, em relação aos sistemas que utilizaram apenas a gramínea como cobertura. De acordo com Cardoso et al. (2009), esse aumento está relacionado com o maior aporte, contínuo e variado, de substratos orgânicos provenientes da maior diversidade de espécies e com diferentes graus de suscetibilidade à decomposição. Em situações com maior deposição de resíduos orgânicos no solo e com grande quantidade de raízes há estímulo da biomassa microbiana, acarretando aumento populacional e de sua atividade (SOUZA, 2010).

Os menores valores de CBM encontrados no sistema convencional na camada de 0-5 cm se deu pelo fato do revolvimento do solo favorecer uma maior velocidade de decomposição dos materiais orgânicos, o que diminui o substrato para desenvolvimento dos microrganismos.

De maneira geral, verificou-se estratificação do CBM com diminuição dos valores em profundidade. Sob plantio direto sempre houve diminuição dos teores de CBM em profundidade. Para os demais sistemas, essa diminuição foi dependente da cultura envolvida (milho ou milho + mucuna). Essa estratificação do CBM demonstra a interferência do acúmulo de matéria orgânica superficial e da ação das raízes que favorece a proliferação de microrganismos (COSTA et al., 2011).

Na coleta realizada no inverno somente na profundidade 0-5cm observou-se diferenças entre os sistemas, sendo o PPR_{MM} e o PD_{MM}, os que obtiveram maiores teores de carbono, comportamento observado também na primeira coleta relacionado ao aporte diversificado de materiais orgânicos. Nas demais profundidades estudadas, não foram verificadas diferenças estatísticas.

O CBM representou entre 0,64 % e 2,00 % do COT corroborando com os resultados encontrados por Matias et al. (2009), Nunes et al. (2011), Matoso et al. (2012) e Pragana et al. (2012).

De modo geral, os maiores valores foram observados nos sistemas conservacionistas, o que significa que o C orgânico está mais disponível para a microbiota do solo, uma vez que a relação CBM:COT é um indicador de disponibilidade da matéria orgânica para os microrganismos, e um alto quociente microbiano indica matéria orgânica muito ativa e sujeita a transformações (SAMPAIO et al., 2008).

Os menores valores observados no PC podem estar relacionados ao preparo do solo, considerado fator de estresse, que se reflete na diminuição da capacidade de utilização do C, reduzindo assim o q_{Mic} (ANDERSON & DOMSCH, 1993).

Frações oxidáveis do carbono

Na Tabela 7 são apresentadas as frações do C da MOS conforme graus de oxidação. Não houve influência da interação preparo do solo x planta de cobertura em nenhuma das frações avaliadas, assim, desprezou-se o efeito da cobertura e estudou-se apenas a influência do modo de preparo do solo nas frações oxidáveis do carbono orgânico do solo. Neste estudo, as frações foram agrupadas, conforme a labilidade e a recalcitrância em F1 + F2 e F3 + F4. Para Majumder et al. (2008) as frações F1 e F2 podem ser considerada um bom indicador de sustentabilidade do sistema, enquanto a fração F4 é a mais resistente do solo, sendo denominada "compartimento passivo" nos modelos de simulação da MOS, com tempo de reciclagem de até 2.000 anos (CHAN et al., 2001).

Tabela 7. Frações do carbono oxidável em solo sob sistemas de preparo do solo, diferentes profundidades e épocas de amostragem.

| Preparo | F1 + F2 | | F3 + F4 | |
|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| | Verão | Inverno | Verão | Inverno |
| 0-5 cm | | | | |
| -----g kg ⁻¹ ----- | | | | |
| PD | 13,4 A | 11,6 A | 8,9 A | 11,7 A |
| PPR | 13,6 A | 10,4 AB | 8,7 A | 12,4 A |
| PC | 11,6 B | 8,8 B | 8,3 A | 11,0 A |
| 5-10 cm | | | | |
| -----g kg ⁻¹ ----- | | | | |
| PD | 10,6 AB | 8,1 A | 7,6 A | 9,7 A |
| PPR | 9,7 B | 7,5 A | 7,2 A | 10,4 A |
| PC | 11,2 A | 8,2 A | 7,8 A | 9,8 A |
| 10-30 cm | | | | |
| -----g kg ⁻¹ ----- | | | | |
| PD | 8,7 A | 7,2 A | 6,6 A | 9,0 A |
| PPR | 9,4 A | 6,1 A | 5,6 A | 9,4 A |

| | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|
| PC | 9,8 A | 6,5 A | 6,2 A | 8,7 A |
|----|-------|-------|-------|-------|

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a coleta realizada no verão as frações mais lábeis tiveram seus teores variando entre 8,7 e 13,6 g kg⁻¹, e apresentaram maiores teores do que as frações mais recalcitrantes. Comportamento similar foi observado por Rangel et al., (2008), o que mostra a presença de matéria orgânica de maior biodisponibilidade na camada superficial do solo.

Na camada de 0-5 cm, o sistema sob preparo convencional apresentou o menor teor de C nas frações F1 + F2 (11,6 g kg⁻¹), o que reflete a influência do revolvimento do solo na degradação do carbono orgânico de fácil oxidação.

Para a camada intermediária (5-10 cm) o sistema PC apresentou as maiores médias e foi diferente apenas do sistema PPR, o que mostra a inversão das camadas por ocasião do preparo do solo. Na camada de 10-30 cm os sistemas não se diferenciaram nas diferentes frações do C. Isso demonstra que a influência dos sistemas de manejo do solo foi restrita às camadas mais superficiais.

Os teores de C das frações mais estáveis (F3 e F4) variaram entre 8,7 e 12,4 g kg⁻¹, não apresentando diferenças para nenhuma das profundidades amostradas, o que mostra que o sistema de preparo do solo teve pouca influência nas frações mais recalcitrantes.

Na coleta realizada no inverno, foi observado um equilíbrio nos teores de carbono nas frações. De acordo com Loss et al. (2010a), este equilíbrio também ocorre nas funções disponibilidade de nutrientes e estruturação do solo (F1 e F2) e proteção física e química (F3 e F4) que estas frações desempenham no solo.

Observou-se, ainda, nas frações lábeis, na camada de 0-5 cm, que houve influência do preparo do solo sendo o sistema sob PC o que apresentou menores teores de C e foi diferente do PD.

Para as demais camadas não foi verificada influência dos sistemas de manejo sobre as frações do C. No inverno as frações mais recalcitrantes seguiram a mesma dinâmica apresentada no verão e não apresentaram diferenças para nenhuma das camadas amostradas.

Carbono das frações húmicas

Os teores de carbono das frações húmicas são apresentados na tabela 8.

Na primeira coleta, para o carbono dos ácidos húmicos (C_{AH}) os valores variaram entre 3,72 e 6,20 g kg⁻¹. Resultados semelhantes foram encontrados por diferentes autores (FONTANA et al., 2006; DIAS et al., 2007; PESSOA et al., 2012).

Na camada de 0-5 cm, os sistemas de preparo reduzido (PPR_M e PPR_{MM}) apresentaram menores teores de C_{AH} que o PD_{MM}, não havendo diferença entre os demais sistemas.

Para a camada de 5-10 cm, houve aumento nos teores de C_{AH} para todos os sistemas avaliados em relação à camada superficial. Nesta camada o PD_{MM} apresentou maiores teores de C_{AH} do que PPR_M. O uso do consórcio de Mucuna com Milho, sob preparo reduzido, promoveu maior teor de C_{AH} quando comparado ao uso exclusivo do Milho.

Na camada de 10-30 cm os sistemas não promoveram diferenças nas diferentes frações húmicas. Novamente, como aconteceu com o CBM, demonstrando que os efeitos dos sistemas foi restrito às camadas mais superficiais.

Os teores de carbono da fração ácidos fúlvicos (C_{AF}) variaram entre 2,88 e 4,31 g kg⁻¹, valores próximos aos encontrados por Fontana et al. (2006). Não foi verificada diferenças entre os sistemas para nenhuma das profundidades amostradas.

Tabela 8. Carbono de substâncias húmicas em solo sob sistemas de manejo, diferentes profundidades e épocas de amostragem.

| Preparo | Ácidos Húmicos | | Ácidos Fúlvicos | | Humina | |
|-------------------------------|----------------|---------|-----------------|---------|---------|---------|
| | Verão | Inverno | Verão | Inverno | Verão | Inverno |
| 0-5 cm | | | | | | |
| -----g kg ⁻¹ ----- | | | | | | |
| PD _M | 4,73 AB | 4,55 A | 3,39 A | 3,39 A | 10,82 A | 8,52 A |
| PD _{MM} | 5,52 A | 5,02 A | 3,99 A | 3,55 A | 11,02 A | 8,55 A |
| PPR _M | 4,07 B | 4,99 A | 3,45 A | 3,47 A | 11,46 A | 9,43 A |
| PPR _{MM} | 4,03 B | 4,57 A | 3,42 A | 3,83 A | 11,32 A | 9,48 A |
| PC _M | 4,27 AB | 5,16 A | 3,37 A | 3,69 A | 8,92 A | 8,59 A |
| PC _{MM} | 4,57 AB | 4,68 A | 3,85 A | 3,53 A | 9,00 A | 9,00 A |
| 5-10 cm | | | | | | |
| -----g kg ⁻¹ ----- | | | | | | |
| PD _M | 5,32 ABC | 4,54 A | 4,31 A | 3,49 AB | 12,25 A | 6,90 A |
| PD _{MM} | 6,20 A | 3,72 A | 4,13 A | 3,03 AB | 12,13 A | 6,19 A |
| PPR _M | 4,60 C | 3,81 A | 3,52 A | 2,88 B | 11,83 A | 7,52 A |
| PPR _{MM} | 5,74 AB | 4,55 A | 4,29 A | 3,03 AB | 12,00 A | 6,22 A |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|------|-----|------|---|------|---|------|----|------|---|------|---|
| PC _M | 5,76 | AB | 4,44 | A | 3,75 | A | 3,68 | A | 9,49 | B | 7,01 | A |
| PC _{MM} | 5,48 | ABC | 4,22 | A | 3,75 | A | 3,19 | AB | 9,02 | B | 7,09 | A |
| 10-30 cm | | | | | | | | | | | | |
| -----g kg ⁻¹ ----- | | | | | | | | | | | | |
| PD _M | 4,52 | A | 4,60 | A | 3,25 | A | 3,52 | A | 8,83 | A | 7,69 | A |
| PD _{MM} | 4,56 | A | 4,42 | A | 3,06 | A | 3,36 | A | 8,25 | A | 6,64 | A |
| PPR _M | 3,72 | A | 4,04 | A | 2,97 | A | 3,30 | A | 8,89 | A | 7,23 | A |
| PPR _{MM} | 4,36 | A | 4,05 | A | 3,22 | A | 3,84 | A | 7,65 | A | 8,68 | A |
| PC _M | 4,53 | A | 4,22 | A | 3,11 | A | 3,60 | A | 8,72 | A | 6,90 | A |
| PC _{MM} | 4,73 | A | 4,57 | A | 3,40 | A | 3,99 | A | 7,59 | A | 6,90 | A |

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para o carbono da fração humina (C_{HUM}) os valores variaram entre 6,19 e 12,25 g kg⁻¹. O C_{HUM} representa a maior parte do COT do solo conforme também observado por Barreto et al. (2008) e Loss et al. (2010b). Dentre as frações húmicas, a humina foi a que apresentou a maior parte do carbono, resultados semelhante foram observados em outros estudos (CUNHA et al., 2001; LOSS et al., 2010b).

Para a coleta realizada no inverno, as frações C_{AH} e C_{HUM} não apresentaram diferenças em nenhuma das profundidades amostradas. A fração C_{AF} apresentou diferenças apenas na camada de 5-10 cm, sendo o PC_M (3,68 g kg⁻¹) diferente apenas do PPR_M (2,88 g kg⁻¹).

Quando avaliado o carbono presente na fração Humina, para solo coletado no verão, de acordo com o preparo do solo, independentemente das plantas de cobertura os tratamentos PD e PPR apresentaram valores superiores aos do PC para as duas camadas mais superficiais. Nos três sistemas de manejo do solo, foi observado aumento dos teores de C_{HUM} na camada de 5-10 cm. Já para a camada mais profunda, não foram observadas diferenças entre sistemas de manejo (Figura 11). Na coleta realizada no inverno os sistemas não se diferenciaram, nas diferentes camadas, quanto aos teores de C_{HUM} (Figura 12).

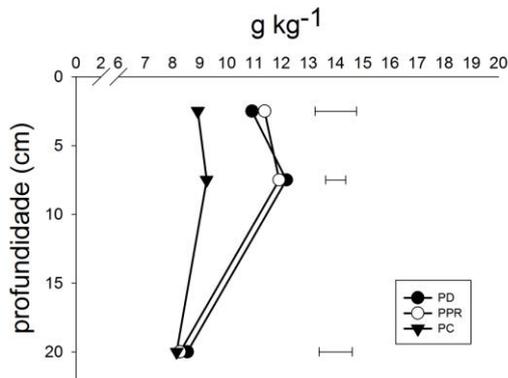


Figura 11. Carbono da fração Humina em Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo do solo para coleta realizada no verão. PD, PPR e PC são, respectivamente, plantio direto, plantio com preparo reduzido e plantio convencional, as barras horizontais referem-se à diferença mínima significativa (DMS) pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

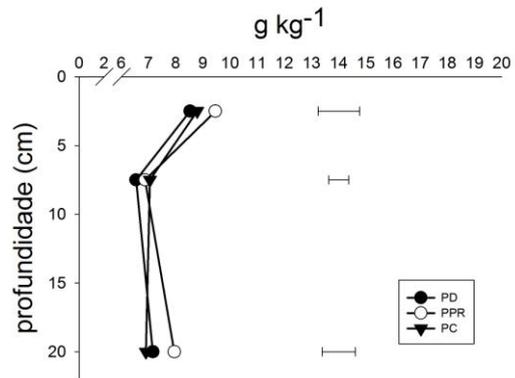


Figura 12. Carbono da fração Humina em Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo do solo para coleta realizada no inverno. PD, PPR e PC são, respectivamente, plantio direto, plantio com preparo reduzido e plantio convencional, as barras horizontais referem-se à diferença mínima significativa (DMS) pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Em geral, os valores de carbono das substâncias húmicas foram superiores no verão em relação ao inverno este comportamento pode ser decorrente do maior aporte de resíduos vegetais, advindos da palhada de milho ou milho e mucuna, nesta estação com maiores temperaturas e disponibilidade de água. Estas condições favorecem a decomposição desse material para posterior formação das substâncias húmicas, comportamento semelhante foi observado por Silva et al. (2006) e Loss et al. (2010b).

Existe a possibilidade de se avaliar a evolução e a estabilidade da matéria orgânica através de dois diferentes índices descritos por Labrador Moreno (1996) referenciados por Cunha et al. (2005). O índice C_{AH}/C_{AF} é um indicador de condensação da matéria orgânica solúvel. Valores normais são superiores a 1. Já o índice $C_{HUM}/(C_{AH}+C_{AF})$ indica a estabilidade estrutural da matéria orgânica.

Avaliando apenas os sistemas de manejo, independente da palhada utilizada para cobertura, o índice C_{AH}/C_{AF} apresentou valores entre 1,16 e 1,50, corroborando com os valores encontrados por Cunha et al., (2005) e Pessoa et al., (2012), indicando predominância da fração mais evoluída (C_{AH}), o que demonstra maior condensação dos compostos húmicos. Os valores encontrados são superiores aos valores médios encontrados para Latossolos cultivados com culturas anuais (LIMA, 2001) e inferiores para Latossolos sob pastagens nativas (SANTANA et al., 2011).

O índice $C_{HUM}/(C_{AH}+C_{AF})$ por sua vez, apresentou maiores valores para os sistemas sob PPR, em todas as profundidades, independente da cobertura vegetal e

época de coleta do solo, seguido pelo PD e PC (Figuras 13 e 14). Isto indica que o PPR promove maior estabilidade estrutural da matéria orgânica.

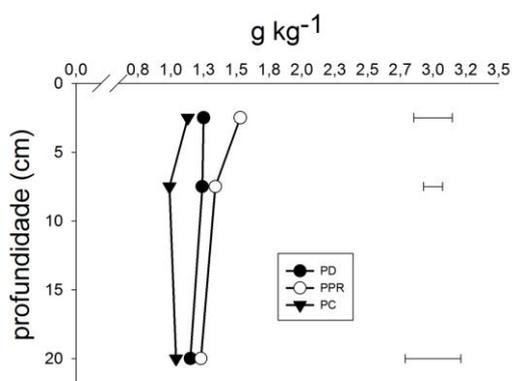


Figura 13. Relação entre o carbono da fração húmica (C_{HUM}) com as substâncias húmicas solúveis ($C_{AH} + C_{AF}$), para diferentes manejos do solo para a coleta realizada no verão, as barras horizontais referem-se à diferença mínima significativa (DMS) pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

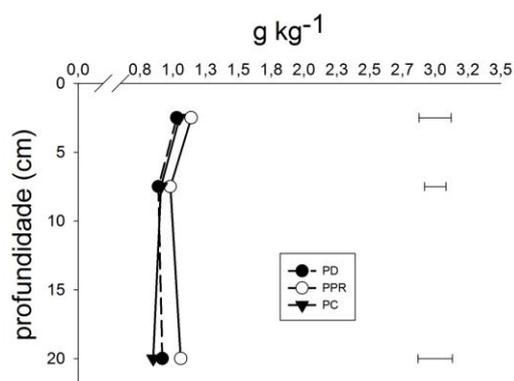


Figura 14. Relação entre o carbono da fração húmica (C_{HUM}) com as substâncias húmicas solúveis ($C_{AH} + C_{AF}$), para diferentes manejos do solo para a coleta realizada no inverno, as barras horizontais referem-se à diferença mínima significativa (DMS) pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Produtividade da hortalixa

A produtividade média do repolho variou entre 78.908 kg ha⁻¹ a 90.440 kg ha⁻¹, esses resultados são superiores aos encontrados por Marouelli et al. (2010) para as mesmas condições edafoclimáticas. De modo geral, não houve diferenças entre os sistemas avaliados (Tabela 9).

Tabela 9. Produtividade do repolho em solo sob sistemas de manejo.

| Sistema | Produtividade (kg ha ⁻¹) | |
|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| PD _M | 78.908 | A |
| PD _{MM} | 83.476 | A |
| PPR _M | 79.651 | A |
| PPR _{MM} | 90.440 | A |
| PC _M | 79.444 | A |
| PC _{MM} | 82.817 | A |
| Plantas de cobertura ¹ | | Produtividade (kg ha ⁻¹) |
| Milho | 79.334 | B |
| Milho e Mucuna | 85.611 | A |

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ¹ Médias de produtividade independente do sistema de preparo do solo.

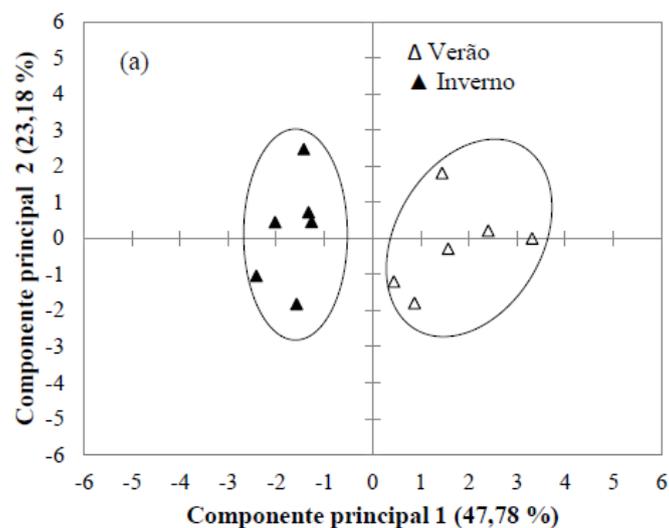
Ao se avaliar apenas o fator cobertura do solo, as parcelas que receberam o consórcio de milho e mucuna obtiveram maiores médias de produtividade (85.611 kg

ha⁻¹) quando comparado com as que receberam, como cultura de inverno, somente o milho (79.334 kg ha⁻¹). O uso do consórcio entre a leguminosa e a gramínea é uma estratégia de manejo que além de proteger o solo e adicionar nitrogênio (N), proporciona produção de matéria seca com relação C/N intermediária, obtendo-se taxa de decomposição de resíduos culturais menor, e sincronia entre fornecimento e demanda de N pela cultura (AITA & GIACOMINI, 2003; GIACOMINI et al., 2003).

Análise de componentes principais

Dois componentes principais foram gerados (CP1 e CP2) como ferramentas para a distinção dos efeitos das épocas de coleta de solo, considerando-se os atributos microbiológicos e as frações húmicas e oxidáveis da MOS em conjunto, para a camada de 0-5 cm (Figura 15a), 5-10 cm (Figura 15b) e 10-30 cm (Figura 15c).

Na camada de 0-5 cm a distribuição das variáveis apresentou variância acumulada de 70,96% para a soma dos componentes principais CP1 e CP2. O eixo CP1 separou dois grupos distintos: inverno e verão. Esse comportamento se repetiu nas demais camadas (5-10 cm e 10-30 cm), tendo as variâncias acumuladas de 89,63 % e 70,20 %, respectivamente. Isto significa que, considerando todos os atributos em conjunto, a época de coleta do solo exerce influência sobre todos os atributos da matéria orgânica do solo, independente do sistema de manejo das plantas de cobertura.



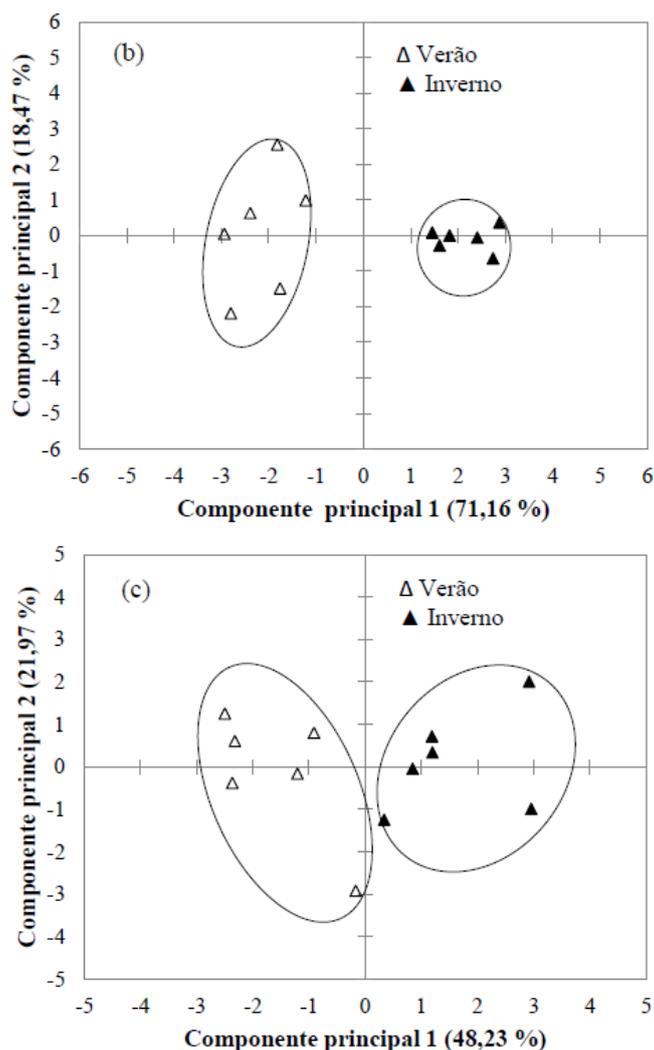


Figura 15. Diagrama de ordenação produzido por análise de componentes principais dos escores dos tratamentos sob sistemas de manejo e plantas de cobertura de amostras de solo coletadas no verão e no inverno em três camadas do solo. (a) 0-5 cm; (b) 5-10 cm; e (c) 10-30 cm.

CONCLUSÕES

- 1) O plantio direto para produção de hortaliças favorece o incremento de frações mais lábeis e oxidáveis da matéria orgânica, principalmente na camada superficial do solo.
- 2) As substâncias húmicas foram influenciadas pelo manejo do solo somente nas camadas superficiais.
- 3) Independente do sistema de manejo, o uso do consórcio entre milho e mucuna como cultura de verão possibilitou maior produção de repolho.
- 4) As épocas de amostragem (verão e inverno) possibilitaram ambientes distintos para o acúmulo de carbono nas diferentes frações da matéria orgânica do solo.

LITERATURA CITADA

- AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.601-612, 2003.
- AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 189-197, 2001.
- ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, p. 393-395, 1993.
- BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 641-649, 2008.
- BARRETO, A.C.; FREIRE, M.B.G.S.; NACIF, P.G.S.; ARAÚJO, Q.R.; FREIRE, F.F.; INÁCIO, E.S.B. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1471-1478, 2008.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 677-683, 2004.
- BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, p. 1459-1466, 1995.
- BUSTAMANTE, M.M.C.; CORBEELS, M.; SCOPEL, E.; ROSCOE, R. Soil carbon and sequestration potential in the Cerrado Region of Brazil. In: LAL, R.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, C.E.P. **Carbon sequestration in soils of Latin America**, p. 285-304, 2006.

- CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; MOREIRA, F.M.S. e CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 631-637, 2009.
- CARNEIRO, M.A.C.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; SOARES, A.L.L. Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa e atividade microbiana do solo em duas cronossequências de reabilitação após a mineração de bauxita. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 621-632, 2008.
- CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F.; PEREIRA, H.S.; AZEVEDO, W.R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 147-157, 2009.
- CARVALHO, J.L.N.; AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N.; MELLO, C.R.; CERRI, C.E.P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 277-289, 2010.
- CHAN, K.Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture ley. **Soil Science**, v. 166, p. 61-67, 2001.
- COSTA, S.D.A. da; CARVALHO, S.J.A. de; ALCÂNTARA, M.M.D.; SOUZA, R.V.de; MELO, V.S. Carbono orgânico e Carbono da biomassa microbiana da vegetação no nordeste paraense. **Anais do 9º Seminário Anual de Iniciação Científica**, 2011.
- COSTA JUNIOR, C.; PICCOLO, M.C.; SIQUEIRA NETO, M.; CAMARGO, P.B.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M. Carbono total e $\delta^{13}\text{C}$ em agregados do solo sob vegetação nativa e pastagem no bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1241-1252, 2011.
- CRUZ, A. C. R.; PAULETTO, E. A.; FLORES, C. A.; SILVA, J. B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 1105-1112, 2003.
- CUNHA, T.J.F.; MACEDO, J.R.; RIBEIRO, L.P.; PALMIERI, F.; FREITAS, P.L.; AGUIAR, A.C. Impacto do manejo convencional sobre propriedades físicas e substâncias húmicas de solos sob cerrado. **Ciência Rural**, v. 31, p. 27-36, 2001.

- CUNHA, T.J.F.; CANELAS, L.P.; SANTOS, G.A.; RIBEIRO, L.P. Fracionamento da matéria orgânica humificada em solos brasileiros. In: CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A., org. **Humosfera**. UENF, p.54-80, 2005;
- CUNHA, E.Q.; STONE, L.F.; FERREIRA, E.P.B.; DIDONET, A.D.; MOREIRA, J.A.A.; LEANDRO, W.M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. II - atributos biológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 603-611, 2011.
- DIAS, B.O.; SILVA, C.A; SOARES, E.M.B.; BETTIOL, W. Estoque de carbono e quantificação de substâncias húmicas em Latossolo submetido a aplicação contínua de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 701-711, 2007.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2. ed. 1997. p. 212.
- FERREIRA, E.A.B.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C.; RAMOS, M.L.G. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 1625-1637, 2007.
- FIGUEIREDO, C.C.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C.; FERREIRA, E.A.B. e RAMOS, M.L.G. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em resposta a diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 551-562, 2007.
- FIGUEIREDO, C. C; RESCK, D.V.S.; CARNEIRO, M.A. Carbone Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and native Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 907-916, 2010.
- FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; CUNHA, T.J.F.; SALTON, J.C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41 p. 847-853, 2006.
- GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; VENDRUSCULO, E.R.O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R.S.; FRIES, M.R. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.601-612, 2003.

- GOEDERT, W. J. Qualidade do solo em sistemas de produção agrícola. In: Congresso Brasileiro de Ciência Do Solo, 30. 2005. **Anais...** Recife: SBCS, 2005.
- GUARESCHI, R.F.; PEREIRA, M.G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 909-920, 2012.
- ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soils**, v. 27, p. 408-416, 1998.
- LABRADOR MORENO, J. La Matéria orgánica en los agrosistemas. **Ministéria Agricultura**, 1996. 176p
- LIMA, H.N. Gênese, Química e Micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental. (**Tese de Doutorado**), UFV-MG, 176p, 2001.
- LOSS, A.; MORAES, A.G.L.; PEREIRA, M.G.; SILVA, E.M.R.; ANJOS, L.H.C. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produção orgânica. **Comunicata Scientiae**, v. 1, p. 57-64, 2010a.
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L.H.C.; SILVA, E.M.R. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. **Bragantia**, v. 69, p. 913-922, 2010b.
- MAJUMDER, B.; MANDAL, B.; BANDYOPADHYAY, P.K.; GANGOPADHYAY, A.; MANI, P.K.; KUNDU, A.L.; MAZUMDAR, D. Organic amendments influence soil organic carbon pools and rice–wheat productivity. **Soil Science Society of America Journal**, v. 72, p. 775-785, 2008.
- MAROUELLI, W.A.; ABDALLA, R.P.; MADEIRA, N.R.; OLIVEIRA, A.S.; SOUZA, R.F. Eficiência de uso da água e produção de repolho sobre diferentes quantidades de palhada em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 369-375, 2010.
- MATIAS, M.C.B.S.; 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, p. 517-521, 2009.

- MATOSO, S.C.G.; SILVA, A.N.; FIORELLI-PEREIRA, E.C.; COLLETA, Q.P.; MAIA, E. Frações de carbono e nitrogênio de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes usos na Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v. 42, p. 231-240, 2012.
- MENDES, I.C.; SOUZA, L.V.; RESCK, D.V.S. e GOMES, A.C. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 435-443, 2003.
- MENDONÇA, E.S; MATOS, E.S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa: UFV, 107p, 2005.
- NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. Soil Science of America and American Society of Agronomy*, p. 961-1010, 1996.
- NUNES, R.S.; LOPES, A.L.C.; SOUSA, D.M.G.; MENDES, I.C. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo de Cerrado com a sucessão soja-milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1407-1419, 2011.
- PAPA, R.A. Lacerda, M.P.C.; Campos, P.M.; Goedert, W.J.; Ramos, M.L.G.; Kato, E. Qualidade de Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos sob vegetação nativa de **Cerrado. Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, p. 564-571, 2011.
- PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; BEUTLER, S.J.; TORRES, J.L.R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 508-514, 2010.
- PESSOA, P.M.A.; DUDA, G.P.; BARROS, R.B.; FREIRE, M.B.G.S.; NASCIMENTO, C.W.A.; CORREA, M.M. Frações de carbono orgânico de um Latossolo húmico sob diferentes usos no agreste brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 97-104, 2012.
- PÔRTO, M.L.; ALVES, J.C.; DINIZ, A.A.; SOUZA, A.P.; SANTOS, D. Indicadores biológicos de qualidade do solo em diferentes sistemas de uso no Brejo Paraibano. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 1011-1017, 2009.
- PORTUGAL, A.F.; JUCKSCH, I.; SCHAEFER, C.E.G.R. Determinação de estoques total de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em

- Argissolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2091-2100, 2008.
- PRAGANA, R.B.; NÓBREGA, R.S.A.; RIBEIRO, M.R.; LUSTOSA FILHO, J.F. Atributos Biológicos e Dinâmica da Matéria Orgânica em Latossolos Amarelos na Região do Cerrado Piauiense Sob Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 851-858, 2012.
- RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A.; GUIMARÃES, P.T.G.; GUILHERME, L.R.G. Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 429-437, 2008.
- ROSA, C.M.; CASTILHOS, R.M.V.; DICK, D.P.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S. Teor e qualidade de substâncias húmicas de Planossolo sob diferentes sistemas de cultivo. **Ciência Rural**, v. 38, p. 1589-1595, 2008.
- SAMPAIO, D. B.; ARAÚJO, A. S. F.; 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, p. 353-359, 2008.
- SANTANA, G.S.; DICK, D.P.; JACQUES, A.V.A.; CHITARRA, G.S. Substâncias húmicas e suas interações com Fe e Al em Latossolo subtropical sob diferentes sistemas de manejo de pastagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 461-472, 2011.
- SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; OLIVEIRA, J.B. de; COELHO, M.R.; LUMBREERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 306p, 2006.
- SANO, E.E.; ROSA, R.; BRITO, J.L.; FERREIRA, L.G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 153-156, 2008.
- SILVA, C.F.; LOSS, A.; SILVA, E.M.R.; PEREIRA, M.G.; CORREIA, M.E.F. Alterações químicas e físicas em áreas de agricultura no entorno do parque Estadual da Serra do Mar, Ubatuba-SP. **Revista de Ciências Agrárias**, v.46, p.9-28, 2006.

- SILVA, M.B.; KLIEMANN, H.J.; SILVEIRA, P.M.; LANNA, A.C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1755-1761, 2007.
- SILVA, R.R da; SILVA, M.L.N.; CARDOSO, E.L.; MOREIRA, F.M.S.; CURI, N.; ALOVISI, A.M.T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1585-1592, 2010.
- SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M.C.; SCOPEL, E.; COSTA JUNIOR, C.; 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.
- SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; 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, p. 323-329, 2006.
- SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.D.G.; ANGHINONI, I.; LIMA, C.V.S.; CARVALHO, P.C.S; MARTINS, A.P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 79-88, 2010.
- STEVERSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2 ed. John Wiley, 1994, 496p.
- VIANA, E.T.; BATISTA, M.A.; TORMENA, C.A.; COSTA, A.C.S.; INOUE, T.T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 2105-2114, 2011.

CAPÍTULO II

PERDAS DE SOLO, ÁGUA E NUTRIENTES EM ÁREA CULTIVADA COM HORTALIÇAS SOB SISTEMA DE PLANTIO DIRETO¹

Rodrigo Fernandes de Souza², Nuno Rodrigo Madeira³, Cícero Célio de Figueiredo⁴, Carlos Eduardo Pacheco Lima³

²Universidade de Brasília – UnB, C. Postal 4508, 70910-970, Brasília-DF, ³Pesquisador Embrapa Hortaliças, C. Postal 218, 70359-970, ⁴Professor FAV/UnB,

(Trabalho a ser enviado para a Revista Horticultura Brasileira)

¹Trabalho apresentado pelo primeiro autor como parte da dissertação de mestrado em Agronomia pela UnB, Brasília-DF.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar as perdas por erosão hídrica, sob chuva natural, de solo, água e nutrientes em um Latossolo Vermelho distrófico cultivado com hortaliças sob diferentes sistemas de manejo. O trabalho realizado no campo experimental da Embrapa Hortaliças, em experimento iniciado em dezembro de 2007. Foi utilizado o delineamento experimental de blocos ao acaso com 3 repetições. Foram avaliados três sistemas de preparo do solo: Plantio Direto – PD; Plantio com Preparo Reduzido – PPR e Preparo Convencional – PC, ambos cultivados com repolho no inverno. Em cada parcela foi instalada uma unidade coletora de água e solo com área de 3m² e uma calha para coleta de sedimentos. As perdas de solo e água foram quantificadas no período de 17 de dezembro de 2011 a 27 de abril de 2012. Ao final, todo o sedimento depositado na calha foi analisado para os teores de nutrientes e matéria orgânica. O PD apresentou menor taxa de perda de água, com redução de 90%, quando comparado ao PC. Os sistemas PD e PPR apresentaram perdas de solo, 11 e 6 vezes menores, respectivamente, que o PC. As taxas de empobrecimento de P e K foram maiores nos sistemas conservacionistas (PD e PPR).

Palavras-chave: *Brassica oleracea* var. capitata, sistema de manejo do solo, erosão, empobrecimento do solo.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the losses by erosion under natural rainfall, soil, water and nutrients in an Oxisol cultivated with vegetables under different management systems. The experiment was installed in December 2007 in the experimental field of Embrapa Vegetables in Brasilia. The experimental design of randomized blocks with three replications was used. Three different systems of tillage: No Tillage - NT; Preparing Planting with Reduced - PPR and Conventional Tillage – CT. In each plot was installed with a unit collecting area of 3m² and a trough to collect sediments. The losses of soil and water were quantified in the period from 17 December 2011 to 27 April 2012. At the end, all the sediment deposited in the channel was analyzed for nutrients and organic matter contents. The PD showed the lowest rate of water loss and, when compared to PC was reduced by 90%. Soil losses, systems and PD PPR were, respectively, 11 and 6 times smaller than the PC. The depletion rates of P and K were higher in systems preservationists (PD and PPR).

Keywords: *Brassica oleracea* var. capitata, soil management system, erosion, soil impoverishment.

INTRODUÇÃO

A erosão pode chegar a proporções alarmantes na agricultura. O processo erosivo, impulsionado pelo escoamento superficial, além de carrear partículas de solo, leva consigo sedimentos enriquecidos em matéria orgânica e nutrientes de plantas e outras partículas finas, que são as frações mais reativas do solo (SILVA et al., 2005; BARROS et al., 2009). Assim, as perdas de água e solo diminuem a capacidade produtiva dos solos, pois remove os nutrientes essenciais aos cultivos, além de causar assoreamento e poluição dos cursos d'água (COGO et al., 2003).

A erosão leva a problemas econômicos, ambientais e sociais. Em termos econômicos, os impactos da erosão causam um prejuízo anual da ordem de R\$10,6 bilhões, sendo R\$7,33 bilhões relacionados com a reposição de corretivos e nutrientes e outros R\$3,29 bilhões ligados ao tratamento de água para consumo, reposição de reservatórios, manutenção de estradas, recarga de aquíferos, consumo de combustíveis e energia em áreas irrigadas (OLIVEIRA, 2007).

A degradação do solo ocorre em geral a partir da interferência antrópica sobre este recurso natural (SILVA et al., 2005), sendo a erosão, a lixiviação, a compactação do solo e a perda de matéria orgânica (MOS), exemplos de processos degradativos em sistemas agrícolas (BEZDICEK et al., 1996). A causa fundamental da erosão hídrica nas terras cultivadas é a ação da chuva diretamente no solo (BAGATINI et al., 2011). As perdas de solo são mais fortemente influenciadas pelos sistemas de manejo do solo do que as de água (BERTOL et al., 2007).

O sistema convencional de preparo do solo baseia-se na inversão da camada arável, proporcionando a desagregação da estrutura do solo e facilitando o transporte das partículas desagregadas pela enxurrada (ANDRADE et al., 2009).

Com a finalidade de controlar a erosão hídrica do solo, o sistema de plantio direto (SPD) foi introduzido no Brasil na década de 1970 e se baseava na ausência de revolvimento do solo e no acúmulo de palhada na superfície, reduzindo os efeitos danosos dos sistemas de preparo convencional (ROSCOE et al., 2006). Sistemas conservacionistas como plantio direto e integração lavoura pecuária, dentre outros, têm recebido maior atenção por parte dos pesquisadores por serem capazes de proporcionar maior estabilidade e sustentabilidade da produção agrícola em relação aos sistemas predominantes (SOUZA et al., 2008).

Optar por sistemas conservacionistas, que têm como princípio a manutenção de cobertura vegetal e seus resíduos sobre o solo, tem-se destacado como estratégia eficaz quando se refere à sustentabilidade dos sistemas agrícolas nas regiões tropicais e subtropicais (CAIRES et al., 2006).

Diversos estudos vêm sendo feitos para avaliar a influência dos sistemas de manejo nas perdas de solo e água (LEITE et al., 2004; VOLK et al., 2004; AMARAL et al., 2008) tendo como ênfase as perdas em plantio direto (GILLES et al., 2009; BAGATINI et al., 2011, PANACHUKI et al., 2011; SILVA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2012). Em geral, o uso deste sistema de cultivo tem ocasionado menores taxas de perdas de solo, água e nutrientes quando comparado a sistemas mais intensivos (LEITE, et al., 2009; PANACHUKI et al, 2011).

Especificamente na produção de hortaliças predominam sistemas de produção com crescente utilização de insumos e mecanização intensa, acarretando em um ciclo de empobrecimento. Entretanto, as experiências com produção de hortaliças em sistema de plantio direto são crescentes no Brasil e no mundo, verificando-se que existe forte tendência de crescimento quanto à sua adoção em escala cada vez maior (ANDRADE et al., 2009).

Tendo por base o exposto, o objetivo deste trabalho foi estimar as perdas de solo, água, nutrientes e matéria orgânica, e sua correlação com a produtividade, em um Latossolo cultivado com hortaliças sob diferentes manejos de solo sob chuva natural.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no setor de campos experimentais do Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças (CNPH) – Embrapa Hortaliças, Brasília, DF (15°56'S, 48°08'W, altitude de 997,6 m). O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo Cwa, temperado úmido com inverno seco e verão quente. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa (SANTOS et al., 2006).

A área experimental originalmente coberta por vegetação de campo sujo vem sendo cultivada com hortaliças desde a década de 1980 sob sistema convencional de preparo do solo. O experimento está instalado desde dezembro de 2007, em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições.

O delineamento experimental é em blocos ao acaso, em esquema fatorial 3x2, com 3 blocos e parcelas medindo 12 metros de comprimento por 9 metros de largura, os tratamentos são constituídos por três diferentes sistemas de manejo do solo (Sistema de Plantio Direto –SPD, Sistema de Plantio com Preparo Reduzido – PPR, e Sistema de Plantio com Preparo Convencional – PC) cultivadas com Milho do verão para provimento de palhada para cobertura do solo e com hortaliças no inverno.

O milho foi semeado em todas as parcelas no dia 08/12/2011 com espaçamento entre linhas de 0,80 m e cinco sementes por metro linear. Foi utilizada adubação corretiva fosfatada com 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅. O híbrido comercial Ag 1045 da Agrocere® foi utilizado com população de 55.000 plantas ha⁻¹.

Em cada parcela dos sistemas de manejo do solo foi instalado um coletor de sedimentos e água (3,0 x 1,0m) delimitado, superior e lateralmente, por chapas galvanizadas de 0,20 m de largura, cravado no solo a 0,10m de profundidade e, na extremidade inferior, por uma calha de PVC coletora de enxurrada (Figura 16) (SILVEIRA & SALVADOR, 2000). Por meio de conexões de PVC, a enxurrada foi conduzida até um galão de armazenamento de 20 litros, enterrado a 0,3m da calha. As coletas de água nos galões foram realizadas em intervalos de sete dias entre 17/12/2011 a 27/04/2012. A cada coleta, o volume de água era medido com proveta (Figura 17), retirando-se uma alíquota de 100 ml, que era transferida para um béquer, pesada e levada à estufa durante 24 horas por 105°C, para nova pesagem e determinação da quantidade de solo na alíquota, a qual era estimada para o volume total de água perdido na coleta. Desta forma, determinava-se, para cada coleta, o total de água e solo perdidos na área do coletor (3m²). Ao final do período de estudo, coletou-se o sedimento retido em cada calha, que foi seco em estufa (105°C por 24 horas), pesado e analisado para os teores de P, K, Ca, Mg e MOS (EMBRAPA, 1997) no laboratório de Fertilidade do Solo da Embrapa Hortaliças. A taxa de empobrecimento do solo (BERTOL et al., 2004) foi calculada dividindo-se a concentração de cada nutriente ou de matéria orgânica do solo (MOS) no sedimento pela sua concentração nas amostras de solo coletadas antes da instalação dos coletores.



Figura 16. Coletor de água e sedimentos.



Figura 17. Quantificação da perda de água.

Os atributos químicos do solo para a camada de 0-10 cm, antes da instalação do experimento são apresentados na tabela 10.

Tabela 10. Atributos químicos⁽¹⁾ do solo estudado.

| Sistema | pH | P | K | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | MO |
|-----------------|------------------|---------------------|-------|------------------------------------|------------------|--------------------|
| | H ₂ O | mg dm ⁻³ | | cmol _c dm ⁻³ | | g kg ⁻¹ |
| PD ² | 5,3 | 77,4 | 95,4 | 5,8 | 1,9 | 43,8 |
| PPR | 5,6 | 82,1 | 115,0 | 6,3 | 2,2 | 43,8 |
| PC | 5,4 | 46,9 | 104,4 | 4,9 | 1,9 | 43,8 |

⁽¹⁾ Valores correspondentes às médias na profundidade de 0-10 cm nos tratamentos utilizados nesse estudo. Atributos avaliados pela metodologia proposta pela Embrapa (1997). ⁽²⁾Plantio Direto – PD, Plantio com Preparo Reduzido – PPR e Plantio Convencional – PC.

Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey (P<0,05). Utilizou-se o programa SAS para a realização das análises.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a condução do experimento, a precipitação pluviométrica foi de 764 mm de chuva. As perdas de água variaram entre 5,87 e 63,0 m³ ha⁻¹. O sistema sob preparo convencional promoveu maior perda de água em relação aos sistemas conservacionistas (Tabela 11). O solo preparado convencionalmente e desprovido de cobertura é mais susceptível ao selamento superficial, o que diminui a infiltração da água no solo e aumenta a lâmina de escoamento (REICHERT et al., 2001). O PD proporcionou redução de 90% nas perdas de solo em relação ao PC, resultados semelhantes aos obtidos em outros estudos (COGO et al., 2003; BEUTLER et al. 2003; MARQUES et al., 2010; GUADAGNIN et al., 2005; ANDRADE et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2012). O sistema PPR apresentou comportamento intermediário para as perdas de água conforme também observado por outros estudos (BERTOL et al., 1997; BERTOL et al., 2003 e ANDRADE et al., 2009).

Já as perdas de solo variaram entre 938,3 e 2771,0 kg ha⁻¹. Estes valores, relativamente baixos estão associados à pequena declividade do terreno estudado, que contribui na redução da velocidade da enxurrada e conseqüente diminuição das perdas de solo por erosão. O PD apresentou as menores perdas de solo, não havendo diferenças entre os demais sistemas. O PD apresentou redução de 66% nas taxas de perda de solo em relação ao PC. Valores semelhantes a esse foram obtidos por outros autores (HERNANI et al., 1999; BEUTLER et al., 2003; PANACHUKI et al., 2011).

Os sistemas conservacionistas de uso do solo caracterizam-se pela presença de maior cobertura e, ou, rugosidade superficial do que os que realizam preparos convencionais (BERTOL et al., 1997; SCHICK et al., 2000a; BERTOL et al., 2004). A presença da palhada no solo favorece um maior tempo de permanência da água no sistema e conseqüentemente sua menor perda conforme também observado por Carvalho et al. (2007). O uso de palhada como cobertura vegetal implica na redução da erosão hídrica, em sistemas conservacionistas, e está relacionado à sua capacidade de amortecer o impacto da energia cinética das gotas de chuva e de amenizar o escoamento superficial, conforme descrito por Mello et al. (2003) e Panachuki et al. (2011), assim, as perdas de solo e água são reduzidas, o que pode diminuir as perdas totais de nutrientes em decorrência da erosão hídrica (SEGANFREDO et al., 1997; SCHICK et al., 2000b).

Tabela 11. Perdas médias de solo e água em sistemas de manejo para a produção de hortaliças

| Tratamento | Perda de água m ³ ha ⁻¹ | Perda de Solo kg ha ⁻¹ |
|-----------------|--|--------------------------------------|
| PD ² | 5,87 C | 938,3 B |
| PPR | 34,4 B | 1518,7 B |
| PC | 63,0 A | 2771,0 A |
| DMS | 18,48 | 718,7 |
| CV (%) | 18,59 | 14,29 |

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($0 > 0,05$). ⁽²⁾Plantio Direto – PD, Plantio com Preparo Reduzido – PPR e Plantio Convencional – PC.

Os valores relativos às taxas de empobrecimento do solo são apresentados na Tabela 12. Valores acima de 1,0 significam que a concentração do nutriente ou de MOS no sedimento é maior do que sua concentração inicial na camada de 0-10 cm, o que representa empobrecimento do solo.

Tabela 12. Taxas de empobrecimento do solo das parcelas experimentais em P extraível, K, Ca e Mg trocáveis e Matéria Orgânica (MO), em diferentes sistemas de preparo do solo de um Latossolo Vermelho cultivado com hortaliças.

| Sistema | P | K | Ca | Mg | MO |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|
| PD | 1,9 | 0,7 | 0,8 | 1,5 | 1,0 |
| PPR | 1,8 | 0,8 | 1,1 | 1,8 | 0,9 |
| PC | 0,9 | 0,4 | 0,8 | 1,6 | 1,0 |

PD: Plantio direto; PPR: plantio com preparo reduzido; PC: preparo convencional.

A taxa de empobrecimento do solo, por se tratar de um valor relativo, depende da concentração de nutrientes e MOS no material erodido. Em sistemas conservacionistas, os sedimentos transportados pela enxurrada podem apresentar maior concentração de nutrientes e CO do que o próprio solo de onde foram removidos (SCHICK et al., 2000b; BERTOL et al., 2003), o que tem sido atribuído à textura do material transportado pela enxurrada. O material erodido pela erosão hídrica é composto principalmente por silte e argila, uma vez que essas frações do solo são mais facilmente transportadas do que as frações grosseiras (LANGDALE et al., 1985).

Para as taxas de empobrecimento de P e K o sistema PD foi o que apresentou os maiores valores. Nas taxas de empobrecimento de P, o sistema PC apresentou 53 % menos perdas em relação ao PD, confirmando resultados encontrados por Caixeta et al. (2009). Esses valores podem estar associados à aplicação, por ocasião da adubação das culturas de verão, de 300 kg de P₂O₅ ha⁻¹, que, em sistemas de manejo

conservacionistas, nos quais a aplicação de fertilizantes é em superfície, ocorre acúmulo de fósforo nos primeiros centímetros de profundidade do solo devido à mínima mobilização do solo e da ciclagem dos resíduos da superfície (MUZILLI, 1983).

Para a taxa de empobrecimento de K, os sistemas PD e PPR superaram, respectivamente, em 75 % e 100 %, em comparação ao PC. Em relação aos demais nutrientes, as perdas de K foram pequenas, divergindo dos resultados encontrados por Martins Filho et al. (2009) que em Argissolo cultivado com cana de açúcar encontraram as maiores perdas para P e K. As menores perdas encontradas nesse estudo podem estar relacionadas com o uso da palhada das culturas de verão que são depositadas na superfície do solo nos sistemas PD e PPR e incorporada ao solo no PC que, com o tempo, pode aumentar a capacidade de retenção e manutenção do K no sistema solo-planta (HERNANI et al., 1999).

As taxas de empobrecimento de Ca e Mg foram próximas entre os sistemas PD e PC, diferente do observado por Hernani et al. (1999), onde as maiores perdas de cálcio e magnésio foram verificadas em sistemas de preparo convencional e as menores em plantio direto. Comparativamente, as perdas de Mg foram superiores às de Ca, o que para Raij (1991) é consequência da maior energia de ligação do Ca^{2+} com os colóides do solo, em solos bem drenados.

As taxas de empobrecimento de MOS, próximas a 1,0, foram, em geral, semelhantes às suas concentrações na camada superficial do solo, mostrando que os sedimentos transportados pela erosão hídrica apresentaram, em geral, características semelhantes ao solo coletado na camada de 0–0,10 cm do solo das parcelas de onde foram removidos. Comportamento semelhante foi verificado por Schwarz (1997), Schick et al. (2000a) e Bertol et al. (2004).

Assim, os resultados apresentados evidenciam que os sistemas conservacionistas de manejo do solo minimizam os impactos da erosão e o consequente empobrecimento do solo.

CONCLUSÕES

1) Os sistemas de plantio direto e de plantio com preparo reduzido apresentam redução de 90 % e 45 %, respectivamente, nas taxas de perdas de água em relação ao plantio convencional.

2) O uso de plantio direto reduziu em 66 % as perdas de solo em relação ao plantio convencional.

3) As taxas de empobrecimento de P e K foram maiores nos sistemas conservacionistas (PD e PPR).

LITERATURA CITADA

- AMARAL, A. J.; BERTOL, I.; COGO, N. P. ; BARBOSA, F. T. Redução da erosão hídrica em três sistemas de manejo do solo em um Cambissolo Húmico da região do planalto sul-catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2145-2155, 2008.
- ANDRADE, C.; ALCÂNTARA, F. A.; MADEIRA, N. R.; SOUZA, R.F. Erosão Hídrica em um Latossolo Vermelho cultivado com hortaliças sob diferentes sistemas de manejo. In: **Anais... XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 2009.
- BAGATINI, T.; COGO, N. P.; GILLES, L.; PORTELA, J. C.; PORTZ, G.; QUEIROZ, H. T. Perdas de solo e água por erosão hídrica após mudança no tipo de uso da terra, em dois métodos de preparo do solo e dois tipos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 999-1011, 2011.
- BARROS, L. S.; VALE JR, J.F.; SCHAEFER, C.E.G.R.; MOURÃO JÚNIOR, M. Perdas de solo e água em plantio de *Acacia mangium wild* e savana em Roraima, norte da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 2, p. 447-454, 2009.
- BERTOL, I.; COGO, N.P.; MIQUELLUTI, D.J. Sedimentos transportados pela enxurrada relacionados à cobertura e rugosidade superficial do solo e taxa de descarga. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 3, p199-206, 1997.
- BERTOL, I.; MELLO, E.L.; GUADAGNIN, J.C.; ZAPAROLLI, A.L.V.; CARRAFA, M.R. Nutrient losses by water erosion. **Scientia Agricola**, v.60, p.581-586, 2003.
- BERTOL, I.; LEITE, D.; GUADAGNIN, J.C.; RITTER, S.R. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. II – Perdas de nutrientes e carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 28, p. 1223-1230, 2004.
- BERTOL, O. J.; RIZZI, N. E.; BERTOL, I.; ROLOFF, G. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas a erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida as adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 781-792, 2007.
- BEUTLERI, J. F.; BERTOL, I.; VEIGA, M.; WILDNER, L. P. Perdas de solo e água num Latossolo Vermelho aluminoférrico submetido a diferentes sistemas de preparo

- e cultivo sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 27, p. 509-517, 2003.
- BEZDICEK, D. F.; PAPENDICK, R. I.; LAL, R. Introduction: importance of soil quality to health and sustentable land management. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Ed.). Methods for assessing soil quality. **Soil Science Society of America**, p. 1-8, 1996. (SSSA. Special publication, 49).
- CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; FERRACCIÚ ALLEONI, L. R.; CAMBRI, M.A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 87-98, 2006.
- CAIXETA, R.P.; ALNCANTARA, F.L.; MADEIRA, N.R.; ABDALLA, R.P. Perdas de solo, água, nutriente e matéria orgânica em área cultivada com cebola em diferentes sistemas de manejo do solo. Embrapa Hortaliças (**Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 51**) 2009.
- CARVALHO, R.; SILVA, M.L.N.; AVANZI, J.C.; CURI, N.; SOUZA, F.S. Erosão hídrica em Latossolo vermelho sob diversos sistemas de manejo do cafeeiro no Sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 1679-1687, 2007.
- COGO, N. P.; LEVIEN. R.; SCHAWARZ. R.A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 743-753, 2003.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2. ed. 1997, p. 212.
- GILLES, L.; COGO, N. P.; BISSANI, C. A.; BAGATINI, T.; PORTELA, J. C. Perdas de água, solo, matéria orgânica e nutriente por erosão hídrica na cultura do milho implantada em área de campo nativo, influenciadas por métodos de preparo do solo e tipos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1427-1440, 2009.
- GUADAGNIN, J. C.; BERTOL, I.; CASSOL, P. C.; AMARAL, A. J. Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p. 277-286, 2005.

- HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H.; SILVA, W.M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 145-154, 1999.
- LANGDALE, G.W.; LEONARD, R.A.; THOMAS, A.W. Conservation practices effects on phosphorus losses from Southern Piedmont watersheds. **Journal Soil Water Conservation**, v 40, p. 157-160, 1985.
- LEITE, D.; BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; SANTOS, E. J.; RITTER, S.R. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. I – Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n.5, p. 1033-1044, 2004.
- LEITE, M.H.S.; COUTO, E.G.; AMORIM, R.S.S.; COSTA, E.L.; MARASCHIN, L. Perdas de solo e nutrientes num Latossolo Vermelho-Amarelo ácrico típico, com diferentes sistemas de preparo e sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 689-699, 2009.
- MARQUES, S.R.; WEILL, M.A.M.; SILVA, L.F.S. Qualidade física de um Latossolo vermelho, perdas por erosão e desenvolvimento do milho em dois sistemas de manejo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 967-974, 2010.
- MARTINS FILHO, M.V.; LICCIOTI, T.T.; PEREIRA, G.T.; MARQUES JUNIOR, J.; SANCHEZ, R.B. Perdas de solo e nutrientes por erosão num Argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 29, p. 8-18, 2009.
- MELLO, E. L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, A. L. V.; CARRAFA, M. R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo háplico submetido à chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.901-909, 2003.
- MENDES, C.A.R.; MAHLER, C.F.; ANDRADE, A.G. Erosão superficial em Argissolo amarelo sob cultivo perene e com pousio florestal em área de relevo montanhoso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1387-1396, 2011.
- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, p. 317-322, 1983.

- OLIVEIRA, J.R. Perdas de solo, água, e nutrientes em um Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes padrões de chuva simulada. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ, Instituto de Agronomia, 2007. (**Dissertação de Mestrado**).
- OLIVEIRA, J.G.R.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M.F.; BARBOSA, G.M.C.; FILHO, J.T. Erosão no plantio direto: perda de solo, água e nutrientes. **Boletim Campineiro de Geografia**, v. 30, p. 91-98, 2012.
- PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; SOBRINHO, T.A.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES D.B.B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1777-1785, 2011.
- RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres, 1991. 343p.
- REICHERT, J. M.; SCHÄFER, M. J.; ELTZ, F. L. F.; NORTON, L, D. Erosão em sulcos e entressulcos em função do formato de parcela em Argissolo Vermelho-Amarelo arênico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 965-973, 2001.
- ROSCOE, R.; BODDEY, R.M.; SALTON, J.C. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M.; SALTON, J.C. (Ed.). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 304p. 2006.
- SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JUNIOR, A.A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 427-436, 2000a.
- SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JÚNIOR., A.A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. II - Perdas de nutrientes e carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 437-447, 2000b.
- SCHWARZ, R.A. Perdas por erosão hídrica em diferentes classes de declividade, sistemas de preparo e níveis de fertilidade do solo na região das Missões - RS. Porto Alegre, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, 130p. 1977 (**Dissertação de Mestrado**).

- SEGANFREDO, M.L.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas e culturas em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 287-291, 1997.
- SILVA, A. M.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; LIMA, J.M.; AVANZI, J.C.; FERREIRA, M.F. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 1223-1230, 2005.
- SILVA, G.R.V.; SOUZA, Z.M.; MARTINS FILHO, M.V.; BARBOSA, R.S.; SOUZA, G.S. Soil, Water and Nutrient Losses by Interrill Erosion from Green Cane Cultivation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 963-970, 2012.
- SILVEIRA, R.C.; SALVADOR, N. Uso de um simulador de chuvas no estudo de perdas de solo e água em parcelas com resíduos culturais do milho. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 24, p. 718-729, 2000.
- SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; LIMA, C.V.S.; ANGHINONI, I.; MEURER, E.J.; CARVALHO, P.C.F. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 3, p. 1273-1282, 2008.
- VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 585-596, 2004.

CONCLUSÕES GERAIS

De maneira geral, os sistemas conservacionistas apresentaram maiores teores de COT e CBM independente da época de amostragem. Esses sistemas preconizam a manutenção de palhada e o não revolvimento ou revolvimento mínimo do solo o que preserva os teores do carbono, diminuindo a exposição para degradação ou perdas por erosão.

Embora sejam conhecidas diversas melhorias ao solo com o uso de sistemas conservacionistas para a produção vegetal, nesse estudo algumas variáveis não apresentaram diferenças entre os sistemas de manejo do solo o que pode estar relacionado com o fato da área experimental o sistema convencional ser utilizado da forma correta, considerando o momento adequado para a realização das operações de preparo do solo. Na produção comercial de hortaliças é comum o revolvimento intensivo do solo na mesma área, afetando negativamente na manutenção dos teores de matéria orgânica no solo e aumentando as perdas de solo e água por erosão, além do empobrecimento e esgotamento do solo. Além disso, o uso de plantas de cobertura com milho ou o consórcio de milho + mucuna no verão, em todos os sistemas de manejo do solo, favorece o incremento de matéria orgânica ao solo.

Mesmo que os incrementos dos compartimentos da matéria orgânica tenham sido restritos às camadas superficiais no plantio direto, considerando o pouco tempo de adoção desse sistema, benefícios já foram verificados na diminuição das perdas de água e solo decorrentes do uso desse sistema para a produção de hortaliças.

A produtividade média do repolho em cultivos comerciais é em média 35 t ha⁻¹. No presente estudo a produtividade superou 75 t ha⁻¹. Esta alta produtividade obtida demonstra que independente dos sistemas adotados estão sendo utilizadas as práticas fitotécnicas adequadas para a produção de hortaliças.

Estudos mais detalhados, entretanto, precisam ser realizados, considerando, principalmente, a qualidade da matéria orgânica, assim como, a funcionalidade da microbiota do solo para ciclagem de nutrientes e aumento da sustentabilidade da produção de hortaliças sob plantio direto. Além disso, estudos relacionados às perdas de solo, água, nutrientes e matéria orgânica devem ser conduzidos nessas parcelas, com coletores de maior área útil a fim de diminuir a variabilidade espacial do solo, em relação, principalmente, aos atributos físico-hídricos para facilitar a detecção de diferenças estatísticas entre os sistemas.