

**MÉTODOS DE CONTROLE DE PLANTAS
DANINHAS NA CULTURA DO CAFEIEIRO E
SEUS EFEITOS NA AGREGAÇÃO E EM
FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO**

MÁRCIO NERES DOS SANTOS

2005

MÁRCIO NERES DOS SANTOS

**MÉTODOS DE CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS NA CULTURA
DO CAFEIEIRO E SEUS EFEITOS NA AGREGAÇÃO E EM FRAÇÕES
DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “Doutor”.

Orientador
Prof. Mozart Martins Ferreira

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2005

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Santos, Márcio Neres dos

Métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro e seus efeitos na
agregação e em frações da matéria orgânica do solo / Márcio Neres dos Santos.

– Lavras : UFLA, 2005.

64 p. : il.

Orientador: Mozart Martins Ferreira.

Tese (Doutorado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Café. 2. Planta daninha. 3. Física do Solo 4. Agregados I. Universidade
Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.73958

MÁRCIO NERES DOS SANTOS

**MÉTODOS DE CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS NA CULTURA
DO CAFEIEIRO E SEUS EFEITOS NA AGREGAÇÃO E EM FRAÇÕES
DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA em 20 de dezembro de 2005

Prof. Dr. Carlos Alberto Silva	DCS/UFLA
Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva	DCS/UFLA
Prof. Dr. Moacir de Souza Dias Jr.	DCS/UFLA
Prof. Dr. Elifas Nunes de Alcântara	EPAMIG

Prof. Dr. Mozart Martins Ferreira
DCS/UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

DEDICO

A DEUS, que é o grande mantenedor de minha vida e meu redentor. Meu melhor amigo.

À minha querida e amada esposa Lílian por estar sempre a meu lado incondicionalmente, com carinho e amor. Minha grande força e razão de viver.

Aos meus pais Acrísio e Elza.

Ao meu irmão Bruno.

“Não penseis que vim revogar a lei ou os profetas; não vim para revogar, vim para cumprir. Porque em verdade vos digo: até que o céu e a terra passem, nem um i ou um til jamais passará da lei, até que tudo se cumpra.”

Mateus 5:17-18

“Quanto melhor é adquirir a sabedoria do que o ouro! E mais excelente, adquirir a prudência do que a prata!”

Provérbios 16:16

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG, pela concessão da bolsa de estudos.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência do Solo pela oportunidade de treinamento a mim oferecida.

À EPAMIG, representada pelo pesquisador Dr. Elifas Nunes de Alcântara, pelo grande apoio dado nas viagens e coleta de amostras em sua fazenda experimental.

À EMBRAPA Cerrados, representada pelo pesquisador Dr. Dimas Vital Siqueira Resck, pela oportunidade de realização de parte das análises nesse centro de pesquisa.

Ao pesquisador Dr. Antônio Carlos da EMBRAPA Cerrados pela grande ajuda e sugestões na realização das análises estatísticas.

Ao professor Mozart Martins Ferreira pelo apoio, orientação, amizade e compreensão que possibilitaram a efetivação desse trabalho.

Aos membros da banca Carlos Alberto Silva, Marx Leandro Naves Silva, Moacir de Souza Dias Jr. e Elifas Nunes de Alcântara.

Aos professores João José, Nilton Curi e Janice Guedes pelos ensinamentos no decorrer das disciplinas, que contribuíram para minha formação profissional.

Aos funcionários e aos laboratoristas do Departamento de Ciência do Solo, Manoel, Delane, Dulce, Roberto e Maria Alice, entre outros, que sempre com presteza colaboraram com nosso trabalho.

Ao meu grande colaborador Ricardo (bolsista de iniciação científica) pelo apoio na execução das atividades laboratoriais.

Aos grandes amigos e fiéis escudeiros Alexandre Barberi e Adriana Lima pelo imenso apoio na condução dos trabalhos.

À querida família que fiz em Lavras, grandes amigos, Regilene Angélica, Walfrido Albernaz, Rodrigo Martins, Sandra e Nildo, Orlando, Antônio Marcos, Gigi, Paulo Pinho, José Roberto, Otacílio, Toninho, Lucas e Juliano Maly, e aos demais colegas do Departamento de Ciência do Solo pela partilha constante e agradável convivência.

Aos grandes amigos da cidade de Lavras, Dany e Letícia, Sérgio e Rossana, Elaine, Magela e Marize, Elon e Elisa, Vinícius e Éden, entre outros, que foram muito importantes em minha caminhada.

À minha família pela grande torcida e confiança, minha gratidão! Aos meus tios, Anicésio, Iraci, Lília, Osório, Nega e Eunice; a minhas avós, Cecília e Hermínia; e aos meus primos Augusto César e Hugo.

Muito Obrigado!!!

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	03
2.1 Agregados e sistemas de manejo do solo.....	03
2.2 Água do solo	11
2.3 Matéria Orgânica do Solo	12
2.4 Armazenamento de carbono no solo.....	16
3 MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 Localização e caracterização da área experimental.....	22
3.2 Condução do experimento e controle de Plantas Daninhas.....	22
3.3 Calagens e Adubações.....	24
3.4 Delineamento Experimental	24
3.5 Caracterização Física	31
3.6 Caracterização Química	33
3.7 Caracterização Microbiológica.....	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1 Caracterização física do solo	36
4.2 Disponibilidade de água.....	38
4.3 Biomassa e Atividade microbiana	42
4.4 Agregação do solo.....	47
4.5 Estoque de carbono do solo.....	52
4.6 Fracionamento físico densimétrico matéria orgânica do solo	53
5 CONCLUSÕES	57
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

RESUMO

SANTOS, Márcio Neres dos. **Métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro e seus efeitos na agregação e em frações da matéria orgânica do solo.** UFLA, 2005. 64 p. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)

A expansão da cafeeicultura em Latossolos ocorre com investimentos elevados em variedades, adubações, irrigações e controle de pragas e doenças. As plantas daninhas infestantes dos cafezais devem ser controladas para se evitarem perdas na produção e facilitar o manejo da cultura e da operação de colheita. Esse trabalho tem como objetivo estudar o efeito de alguns métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro sobre a agregação do solo e também sobre frações da matéria orgânica do solo. O trabalho foi realizado em amostras coletadas nas profundidades 0-10 cm e 10-20 cm, na Fazenda Experimental da EPAMIG, em São Sebastião do Paraíso, MG, em um Latossolo Vermelho distroférico. A área é cultivada com café no espaçamento 4x1 m, cultivar Catuaí Vermelho (LCH 2077-2-5-99), e foi plantada em 1974. Os métodos de controle de plantas daninhas estudados foram roçadeira, grade, enxada rotativa, herbicida pós-emergência, herbicida pré-emergência, capina manual e sem capina. Adotou-se como índice de agregação o diâmetro médio geométrico (DMG). Foram quantificadas a fração leve (matéria orgânica não complexada livre – MONC livre) e fração pesada (complexos organo-minerais – COM primários) da matéria orgânica do solo pelo método físico densimétrico. A quantificação dessas frações foi feita em amostras de agregados nos tamanhos menor que 2 mm, de 2 a 4 mm e de 4 a 8 mm, que foram separados via seca em agitador vertical. O carbono da biomassa microbiana e a atividade microbiana foram avaliados pelos métodos da fumigação-extração e respiração, respectivamente. Os resultados obtidos permitiram verificar que na profundidade de 0-10 cm do solo não houve diferença significativa entre métodos de controle de plantas daninhas no que se refere aos valores de DMG. Em ambas as profundidades, a enxada rotativa foi o método que apresentou o menor valor de DMG, enquanto sem capina proporcionou o maior valor. A atividade microbiana teve influência positiva na formação e estabilização dos agregados do solo. A fração pesada contribuiu com mais de 90% para a matéria orgânica do solo nas duas profundidades avaliadas e mostrou-se pouco afetada pelos diferentes métodos de controle de plantas daninhas. Houve uma redução no estoque de carbono em todos os métodos em relação ao controle sem capina.

Comitê Orientador: Mozart Martins Ferreira – UFLA (Orientador), e Elifas Nunes de Alcântara – EPAMIG.

ABSTRACT

SANTOS, Márcio Neres dos. **Weed Control Methods in Coffee (*Coffea arabica* L.) And Yours Effects On Soil Aggregation and Soil Organic Matter Fractions.** UFLA, 2005. 64 p. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)

The coffee crop expansion in Latosol occur with high invest in varieties, fertilization, irrigation and control of insects and plant diseases. The weeds in coffee crop should be control for to avoid production loss and make easier the crop management. This work aimed to study the effect of weed control methods in coffee on soil aggregation and also on soil organic matter fractions. The essay was realized in samples collected in the 0-10 cm and 10-20 cm depth, at the EPAMIG Experimental Station in São Sebastião do Paraíso (MG), Brazil, in a coffee plantation on a Distroferric Red Latosol. Coffee cultivar 'Catuaí Vermelho' (LCH 2077-2-5-99) was planted at 4x1 m spacing, and the essay was installed in 1974. The weed control methods were mower, coffee tandem disk harrow, rotary tiller, post and pre-emergency herbicides, hand hoe and no weed control in the coffee inter-rows. The geometric mean diameter (DMG) was adopted like aggregation index, like first treatment. The soil organic matter fractions light (free soil organic matter – MONC) and heavy (organo-minerais complexes – COM primary) were quantified by physical densitometer method. The quantification of this fractions was made in <2mm, 2-4mm and 4-8mm aggregates, that was separated by vertical shake dry way. Carbon microbial biomass and microbial activity was evaluated by the methods chloroform fumigation-extraction and respiration, respectively. The results obtained allowed verify that in 0-10cm soil depth has not significative difference between weed control methods when this was relative to DMG values. In both soil depths, rotary tiller was the method that showed a smaller DMG value, whereas no weed control presented higher value. The microbial activity had positive influence in the soil aggregates formation and stability. The heavy fraction contributed with more than 90% to soil organic matter in both depths evaluated, showed less affected by weed control methods. There was a reduction in carbon stock in all weed control methods in relation to no weed control.

Guidance committee: Mozart Martins Ferreira – UFLA (Major Professor), and Elifas Nunes de Alcântara – EPAMIG.

1 INTRODUÇÃO

O café constitui grande fonte geradora de receitas para o Brasil, a despeito de ter diminuído sua participação relativa no valor das exportações com a diversificação de produtos exportados.

A região sul de Minas Gerais é a maior produtora de café do Estado. A atividade de produção cafeeira é grande geradora de emprego e fixadora de mão-de-obra no meio rural. A cafeicultura tem posição ímpar na economia dado o número de pessoas que emprega. Estimativas apontam a atividade como empregadora de quatro milhões de pessoas na produção e de 10 milhões, se considerados os outros segmentos, tais como comércio, indústria e serviços.

A expansão da cafeicultura em Latossolos ocorre com investimentos elevados em variedades, adubações, irrigações e controle de pragas e doenças. Solos intensamente cultivados com a cultura do cafeeiro não raramente apresentam problemas nas propriedades físicas do solo, afetando todo o processo de conservação do solo e assim comprometendo a sustentabilidade de todo o processo agrícola.

As plantas daninhas infestantes dos cafezais devem ser controladas para se evitem perdas na produção e facilitar o manejo da cultura e da operação de colheita. Por outro lado, se bem manejadas, podem ser benéficas, pelo sombreamento do solo, evitando a incidência direta dos raios solares, amenizando os efeitos da erosão na época de maior incidência das chuvas, aumento o teor de matéria orgânica do solo pela decomposição de raízes e partes aéreas, assim como incorporando nutrientes ao solo.

A matéria orgânica exerce papel importante nos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo, além de representar uma das maiores reservas de carbono no ciclo global.

O crescimento em produtividade deve ser feito por meio do equilíbrio entre as exigências das culturas e os recursos do solo, pelo uso de técnicas adequadas de manejo do solo.

Entre as diversas técnicas de manejo, o controle de plantas daninhas se destaca como uma das mais importantes operações culturais nas lavouras, pois constitui uma operação necessária e fundamental para se obter resultado positivo na produção, seja em culturas anuais ou perenes.

O manejo das plantas daninhas em lavouras de café tem sido, tradicionalmente, realizado por meio de técnicas manuais, mecânicas e químicas, sem uma preocupação conservacionista ou sem avaliação crítica de seus efeitos sobre as propriedades do solo.

Esse trabalho tem como objetivo o estudo do efeito de alguns métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro sobre a agregação do solo e também sobre frações da matéria orgânica do solo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Agregados e sistemas de manejo do solo

A estrutura do solo refere-se à aglutinação das partículas primárias em partículas compostas, delimitadas umas das outras por superfícies de fraqueza ou separadas por descontinuidades, dando origem a agregados de configurações peculiares inerentes à organização natural da matéria sólida constitutiva dos horizontes componentes do perfil do solo (Oliveira et al., 1992).

A estrutura é fortemente afetada pelas mudanças climáticas, pela atividade biológica e pelas práticas de manejo do solo e é vulnerável às forças destrutivas de natureza mecânica e físico-química. O tamanho, forma e estabilidade dos agregados do solo determinam a porosidade total, o tamanho, a distribuição e a forma individual dos poros. É por isso que a estrutura do solo, embora não seja considerada em si um fator de crescimento para as plantas, afeta a retenção e a transmissão de fluidos no solo, incluindo a infiltração e aeração, exercendo influência nos suprimentos de água e ar às raízes das culturas. Além disso, como a estrutura do solo influencia as propriedades mecânicas do solo, ela pode também afetar de maneira diferente fenômenos como germinação, desenvolvimento e penetração de raízes, disponibilidade de nutrientes, as culturas, o movimento da macrofauna do solo, o tráfego terrestre e a erosão (Hillel, 1982 e Lynch, 1985).

A formação e a estabilização dos agregados do solo ocorrem mediante a atuação de processos físicos, químicos e biológicos. Esses, por sua vez, atuam por mecanismos próprios, nos quais são envolvidas substâncias que agem na agregação e na estabilização, entre as quais as principais são argila, sílica coloidal, compostos orgânicos, metais polivalentes, carbonato de cálcio, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, exsudatos orgânicos e substâncias orgânicas provenientes da ação dos

microrganismos (Silva & Mielniczuk, 1997). Além das substâncias agregantes, existem os agentes de agregação representados por clima, raízes, microrganismos e pela própria contração do solo.

De uma maneira simples pode-se dizer que um agregado é constituído de partículas primárias intimamente agrupadas em uma unidade secundária. Os agregados visíveis, os quais são geralmente da ordem de vários milímetros a vários centímetros, são denominados de macroagregados (agregados maiores que 0,25 mm), que são, comumente, a união de arranjos menores, chamados microagregados (agregados menores que 0,25 mm), os quais, por sua vez, são resultantes da união de partículas primárias.

Os agentes orgânicos envolvidos na estabilização dos agregados são distribuídos em três grupos principais com base na idade e degradação da matéria orgânica (Tisdall & Oades, 1982). Os vários ligantes determinam a idade, o tamanho e a estabilidade dos agregados, sendo os três grupos de ligantes denominados transitórios, temporários e persistentes. Ligantes transitórios são materiais orgânicos que são rapidamente decompostos por microrganismos. O grupo mais importante é constituído pelos polissacarídeos, incluindo polissacarídeos microbianos produzidos quando materiais orgânicos são adicionados ao solo e alguns dos polissacarídeos associados com raízes e a biomassa microbiana na rizosfera.

Alguns polissacarídeos podem ser protegidos da degradação microbiana pela associação com íons metálicos ou por adsorção na superfície das argilas. Tais substâncias e sua ação ligante tornam-se persistentes por vários anos.

Ligantes temporários são raízes e hifas de fungos, particularmente hifas de micorrizas vesicular-arbuscular (Tisdall & Oades, 1979). Tais ligantes formam-se no solo em poucas semanas à medida que sistemas radiculares e hifas associadas se desenvolvem. Eles persistem por meses ou anos, são afetados pelo manejo do solo (Tisdall & Oades, 1979; Tisdall & Oades, 1980a) e também

atuam estabilizando macroagregados, isto é, agregados com diâmetro $> 0,25$ mm (Tisdall & Oades, 1980b).

As hifas, não necessariamente vivas, unem-se e ficam incrustadas com partículas de argila, conservando os agregados estáveis em água (Tisdall & Oades, 1979). Embora individualmente as hifas não sejam fortes, a força combinada de todas as hifas e raízes finas, especialmente numa rede tridimensional, segura partículas mais ou menos igualmente em todas direções, de maneira que os agregados ficam estáveis quando rapidamente umedecidos.

Além de fornecerem resíduos orgânicos ao solo e manterem uma grande população microbiana na rizosfera, as raízes de algumas plantas, especialmente de gramíneas, por si só agem como ligantes. Elas formam um aglomerado com partículas finas do solo em macroagregados estáveis, mesmo após a sua morte.

O extenso sistema radicular de gramíneas favorece a estrutura do solo em vista da cimentação de macroagregados por raízes finas e hifas de micorrizas vesicular-arbuscular e cimentação de microagregados por material húmico e mucilagem formados durante a decomposição das raízes e hifas (Oades, 1984).

Ligantes persistentes consistem de material húmico aromático degradado, associado com ferro amorfo, alumínio e aluminossilicatos, para formar a grande fração organo-mineral do solo (Meurer, 2000).

Os materiais coloidais do solo causam a cimentação das partículas primárias em agregados estáveis e se distinguem em três grupos: (1) as próprias partículas de argila; (2) os colóides inorgânicos irreversíveis ou pouco reversíveis (como os óxidos de ferro e de alumínio), (3) os colóides orgânicos, sugerindo a possibilidade de existência de interações entre material coloidal mineral e orgânico para formar complexos argiloso-orgânicos (Baver et al., 1973).

Estudando a estabilidade estrutural dos agregados em condições de mato e campo nativo, verificou-se que houve diminuição da agregação

quando estas foram submetidas à lavração e à gradagem para o cultivo do trigo e soja (Carpenedo & Mielniczuk, 1990).

As culturas, quando adequadamente manejadas, especialmente em sistemas de rotação, são agentes importantes que atuam na agregação do solo. A ação das culturas é devida à produção de resíduos orgânicos que são fontes de energia para atividade microbiana na formação de compostos húmicos no solo; ocorre a atuação do sistema radicular aproximando as partículas do solo por compressão e variação de umidade, além da contribuição de umidade, das excreções e resíduos produzidos; a cobertura vegetal, assim como os resíduos, protege os agregados da superfície contra a ação direta das gotas de chuva e do sol, influenciando também na variação da temperatura e umidade do solo.

As plantas exercem maior benefício na agregação quando possuem um volume de finas raízes que se ramificam através do solo, exercendo pressão que pode ajudar na formação de agregados. Ao absorver água, as raízes que estão em contato com as partículas do solo produzem esforço e tensão que, por fim, fornecem alimentos aos microrganismos da rizosfera, os quais direta ou indiretamente influem na agregação (Alisson, 1973). As raízes podem ocasionalmente penetrar nos agregados e quebrá-los, mas isto não é o maior efeito, seu crescimento é principalmente entre agregados. Plantas com raízes grossas e limitadas raízes finas, tais como o algodão e a soja, são menos efetivas na agregação que as gramíneas.

A consorciação de gramíneas e leguminosas é mais eficiente na reagregação do que somente leguminosas ou gramíneas. Normalmente, leguminosas não têm grande quantidade de raízes finas, porém contêm mais nitrogênio e sua decomposição é mais rápida do que as raízes das gramíneas, com alto conteúdo de carbono (Alisson, 1968).

A ação das raízes das plantas na formação e estabilização dos agregados do solo é enfatizada por Tisdall & Oades (1979). Entretanto,

muitos pesquisadores têm destacado que, dentro do universo de plantas, as gramíneas perenes exercem maiores benefícios (Baver et al., 1972; Carpenedo & Mielniczuk, 1990; Paladini & Mielniczuk, 1991). Esses efeitos benéficos são atribuídos principalmente à alta densidade de raízes, que promove a aproximação de partículas pela constante absorção de água do perfil do solo, às periódicas renovações do sistema radicular e à uniforme distribuição dos exsudatos no solo, que estimulam a atividade microbiana, cujos subprodutos atuam na formação e estabilização dos agregados.

Trabalho desenvolvido em Latossolo Vermelho distroférico e Argissolo concluiu que apesar de apresentarem uma pequena fração dos constituintes orgânicos do solo, as raízes exercem grande influência na formação e estabilidade dos agregados do solo (Silva & Mielniczuk, 1997). As gramíneas perenes (pangola e setária), por apresentarem maior densidade de raízes e melhor distribuição do sistema radicular no solo, favoreceram as ligações dos pontos de contato entre partículas minerais e agregados, contribuindo, assim, para a formação e estabilidade dos agregados. Concluiu-se ainda, em concordância com Santos (1997), que as gramíneas perenes podem ser usadas como plantas recuperadoras da estrutura do solo em áreas degradadas.

A estabilidade estrutural pode ser controlada por um manejo que inclua rotação de culturas. A estabilidade pode ser incrementada pelo crescimento de plantas com sistema radicular extenso e com o mínimo preparo do solo. Rotações que incluem pousio e múltiplos cultivos decrescem a estabilidade dos agregados (Tisdall & Oades, 1980a).

O cultivo por 50 anos de um Latossolo Vermelho argilo-arenoso, onde a matéria orgânica era o agente principal de agregação, provocou decréscimo na macroagregação e houve também decréscimo no comprimento de raízes e hifas

(Tisdall & Oades, 1980b). Esses autores acrescentam que a estabilidade de agregados com diâmetro inferior a 0,25 mm depende mais de características do solo do que do manejo.

Culturas e sistemas de culturas que proporcionam pouca cobertura vegetal fornecem pouco resíduo orgânico prontamente decomponível ao solo e que requerem intensas operações de preparo e de cultivo, são as menos capazes de manter o solo em boas condições de utilização. Ao contrário, culturas ou sistemas de culturas que possuem sistemas radiculares extensos apresentam um contínuo fornecimento de matéria orgânica bem balanceada, proporcionam uma boa e eficaz cobertura protetora, melhoram a agregação do solo e mantêm uma elevada atividade biológica e a produtividade do solo aumenta. A cobertura do solo reduz o efeito da desagregação, evitando o selamento superficial provocado pela obstrução dos poros por partículas finas desagregadas (Castro et al., 1987).

Quando o solo passa de uma condição natural, mato ou campo nativo, para o cultivo anual, ocorrem modificações nas características físicas, sendo estas mais afetadas quanto maior a intensidade de preparo do solo. As principais alterações são evidenciadas por diminuição de macroporos, tamanho dos agregados, taxa de infiltração de água e aumento da densidade do solo (Machado et al., 1981).

A utilização de implementos como a grade pesada resulta na quebra dos agregados do solo, expondo a matéria orgânica ao ataque dos microrganismos e tendo, como consequência, a perda do carbono do solo. Em situações de baixa disponibilidade de carbono e com a estrutura destruída, a infiltração da água no solo é prejudicada e o solo resiste menos ao impacto de gotas de chuvas, iniciando-se, assim, o processo erosivo. Além disso, este implemento propicia um pequeno volume de solo corrigido e a formação de uma camada compactada a 12-15 cm de profundidade (Resck et al., 1991 e Resck, 1993).

A utilização intensiva de equipamentos agrícolas em todas as operações agrícolas (semeadura, tratos culturais e colheita) tem promovido aumento da compactação, principalmente na zona de exploração do sistema radicular da planta. A principal razão desse fenômeno é a repetitividade das operações realizadas ao longo dos anos (Oliveira, 2004). Inúmeros autores sugerem que a compactação do solo seja identificada tanto por meio de atributos físicos, tais como densidade do solo, distribuição de poros por tamanho e estabilidade de agregados em água, como por meio da resistência do solo à penetração (Assis & Lanças, 2005).

Nos sistemas de manejo em que há utilização de implementos de preparo do solo, ocorre o fracionamento dos agregados em unidades menores, modificando significativamente as características originais, sendo estas mais afetadas quanto maior a intensidade de preparo do solo (Da Ros et al., 1997).

Em área de cerrado por duas décadas em sistema de plantio direto, Oliveira (2004) observou que o tráfego de máquinas e a ausência de revolvimento promoveram alterações na estrutura do solo, principalmente na macroporosidade na profundidade de 0-5 cm. Em Latossolo Vermelho distrófico, Albuquerque et al. (1995) constataram que ao final de sete anos não ocorreram diferenças de densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade entre o sistema plantio direto e o preparo convencional.

O tráfego de máquinas e o preparo de solos argilosos, com umidade elevada, no estado plástico, são práticas indesejáveis, pois ocorre a formação de camadas compactadas, conseqüentemente com pouca aeração, baixa infiltração da água e impedimento para as raízes.

A utilização de sistema de manejo com menor revolvimento do solo e que proporciona acúmulo de resíduos das culturas na superfície, em áreas anteriormente degradadas pelo preparo inadequado do solo, está

possibilitando a recuperação das características físicas. Trabalhos com o emprego de sistema de plantio direto têm demonstrado diminuição da erosão e aumento da taxa de infiltração de água, do diâmetro dos agregados, da atividade microbiana e da produtividade das culturas (Campos et al., 1995).

O sistema de plantio direto, por vários anos, pode diminuir a densidade devido ao acúmulo de resíduos culturais na superfície, que favorecem a reestruturação do solo. Estudo feito por Da Ros et al.(1997), após três e seis anos de plantio direto em Latossolo Vermelho, encontrou menor densidade e maior porosidade total e macroporosidade em relação ao preparo convencional e ao preparo mínimo.

Em plantio direto ocorre um aumento do diâmetro médio geométrico dos agregados, sendo esse aumento mais acentuado nos primeiros anos de instalação do sistema. Após cinco anos de cultivo, Da Ros et al. (1997) observaram que o diâmetro médio geométrico em plantio direto é estatisticamente equivalente ao do campo nativo.

Em Latossolo Vermelho sob semeadura direta foram observados valores de diâmetro médio geométrico maiores que os valores encontrados sob sistema arado de discos (Oliveira et al., 2004). Segundo esses autores, isto pode ser devido aos maiores teores de carbono orgânico presentes nos sistemas sem revolvimento do solo.

A maior agregação no sistema Mata Nativa é resultante do grande acúmulo de matéria orgânica ao longo dos anos, em virtude da ausência de ação antrópica por mais de 40 anos, influenciando fortemente a agregação do solo (Assis & Lanças, 2005). O diâmetro médio geométrico foi crescente com o tempo de adoção no sistema plantio direto, na profundidade de 0-5 cm, e a mata nativa apresentou maior DMG em ambas as profundidades, 0-5 e 10-15 cm.

O uso de gradagens permanentes em pomar de laranja reduziu o tamanho dos agregados e a agregação do solo, após 16 anos, além de formar uma camada compactada na profundidade de 10 a 15 cm (Cintra et al., 1983). Houve redução nos valores percentuais do diâmetro médio dos agregados após quatro anos de uso de enxada rotativa em um Argissolo (Silveira & Kurashi, 1981). O uso de herbicidas pré-emergentes induziu a formação de crostas superficiais, alterando as propriedades físicas do solo e reduzindo a velocidade de infiltração de água (Cintra et al., 1983).

2.2 Água do solo

À medida que a tensão aumenta, mais água é retirada do solo e dos poros maiores, os quais não conseguem reter a água e, contra uma tensão aplicada, esvaziam-se. Pode-se dizer que um aumento gradual na tensão irá resultar no esvaziamento dos poros progressivamente menores, até que, em altos valores de tensão, somente os poros muito pequenos retêm água (Hillel, 1982). Da mesma forma, um aumento na tensão da água do solo está associado com a redução da espessura da superfície de hidratação que cobre as partículas do solo e, assim, há a diminuição da umidade do solo.

A quantidade de água que permanece no solo no equilíbrio é uma função dos tamanhos e volumes dos poros cheios de água e, conseqüentemente, é uma função da tensão mátrica. Esta função é usualmente medida experimentalmente e é representada graficamente por uma curva conhecida como curva de retenção de água do solo ou como umidade do solo.

Em estudo realizado em Latossolo Vermelho observou-se que na faixa de umidade do solo correspondente às tensões entre 6 e 100 kPa, houve um deslocamento para cima das curvas de umidade do solo, tanto no sistema de preparo com arado de discos quanto na semeadura direta, em relação às curvas de umidade do solo sob vegetação de Cerrado (Oliveira et al., 2004). Isto indica

maior retenção de água pelo solo nos sistemas sob manejo nesta faixa de tensão (Resende et al., 1996). Ainda considerando o estudo feito por Oliveira et al. (2004), na faixa de tensão entre 100 e 1500 kPa, particularmente nos sistemas que envolvem cultivo, nas várias profundidades estudadas, as curvas exibiram aspecto próximo ao retilíneo, assintótico ao eixo da abscissa, a exemplo do que foi relatado por Resck et al. (1991), indicando a existência de microporos muito pequenos, com baixa capacidade de armazenamento de água.

Em solos altamente intemperizados, a água disponível para as plantas em geral está retida na faixa de tensões entre 0 e 100 kPa (Santos, 1997). Porém, entre 0 e 6 kPa (macroporos), a condutividade hidráulica é alta, sendo parte considerável da água drenada em pouco tempo, o que justifica o cálculo de disponibilidade de água para as plantas, em Latossolos da região dos Cerrados, com base na umidade retida sob tensões entre 6 e 100 kPa, em concordância com Resck (1993).

2.3 Matéria Orgânica do Solo

A matéria orgânica é toda substância no solo que é proveniente de resíduos de plantas, microrganismos, micro, meso e macrofaunas e de excreções de grandes animais (Resck, 1993) em vários estágios de decomposição. A matéria orgânica é muito importante nos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo, além de representar uma das maiores reservas de carbono no ciclo global.

A matéria orgânica pode ser classificada em dois grupos principais de componentes, as substâncias não-húmicas e as substâncias húmicas. As substâncias não-húmicas são os restos inalterados de tecidos de plantas e animais e as húmicas são substâncias modificadas química e biologicamente, com pouca ou nenhuma característica dos compostos conhecidos (Nascimento, 1989).

O produto sintético resultado do trabalho da população microbiana nos restos orgânicos é conhecido como húmus, o qual representa uma composição extremamente variável, não havendo, portanto, um composto ou molécula única capaz de defini-lo. Porém, de acordo com a sua solubilidade, o húmus pode ser fracionado em huminas, ácidos húmicos e ácidos fúlvicos (Theng et al., 1989).

A geração de cargas na superfície dos colóides orgânicos é função exclusiva do pH do meio em que se encontram esses materiais, ou seja, a carga da matéria orgânica é dependente de pH. Nos solos dos Cerrados, os quais são muito intemperizados, há a dependência do pH na relação entre CTC e teor de matéria orgânica (Lopes & Cox, 1977). Dessa forma, variando-se o pH do solo, as cargas na superfície dos colóides alteram-se, dependendo da relação entre o pH do meio e o PCZ (ponto de carga zero) dos compostos (Oades et al., 1989).

A ligação de cátions metálicos com a matéria orgânica tem uma grande influência nas propriedades físicas e químicas do solo. A capacidade de troca de cátions dos solos orgânicos é quase totalmente devida à matéria orgânica e sua contribuição para a capacidade de troca de cátions dos solos minerais pode ser da ordem de $280 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ de matéria orgânica. As substâncias húmicas são importantes na retenção de micronutrientes e no seu transporte na solução do solo. A ligação do ferro e alumínio com substâncias húmicas é um importante fator na estabilização de agregados do solo (Brady, 1989).

A matéria orgânica está contida em três reservatórios no solo, que são o lábil ou prontamente disponível, a matéria orgânica fisicamente protegida e a quimicamente protegida. A matéria orgânica lábil é composta por material de planta - folhas, raízes e caules, passíveis de serem decompostos, como também pelo material resistente e a biomassa microbiana, e normalmente o tempo de residência desta fração no solo é menor do que 25 anos. A matéria orgânica fisicamente protegida é aquela associada ao agregado de maneira a ser inacessível ao ataque dos microrganismos, e o seu tempo de residência está entre

25 e 100 anos. Por fim, tem-se a matéria orgânica quimicamente protegida, a qual acredita-se ser derivada de componentes de plantas parcialmente decompostos (unidade fenil propanóides de lignina) e microrganismos (polifenóis e aminoácidos), os quais se combinam (através da formação de quinonas) para formar compostos que são resistentes à decomposição. Podem ocorrer, ainda, ligações como argila-(Al, Fe)-M.O.-(Al,Fe)-argila, cujo tempo de residência no solo está entre 100 e 3500 anos (Resck et al., 1991).

Os dois reservatórios, matéria orgânica fisicamente protegida e matéria orgânica quimicamente protegida, constituem os agregados do solo, sendo que os macroagregados (>0,25 mm de diâmetro) estão no reservatório em que a matéria orgânica está fisicamente protegida e os microagregados (<0,25 mm de diâmetro), no reservatório em que a matéria orgânica está quimicamente protegida (Resck, 1993).

A macroagregação é controlada pelo manejo que se dá ao solo através de práticas como rotação de culturas. Isto porque a rotação influencia o crescimento das raízes das plantas e a oxidação (perda) do carbono orgânico. Um fator que é muito importante na manutenção dos agregados é o sistema de preparo do solo. Implementos como rotovalor e grade pesada quebram a estrutura do solo, expondo a matéria orgânica ao ataque dos microrganismos e causando, como consequência, a perda do carbono do solo na forma de CO₂ (Resck, 1993).

Os processos de decomposição da liteira, a formação e mineralização da matéria orgânica do solo são determinados pelo clima, pelas condições do solo (umidade e aeração), pela qualidade do material, pelas atividades das raízes, pelos microrganismos e pela mesofauna (Anderson & Flanagan, 1989). Essas variáveis geralmente atuam de acordo com uma hierarquia, mas em uma determinada situação em que os processos biológicos interagem com as condições do solo, podem deixar de ser significantes os efeitos do clima sobre a decomposição da liteira. A qualidade do material e as condições edáficas são

parâmetros-chaves que influenciam a estabilização da matéria orgânica do solo pelos microrganismos. Os térmitas e as minhocas contribuem para a dinâmica da matéria orgânica tanto diretamente (influenciando os processos metabólicos) quanto indiretamente (afetando a decomposição da liteira, formando e quebrando agregados e alterando as condições físicas do solo que controlam os processos microbianos). As raízes também têm seus efeitos diretos e indiretos sobre a formação e ciclagem da matéria orgânica, já que essas são importantes fornecedoras de matéria orgânica ao solo e afetam as condições do solo por serem dreno de água, nutriente e oxigênio.

A fração lábil da matéria orgânica é formada por componentes de fácil mineralização, os quais permanecem por pouco tempo no solo. Grande parte dessa fração é composta por aminoácidos, peptídeos, açúcares, carboidratos e lipídeos. Além destes componentes ocorrem também, na fração lábil, produtos resultantes do metabolismo da biomassa microbiana, tais como graxas, resinas, lignina e hemicelulose (Anderson & Flanagan, 1989).

As bactérias atuam na decomposição de proteínas, amido e celulose, resultando em NH_3 , H_2S , CO_2 , ácidos orgânicos e outras substâncias não completamente oxidadas. Em seguida, os compostos orgânicos intermediários e os tecidos da biomassa são atacados por uma grande variedade de microrganismos com a produção de uma biomassa, e isso resulta na perda de carbono na forma de CO_2 . Por fim, tem-se a decomposição gradual de substâncias mais resistentes como a lignina, na qual atuam os actinomicetos e os fungos (Stevenson, 1982). Nota-se, então, que a matéria orgânica, além de exercer um importante papel nas propriedades físicas, químicas e físico-químicas do solo, atua também sobre a biomassa microbiana ao servir como fonte de energia para essa.

2.4 Armazenamento de carbono no solo

O carbono do solo é o principal componente do ciclo terrestre do carbono. Os solos do mundo contêm mais carbono do que o total combinado que ocorre na vegetação e na atmosfera (Swift, 2001). Conseqüentemente, os solos são um grande reservatório de carbono e um importante dreno. Devido ao período de tempo relativamente longo que o carbono permanece no solo, esse retendo o carbono da atmosfera, o mesmo é às vezes referido como sendo seqüestrado.

O aumento na capacidade dos solos em reter carbono proporciona uma medida parcial de ajudar a melhorar os crescentes níveis de CO₂ na atmosfera, que aumentam a partir da queima de combustíveis fósseis e desmatamento de grandes áreas. Tal processo ajudará a aliviar os crescentes impactos ambientais devido ao aumento do CO₂ na atmosfera.

O potencial de seqüestro de carbono pelo solo depende de sua capacidade de armazenar constituintes resistentes de plantas em um prazo médio e de proteger e acumular substâncias húmicas (SH) formadas a partir de transformações ou materiais orgânicos presentes no solo. O potencial de seqüestro de um solo depende da vegetação que esse suporta, de sua composição mineralógica, da profundidade do solum, da drenagem do solo, da disponibilidade de água e ar e da temperatura do ambiente solo (Swift, 2001). O potencial de seqüestro também depende das características químicas da matéria orgânica do solo e de sua capacidade de resistir à decomposição microbiana.

A matéria orgânica do solo exerce um papel crucial no desenvolvimento e manutenção da fertilidade, principalmente por meio da ciclagem, retenção e fornecimento de nutrientes para as plantas, e também na formação e manutenção da estrutura do solo (Stevenson, 1994). O declínio freqüente dos níveis da matéria orgânica em muitos solos cultivados e intensamente pastejados são indicativos de uma extensiva degradação do solo por meio da perda tanto da

estrutura do solo como de sua fertilidade (Spain et al., 1983; citado por Swift, 2001). As conseqüências da degradação do solo que resultam de perdas da matéria orgânica do solo têm sido reconhecidas há muito tempo e existe, atualmente, uma variedade de dados que enfatizam a extensa degradação da matéria orgânica como resultado de um longo período de cultivo. Inevitavelmente, a degradação da estrutura do solo leva a perdas por erosão eólica e hídrica e, em seqüência à erosão, tem-se a perda de matéria orgânica.

Recentemente, importância tem sido dada à necessidade de seqüestrar carbono proveniente do CO₂ atmosférico para o solo, devido a uma preocupação internacional sobre a emissão de gases que provocam o efeito estufa e o aquecimento global. Essa preocupação resultou no Protocolo de Kyoto, no ano de 1999, que pretende limitar a emissão de gases pelos países desenvolvidos.

A distribuição de CO₂ na atmosfera não é uniforme, mas apesar de tudo, tem sido estimado que algo acima de 1,8 Tg C. ano⁻¹ (1 Tg = 10¹²g) é seqüestrado pelo sistema solo-planta (Houghton et al., 1998). Essas observações mostram claramente o potencial do sistema solo-planta em seqüestrar carbono.

O conhecimento do volume da queima de combustíveis fósseis permite fazer boas estimativas das emissões de CO₂. Entre os anos 900 e 1200, a concentração de CO₂ na atmosfera era estimada como sendo algo em torno de 250 ppmv (partes por milhão por volume). A concentração aumentou para 280 ppmv entre os anos 1300 e 1850 e foi estimada em 358 ppmv em 1994 (Lal, 1997; Silva & Machado, 2000). Atualmente, a concentração atmosférica tem aumentado a uma taxa de 0,5% por ano. Os aumentos desde 1850 têm sido atribuídos a mudanças no uso da terra (1,6 ± 1,0 PgC.ano⁻¹ (1 Petagrama = 10¹⁵g)) e à queima de combustível fóssil (5,5 ± 0,5 PgC.ano⁻¹) (Lal et al., 1997). Se a tendência de aumento de emissão de carbono continuar, estima-se que a concentração de CO₂ na atmosfera alcançará 600 (ou talvez 700) ppmv nesse século.

A estabilidade das frações de carbono orgânico do solo está relacionada com o comportamento dos materiais vegetais a partir do qual a matéria orgânica é originada. Sabe-se que compostos de plantas mortas estão sujeitos à decomposição microbiana para serem incorporados ao solo. Também está claro que diferentes constituintes dos vegetais se decompõem a diferentes taxas. Por exemplo, açúcares simples e proteínas se decompõem muito rapidamente, em questão de horas ou dias; por outro lado, outros constituintes, como lignina, ceras e suberina, necessitam de muito mais tempo para serem decompostos (Santos & Camargo, 1999).

Embora o aquecimento global seja uma preocupação, aumentar as quantidades de matéria orgânica nos solos e entender como ela é estabilizada deveria ser uma prioridade, devido à necessidade de melhorar a fertilidade e a conservação dos solos. O interesse no solo como dreno de carbono dos gases que provocam o efeito estufa está criando uma melhor consciência na comunidade científica sobre a importância da matéria orgânica. Isso pode levar a avanços significativos no entendimento da composição, propriedades e funções da matéria orgânica nos solos (Swift, 2001).

O principal processo que leva a um acúmulo sustentável dos níveis de carbono orgânico nos solos pode ser resumido em termos de disponibilidade de umidade adequada para o crescimento das plantas (especialmente sistema radicular); biotransformações ou humificação de resíduos de plantas e animais; formação e estabilidade de agregados do solo; profundidade do solum; profundidade do sistema radicular e ciclo natural e reserva de nutrientes. Há necessidade de adequar a umidade, assim como há necessidade de aeração para permitir a humificação dos resíduos vegetais. Embora a humificação, ou transformação biológica de resíduos de plantas em húmus, seja importante, é igualmente importante que o produto humificado seja protegido.

Existem boas correlações entre quantidade de matéria orgânica e estabilidade de agregados em solos com texturas e conteúdo mineralógico similares. Perda da estrutura do solo é uma das principais causas de degradação do solo, e degradação do solo leva a perda por erosão de componentes coloidais por erosão, incluindo a matéria orgânica associada a esses colóides. Ademais, quando a estrutura dos agregados é quebrada, parte dos mecanismos que protegem a matéria orgânica do ataque microbiano é destruída (Zech et al., 1997). Desse modo, a preservação de uma boa estrutura do solo é muito importante para as reservas de matéria orgânica. Quando o declínio nos níveis de matéria orgânica é revertido, sabe-se que ocorre melhora na estrutura e na fertilidade do solo.

Sendo assim, a restauração da estrutura do solo é importante para aumentar a matéria orgânica em um solo degradado. É provável que o processo de agregação do solo seja iniciado por uma pequena, porém ativa, fração de carboidratos da matéria orgânica (Haynes & Swift, 1990; Swift, 1991). Embora polissacarídeos microbianos tenham um papel vital na formação de agregados, a substância húmica adsorvida tem um papel principal na manutenção da estabilidade dos agregados por um longo tempo (Haynes & Swift, 1990; Oades, 1988).

Em solos tropicais, as perdas de carbono após a retirada da vegetação natural e cultivo do solo são mais elevadas do que em regiões temperadas (Sanchez et al., 1989). A decomposição da matéria orgânica é bastante acelerada em solos tropicais, levando à redução de até 50% dos estoques de carbono em período menor que 10 anos (Shang & Tiessen, 1997). Foram observadas perdas sistemáticas de matéria orgânica durante cinco anos de plantio de soja em solos de cerrado do oeste baiano, onde houve redução de 80, 76 e 41% do estoque inicial de matéria orgânica em Neossolo Quartzarênico, Latossolo Vermelho-Amarelo textura média e Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso,

respectivamente (Silva et al., 1994). Esses dados mostram que maiores reduções nos teores de matéria orgânica ocorrem nos solos mais arenosos; contudo, em termos de estoque, as perdas de matéria orgânica são maiores nos solos mais argilosos.

A avaliação do uso de sucessões de culturas com produções de biomassa maiores que a da vegetação espontânea permitiu elevar o teor de carbono do solo, desde que cultivadas sem revolvimento do solo, com aumentos tanto maiores e mais rápidos quanto maior a produção adicional de biomassa das sucessões (Testa et al., 1992). O aumento no teor de carbono do solo promoveu um aumento da capacidade de troca de cátions.

Em estudos sobre a influência de diferentes sistemas de cultivo sobre os níveis de matéria orgânica perdidos em sedimento erodido, verificou-se que o plantio direto foi o sistema mais eficaz no controle da erosão, perdendo as menores quantidades de nutrientes e matéria orgânica (Hernani et al., 1999). Nesses estudos, as perdas de matéria orgânica por erosão hídrica superficial variaram de 29 kg.ha⁻¹.ano⁻¹, na área sob plantio direto, a 216 kg.ha⁻¹.ano⁻¹, no sistema menos conservacionista, sem cobertura vegetal, em que foram utilizados arado de discos e grade niveladora. Uma comparação entre as quantidades de carbono emitido dos solos e as resultantes da queima de combustíveis fósseis mostra que a emissão anual a partir dos solos é 10 vezes maior que a dos combustíveis. Num sistema em equilíbrio, em que a capacidade do solo e da vegetação em seqüestrar carbono é inalterada, o aumento de CO₂ na atmosfera irá igualar a quantidade que entra a partir da combustão de combustíveis fósseis. Qualquer aumento na capacidade do solo e das plantas em seqüestrar carbono a mais irá, naturalmente, reduzir o acúmulo de CO₂ na atmosfera. Sendo assim, existe um aumento de consciência da importância dos solos do mundo quanto ao seqüestro de carbono. Estima-se que a recuperação de solos degradados poderia aumentar significativamente o seqüestro de carbono de 0,65 para 1,9 Pg C.ano⁻¹;

que a melhora do manejo de solos agrícolas não degradados aumentaria de 0,14 para 0,42 Pg C.ano⁻¹ e que a regeneração de florestas poderia aumentar o seqüestro de 0,09 para 0,26 Pg C.ano⁻¹ (Batjes (1999) citado por Swift, 2001).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área experimental

O trabalho foi realizado em amostras coletadas na Fazenda Experimental da EPAMIG, em São Sebastião do Paraíso, MG, situada a 46°55'N e 20°55'S. A área estudada é cultivada com café no espaçamento 4x1 m, cultivar Catuaí Vermelho (LCH 2077-2-5-99), e foi plantada em 1974.

A Fazenda Experimental localiza-se a uma altitude de 890 m, apresenta relevo suave ondulado e a área experimental tem uma declividade média de 8%.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico, originalmente com vegetação de floresta tropical subperenifólia, transicional para cerrado. A região apresenta precipitação média anual de 1470 mm, temperatura média anual de 21°C, com temperatura média máxima de 28°C e média mínima de 14°C.

3.2. Condução do experimento e controle de Plantas Daninhas

As principais espécies de plantas daninhas que ocorreram no início da instalação do experimento foram o capim marmelada [*Brachiaria plantaginea* (Link) Hitch], predominante entre as gramíneas; o capim colchão (*Digitaria horizontalis* Willd) e o capim pé-de-galinha [*Eleusine indica* (L) Gaertn], predominante principalmente nos períodos secos. Entre as dicotiledôneas ocorreram o picão-preto (*Bidens pilosa* L.), as guanxumas (*Sida* spp.), o caruru [*Amaranthus viridis* L. e *A spinosus* L.], a beldroega (*Portulaca olearacea* L.), a buva [*Erigeron bonariensis* L. ou *Conyza bonariensis* (L.) Cronq.], a falsa serralha (*Emmilia sonchifolia* DC) e o picão branco (*Galinsoga parviflora* Cav.).

Para aplicação de herbicida em pré-emergência utilizou-se uma mistura formulada dos herbicidas ametryn + simazine na base de 1200 g + 1200 g de ingrediente ativo (i.a.).ha⁻¹ e, posteriormente, aplicou-se nova formulação dessa

mistura (1125 g + 1125 g i.a..ha⁻¹). O volume de calda utilizado para aplicação dos herbicidas foi de 400 litros/ha.

Em pós-emergência aplicou-se uma mistura de tanque dos herbicidas Paraquat + Diquat na proporção de 200 g + 200 g i.a..ha⁻¹, respectivamente, quando as plantas daninhas atingiram a altura de 30 cm. Posteriormente, a mistura foi substituída pelo glyphosate, que é produto sistêmico, aplicado na dosagem de 0,72 a 1,44 litros de i.a..ha⁻¹ e de acordo com a intensidade da infestação, de modo alternado com a mistura formulada de glyphosate + 2,4 D a 160 g + 120 g.l⁻¹, respectivamente, por litro na dosagem de 640 g + 480 g do i.a..ha⁻¹.

As operações mecânicas de controle, incluindo capinas manuais, foram realizadas todas as vezes que o crescimento das invasoras exigiu. Foi realizado um número de operações necessárias para manter a infestação de plantas daninhas em níveis satisfatórios e compatíveis com a condução de uma lavoura comercial. Em média, foram necessárias cinco operações com a roçadeira e capina manual; três operações de gradagem, passagens de enxada rotativa e aplicações dos herbicidas de pós-emergência; e as aplicações dos herbicidas de pré-emergência foram feitas duas vezes ao ano. O número de operações de limpeza da saia foi, em média, de cinco vezes por ano.

3.3 Calagens e Adubações

O experimento recebeu calagens e adubações de acordo com as análises de solo e recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1999). As calagens foram realizadas bianualmente, utilizando-se sempre calcário dolomítico com PRNT de 80 a 90%, com doses, em cada aplicação, variando de 2,0 a 4,2 ton.ha⁻¹.

As adubações, quatro por ano, foram realizadas a partir das primeiras chuvas (setembro e outubro), empregando-se a fórmula 20-05-20 na quantidade aproximada de 150 a 170 g.cova⁻¹. De acordo com análise do solo, aplicaram-se também 80 g.cova⁻¹ de superfosfato simples.

Adubações foliares foram feitas em três ou quatro pulverizações com o uso de calda contendo sulfato de zinco a 0,3%, ácido bórico, cloreto de potássio, entre os meses de setembro a março. No controle da ferrugem utilizaram-se, geralmente, quatro pulverizações anuais com oxiclreto de cobre a 1%. Posteriormente utilizou-se um produto à base de cycoproprazole (Alto 100) na dosagem de 0,5 l.ha⁻¹, e a partir de 1994, o triadimenol (Bayfidan CE) a 1 l.ha⁻¹.

3.4 Delineamento Experimental

Os tratamentos consistiram de alguns métodos de controle de plantas daninhas (Tabela 3.1), aplicados na parte central das entrelinhas de cada “rua” das parcelas, numa faixa de aproximadamente 1,20 m de largura. As laterais das fileiras de cafeeiros, com uma faixa de 0,80 m de largura na projeção da copa, foram mantidas invariavelmente limpas por meio do uso de herbicidas de pré-emergência e pós-emergência e de capina manual.

Cada parcela era formada por três “ruas”, entre fileiras de cafeeiro, num total de 108 covas. As “ruas” laterais, juntamente com as duas fileiras de plantas laterais adjacentes a outros tratamentos, formavam as bordaduras, comuns aos tratamentos adjacentes (Figura 3.1).

Os tratamentos utilizados para controle de plantas daninhas com uso de roçadeira (Figura 3.2), grade (Figura 3.3), enxada rotativa (Figura 3.4), herbicida pós-emergência (Figura 3.5), herbicida pré-emergência (Figura 3.6), capina manual (Figura 3.7) e sem capina (Figura 3.8), podem ser observados parcialmente nas respectivas figuras.

O delineamento experimental foi em blocos e a amostragem do solo, realizada em faixas, com sete tratamentos e três repetições. A análise de variância foi realizada conforme modelo apresentado na Tabela 3.2 e a comparação entre as médias dos sistemas de controle de plantas daninhas foi feita pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) (Steel & Torrie, 1976).

TABELA 3.1 Tratamentos utilizados no controle de plantas daninhas. São Sebastião do Paraíso, MG.

Nº	Identificação do tratamento	
01	Roçadeira	RD
02	Grade	GR
03	Enxada rotativa	ER
04	Herbicida pós-emergência	HC
05	Herbicida pré-emergência	HP
06	Capina manual	CM
07	Sem capina	SC

TABELA 3.2 Modelo de Quadro de ANAVA

Fonte de Variação	Graus de Liberdade
Tratamento	6
Bloco	2
Resíduo (a)	12
Parcelas	20
Profundidade	1
Resíduo (b)	2
Tratamento X Profundidade	6
Resíduo (c)	12
Total	41

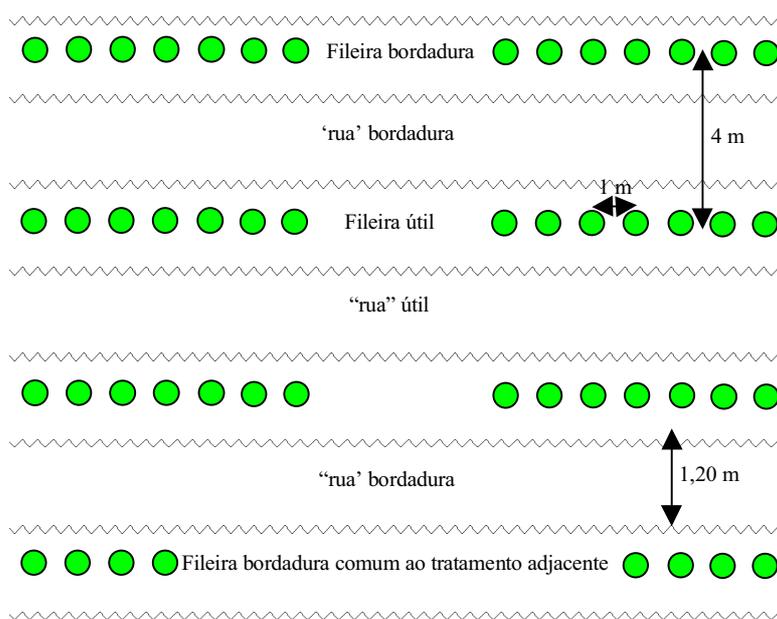


FIGURA 3.1 Detalhe da parcela experimental localizada na Fazenda Experimental da EPAMIG. São Sebastião do Paraíso, MG.



FIGURA 3.2 Vista parcial de “rua” com tratamento de roçadeira para controle de plantas daninhas. São Sebastião do Paraíso, MG.



FIGURA 3.3 Vista parcial de “rua” com tratamento de grade para controle de plantas daninhas. São Sebastião do Paraíso, MG.



FIGURA 3.4 Vista parcial de “rua” com tratamento de enxada rotativa para controle de plantas daninhas. São Sebastião do Paraíso, MG.



FIGURA 3.5 Vista parcial de “rua” com tratamento de herbicida pós-emergência para controle de plantas daninhas. São Sebastião do Paraíso, MG.



FIGURA 3.6 Vista parcial de “rua” com tratamento de herbicida pré-emergência para controle de plantas daninhas. São Sebastião do Paraíso, MG.



FIGURA 3.7 Vista parcial de “rua” com tratamento de capina manual para controle de plantas daninhas. São Sebastião do Paraíso, MG.



FIGURA 3.8 Vista parcial de “rua” com tratamento sem capina. São Sebastião do Paraíso, MG.

3.5 Caracterização Física

A caracterização física foi feita a partir de amostras deformadas e indeformadas coletadas nas profundidades 0-10 e 10-20cm. Foram usados, para coleta, cilindros de aço com volume de 100 cm³, altura de 51 mm e diâmetro de 50 mm.

Essas amostras foram submetidas à análise textural pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997) e à determinação do teor de argila dispersa em água; foram calculados o índice de floculação conforme EMBRAPA (1997); a densidade de partículas pelo método do balão volumétrico (Blake & Hartge, 1986); a densidade do solo (EMBRAPA,1997) e a estabilidade de agregados em água (Kemper, 1986), adotando-se como índice de agregação o diâmetro médio geométrico, DMG (Mazurak, 1950).

A determinação da curva de retenção de água foi realizada nas amostras indeformadas pelo método da centrífuga (Freitas Jr. & Silva, 1984), as quais foram submetidas às tensões de 6, 10, 20, 33, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 500, 1000 e 1500 kPa. Essas amostras indeformadas foram coletadas com uso do trado (Figura 3.9) e posteriormente saturadas em uma bandeja por 24 horas, na qual a água foi colocada até atingir 1 cm abaixo da borda superior do cilindro de aço. É importante observar que a água satura a amostra por capilaridade. Depois que as amostras estavam saturadas, foram levadas à centrífuga por um período de 30 minutos, às rotações de 540, 700, 1000, 1300, 1400, 1500, 1700, 1800, 2000, 2100, 2200, 4900, 7000 e 8500 rpm para as tensões de 6, 10, 20, 33, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 500, 1000 e 1500 kPa, respectivamente. O cálculo para cada rotação pode ser encontrado em Freitas Jr & Silva (1984).



FIGURA 3.9 Trado (a) utilizado na coleta de amostras indeformadas e acessórios como (b) sacola com cilindros de aço de 100cm^3 , (c) cilindro com as tampas e (d) espátula para retirada do cilindro de dentro do trado.

A porosidade total (PT) foi calculada em função da densidade do solo e da densidade de partículas por meio da equação $PT = [(D_p - D_s) / D_p] * 100$, e a microporosidade (MIC) foi obtida através da curva de retenção de água à tensão de 6 kPa. A macroporosidade (MAC) foi calculada por diferença de acordo com a expressão $MAC = PT - MIC$ (Santos, 1997).

Da curva de retenção de água também foram obtidos os dados de água parcialmente disponível (APD) e água total disponível (ATD), sendo APD a água contida nos poros com tamanho de raio entre $24,23 \mu\text{m}$ (6 kPa) e $1,45 \mu\text{m}$ (100 kPa) e ATD, a água contida entre $24,23 \mu\text{m}$ (6 kPa) e $0,10 \mu\text{m}$ (1500 kPa) (Santos, 1997).

3.6 Caracterização Química

Foram realizadas análises químicas de pH em H₂O, alumínio, cálcio, magnésio, fósforo, potássio e H⁺ + Al³⁺ (EMBRAPA, 1997), com resultados apresentados na Tabela 3.3.

Foram quantificadas a fração leve (matéria orgânica não complexada livre – MONC livre) e fração pesada (complexos organo-minerais – COM primários) pelo método densimétrico (Sohi et al., 2001), as quais são representadas na Figura 3.10. A quantificação dessas frações foi feita em amostras de agregados de tamanho menor que 2 mm, de 2 a 4 mm e de 4 a 8 mm, que foram separados via seca em agitador vertical.

A determinação do carbono orgânico foi feita pelo método de Yeomans & Bremner (1988), com determinação via úmida e oxidação a quente, usando o sulfato ferroso amoniacal como solução titulante.

Os estoques de carbono (Mg.ha⁻¹) foram determinados pela expressão: teor de C (g.kg⁻¹) x Ds x e / 10, em que Ds = densidade do solo (kg.dm⁻³) e e = espessura da camada de solo (cm).

3.7 Caracterização Microbiológica

A biomassa microbiana foi avaliada por fumigação-extração segundo Vance et al. (1987).

A respiração microbiana foi avaliada pelo método de titulação com captura de CO₂ por NaOH, segundo Hungria & Araújo (1994).

O quociente metabólico (*q*CO₂) representa a quantidade de CO₂ liberado por unidade de carbono da biomassa microbiana do solo por hora. O *q*CO₂ foi calculado pela divisão da respiração do solo pelo C da biomassa microbiana.

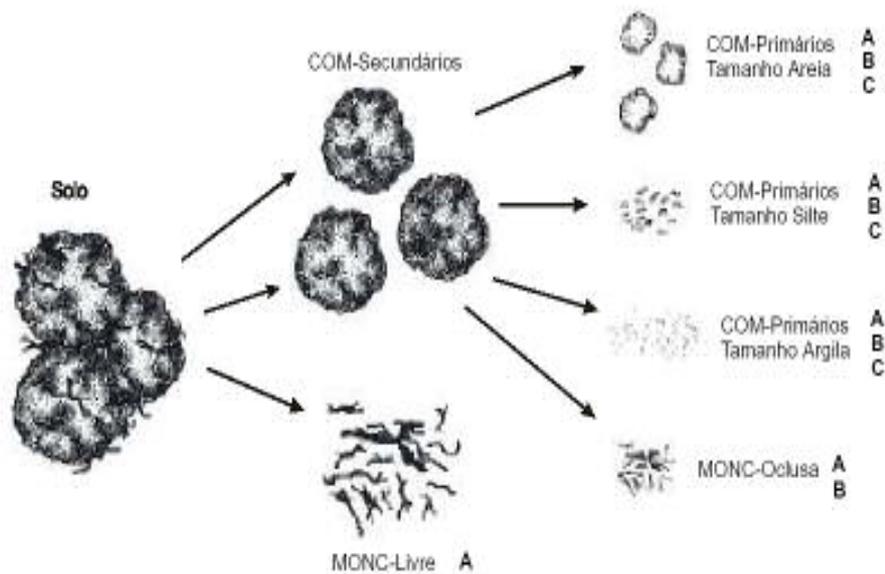


FIGURA 3.10 Modelo descritivo do arranjo espacial de partículas minerais e orgânicas do solo. O solo é constituído por complexos organominerais secundários (COM secundários) e matéria orgânica não complexada livre (MONC-livre). Os COM secundários, por sua vez, resultam da união de COM primários, aprisionando matéria orgânica não-complexada oclusa (MONC-oclusa). As letras próximas a cada fração representam os mecanismos de proteção contra a decomposição: A, recalcitrância; B, oclusão; e C, complexação/ligação com as partículas minerais. Fonte: Roscoe & Machado (2002), baseado em Christensen (1996).

TABELA 3.3 Complexo sortivo e teor de matéria orgânica de Latossolo Vermelho distroférico em duas profundidades, sob diferentes métodos de controle de plantas daninhas. São Sebastião do Paraíso, MG.

Tratamento	pH(H ₂ O)	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	SB	t	T	V	m	MO
		ppm	ppm	-----cmolc.kg ⁻¹ -----					----- % -----		g.kg ⁻¹		
Profundidade 0-10 cm													
RD	6,70	33,13	167,33	5,17	1,60	0,00	2,23	7,23	7,23	9,47	76,50	0,00	32,50
GR	6,37	52,60	120,67	5,17	1,53	0,00	2,40	7,00	7,00	9,40	74,50	0,00	27,33
ER	6,37	84,57	149,67	5,17	1,83	0,00	2,70	7,40	7,40	10,10	73,20	0,00	26,20
HC	6,83	64,27	141,00	4,93	1,73	0,00	2,27	7,00	7,00	9,27	75,33	0,00	32,53
HR	6,40	19,00	132,67	2,73	1,47	0,00	2,47	4,53	4,53	7,00	64,43	0,00	22,37
CM	6,77	90,03	66,33	7,20	1,57	0,00	2,60	8,93	8,93	11,53	77,60	0,00	33,50
SC	7,20	306,30	123,00	5,87	2,17	0,00	2,47	8,37	8,37	10,83	77,33	0,00	35,93
Profundidade 10-20 cm													
RD	6,70	7,57	102,33	2,77	1,30	0,00	2,30	4,33	4,33	6,63	64,70	0,00	17,30
GR	7,03	12,20	96,67	3,33	0,77	0,00	1,63	4,37	4,37	6,00	72,60	0,00	17,30
ER	6,33	54,50	106,33	4,67	1,27	0,00	2,40	6,23	6,23	8,63	72,13	0,00	16,30
HC	6,77	3,50	109,67	2,53	0,83	0,00	1,97	3,67	3,67	5,63	64,90	0,00	17,80
HR	5,33	2,20	94,67	0,93	0,40	0,17	3,67	1,57	1,73	5,23	30,17	11,67	16,30
CM	7,03	19,00	52,33	4,20	1,53	0,00	1,63	5,87	5,87	7,50	77,67	0,00	20,73
SC	7,33	13,77	115,33	4,10	1,27	0,00	1,53	5,67	5,67	7,20	77,73	0,00	28,13

RD: roçadeira; GR: grade; ER: enxada rotativa; HC: herbicida pós-emergência; HP: herbicida pré-emergência; CM: capina manual; SC: sem capina; P: fósforo; K⁺: potássio; Ca²⁺: cálcio; Mg²⁺: magnésio; Al³⁺: alumínio; H⁺ + Al³⁺: hidrogênio + alumínio; SB: soma de bases; t: capacidade de troca de cátions efetiva; T: capacidade de troca de cátions a pH 7,0; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; MO: matéria orgânica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização física do solo

Os métodos de controle de plantas daninhas apresentaram diferenças quanto à porosidade total e microporosidade apenas na profundidade 0-10 cm. Na profundidade 10-20 cm não houve diferença estatística entre todos os métodos estudados (Tabela 4.1).

Os métodos roçadeira, herbicida pré-emergência, capina manual e sem capina não apresentaram diferenças de porosidade total entre si na profundidade 0-10 cm; já os métodos grade, enxada rotativa e herbicida pós-emergência diferiram entre si e dos demais métodos de controle de plantas daninhas na profundidade 0-10 cm. A maior porosidade total foi verificada no método de controle com uso da enxada rotativa, em que a macroporosidade foi de $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ e a microporosidade, de $0,39 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$, apresentando o maior volume de microporos entre todos os métodos estudados.

Não houve diferença estatística para macroporosidade entre todos os métodos avaliados nas profundidades 0-10 cm e 10-20 cm. A microporosidade apresentou diferença estatística apenas na camada 0-10 cm, na qual os métodos grade, enxada rotativa, capina manual e sem capina tiveram os maiores valores para esse parâmetro. Os métodos roçadeira, herbicidas de pré-emergência e pós-emergência não diferiram entre si e tiveram os menores valores de microporosidade.

Não houve diferença estatística para densidade do solo entre todos os métodos estudados na profundidade 10-20 cm; já na profundidade de 0-10 cm, houve diferença entre os métodos. O método sem capina apresentou o menor valor de densidade do solo na profundidade 0-10 cm, o que pode estar associado ao maior teor de carbono orgânico nessa profundidade avaliada e ao acúmulo de material na superfície do solo.

TABELA 4.1 Caracterização física de Latossolo Vermelho distroférico em duas profundidades, sob diferentes métodos de controle de plantas daninhas. São Sebastião do Paraíso, MG.

Tratamento	DMG	ADA	IF	ARGILA	AREIA	SILTE	Ds	Dp	PT	MACRO	MICRO
	mm		----- % -----	----- % -----	----- % -----	----- % -----	----g.cm ⁻³ ----	----g.cm ⁻³ ----	-----m ³ .m ³ -----	-----m ³ .m ³ -----	-----m ³ .m ³ -----
Profundidade 0-10 cm											
RD	4,18	2	94	36	36	28	1,07 a	2,86 b	0,63 c	0,28 a	0,35 b
GR	4,04	2	95	39	34	27	1,00 c	2,91 b	0,66 b	0,29 a	0,36 a
ER	4,28	2	93	33	36	31	1,04 b	2,87 b	0,69 a	0,30 a	0,39 a
HC	4,08	2	95	31	42	27	1,08 a	2,89 b	0,61 d	0,28 a	0,33 b
HP	4,20	2	95	36	33	30	1,13 a	2,99 a	0,64 c	0,30 a	0,34 b
CM	4,28	2	94	30	37	33	1,02 b	2,86 b	0,64 c	0,26 a	0,38 a
SC	3,80	2	92	27	41	31	0,90 c	2,86 b	0,64 c	0,26 a	0,38 a
Profundidade 10-20 cm											
RD	4,63	2	94	43	33	23	1,08 a	2,91 a	0,63 a	0,32 a	0,31 a
GR	4,43	3	93	40	33	28	1,09 a	2,91 a	0,63 a	0,32 a	0,31 a
ER	4,17	3	92	36	35	29	1,06 a	2,92 a	0,65 a	0,30 a	0,35 a
HC	4,50	3	93	42	33	25	1,02 a	2,95 a	0,66 a	0,35 a	0,31 a
HP	4,33	3	94	46	31	23	1,07 a	2,96 a	0,64 a	0,33 a	0,30 a
CM	4,18	4	88	36	33	31	1,06 a	2,91 a	0,64 a	0,33 a	0,31 a
SC	3,80	3	92	39	34	28	1,01 a	2,89 a	0,64 a	0,31 a	0,32 a

RD: roçadeira; GR: grade; ER: enxada rotativa; HC: herbicida pós-emergência; HP: herbicida pré-emergência; CM: capina manual; SC: sem capina; DMG: diâmetro médio geométrico; ADA: argila dispersa em água; IF: índice de floculação; Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas; PT: porosidade total; MACRO: macroporosidade; MICRO: microporosidade. Médias seguidas por letras iguais na vertical dentro da mesma profundidade não diferem entre si pelo teste de Scott Knott (P< 0,05).

4.2 Disponibilidade de água

A quantidade de água que permanece no solo no equilíbrio é uma função dos tamanhos e volumes dos poros cheios de água e, conseqüentemente, é função da tensão mátrica.

A quantidade de água retida em valores relativamente baixos de tensão mátrica (entre 0 e 100 kPa de tensão) depende primariamente do efeito de capilaridade e da distribuição do tamanho dos poros e, conseqüentemente, é fortemente afetada pela estrutura do solo. Por outro lado, a retenção da água na faixa de maior tensão é devida grandemente à adsorção e isto é menos influenciado pela estrutura e mais pela textura e superfície específica do material do solo (Hillel, 1971).

Resck et al. (1991) dizem que em termos de disponibilidade de água, os Latossolos retêm apenas cerca de 1 mm de água para cada centímetro de solo, e esta água fica retida principalmente nos microporos dos agregados do solo, o que significa que a disponibilidade de água depende da estrutura.

Na faixa de umidade do solo correspondente às tensões entre 6 kPa (1,79 pF) e 100 kPa (3,01 pF), nota-se uma redução acentuada da umidade nas curvas de umidade do solo em todos os métodos de controle de plantas daninhas (Figuras 4.1 e 4.2). Isso indica maior disponibilidade de água pelo solo nos métodos avaliados nesta faixa de tensão.

Em solos altamente intemperizados, a água disponível para as plantas em geral está retida na faixa de tensões de 0 a 100 kPa (Santos, 1997). Porém, entre 0 – 6 kPa (macroporos), a condutividade hidráulica é alta, sendo parte considerável da água drenada em pouco tempo, o que justifica o cálculo de disponibilidade de água para as plantas, em Latossolos da região dos Cerrados, com base na umidade retida sob tensões entre 6 e 100 kPa, em concordância com Resck (1993).

A água parcialmente disponível foi maior nos métodos capina manual, grade e enxada rotativa (Figura 4.3) na profundidade 0-10 cm. Na capina manual esse comportamento pode ser devido ao teor de carbono orgânico, que foi próximo ao do método referência sem capina, e também à microporosidade, mais elevada em relação aos outros sistemas. A grade e a enxada rotativa pelo efeito que esses implementos promovem sobre a estrutura do solo, quebrando os agregados, reduzindo a macroporosidade e aumentando a microporosidade, podem influenciar na capacidade de retenção de água do solo, já que a mesma é retida nos microporos do solo. Ainda nesses métodos pode-se concluir que os microporos existentes estão na faixa de raio entre 24,23 μm (6 kPa) e 1,45 μm (100 kPa), o que é comprovado pela maior quantidade de água parcialmente disponível.

Entre os métodos de controle de plantas daninhas com uso de herbicida de pré-emergência e pós-emergência também houve diferença estatística para água parcialmente disponível na profundidade 0-10 cm. Observando a microporosidade dos dois métodos, não há diferença estatística entre eles; por outro lado, a distribuição do tamanho de poros no herbicida pós-emergência é diferente da do herbicida pré-emergência. No método herbicida pós-emergência a quantidade de microporos com raio entre 24,23 μm (6 kPa) e 1,45 μm (100 kPa) é maior que no método herbicida pré-emergência, o que proporciona uma maior quantidade de água parcialmente disponível.

Na profundidade 10-20 cm (Figura 4.4) não houve diferença estatística entre os métodos avaliados para água parcialmente disponível, mas para água total disponível, apenas a enxada rotativa diferiu estatisticamente. Essa diferença pode ter sido motivada pela quebra da estrutura do solo, que resultou em uma microporosidade elevada em relação aos outros sistemas.

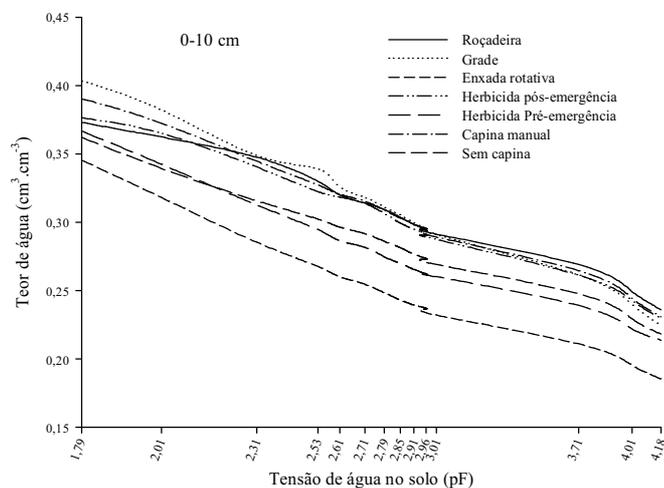


FIGURA 4.1 Curvas de retenção de água de um Latossolo Vermelho distroférrico submetido a diferentes métodos de controle de plantas daninhas na profundidade 0-10 cm.

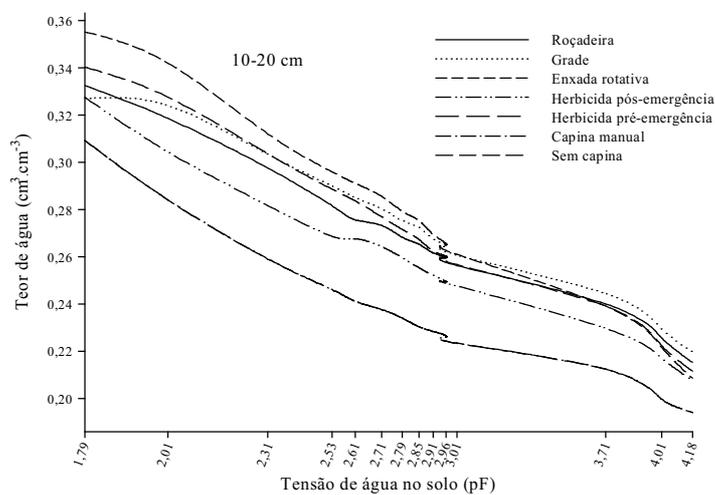


FIGURA 4.2 Curvas de retenção de água de um Latossolo Vermelho distroférrico submetido a diferentes métodos de controle de plantas daninhas na profundidade 10-20cm.

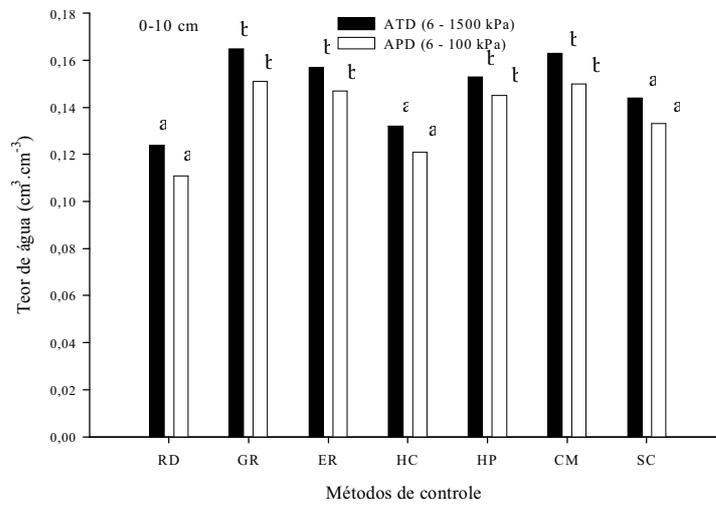


FIGURA 4.3 Água total disponível (ATD) e água parcialmente disponível (APD) sob diferentes métodos de controle de plantas daninhas na profundidade 0-10 cm.

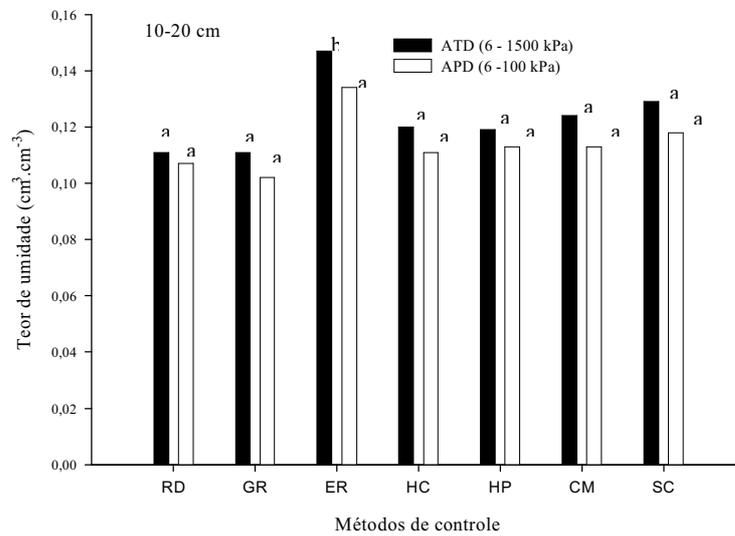


FIGURA 4.4 Água total disponível (ATD) e água parcialmente disponível (APD) sob diferentes métodos de controle de plantas daninhas na profundidade 10-20 cm.

4.3 Biomassa e Atividade microbiana

A respiração microbiana não diferiu estatisticamente entre os métodos de controle de plantas daninhas roçadeira, grade, enxada rotativa, herbicida pré-emergência e pós-emergência na profundidade 0-10 cm e também não houve diferença entre capina manual e sem capina (Tabela 4.2). Na profundidade 10-20 cm os métodos roçadeira, grade, enxada rotativa, herbicida pós-emergência e herbicida pré-emergência foram iguais estatisticamente e os métodos capina manual e sem capina foram diferentes entre si e dos outros sistemas de controle de plantas daninhas.

Nas duas profundidades a respiração foi maior nos métodos capina manual e sem capina, no qual a quantidade de substrato disponível é maior, o que influenciou na respiração (atividade) dos microrganismos. Observa-se, ainda, que o método herbicida pós-emergência apresentou respiração maior na profundidade 10-20 cm, o que pode ser devido à ação do herbicida na superfície do solo.

Nas profundidades 0-10 e 10-20 cm, a biomassa microbiana foi estatisticamente igual nos sistemas roçadeira, grade, enxada rotativa e capina manual (Tabela 4.2). Os outros sistemas foram estatisticamente diferentes entre si e dos demais sistemas. Assim como ocorreu com a respiração, a biomassa microbiana foi maior nos sistemas capina manual e sem capina. A biomassa microbiana é formada pela decomposição de compostos orgânicos presentes no solo e, em razão disso, sua quantidade total e fração ativa, segundo Moreira & Siqueira (2002), são determinadas em parte pela quantidade do substrato oxidável incorporado ao solo, originado das raízes, de restos culturais ou de qualquer outro tipo de resíduo orgânico.

O quociente metabólico (qCO_2) na profundidade 0-10 cm foi estatisticamente igual nos métodos de controle de plantas daninhas roçadeira, grade, enxada rotativa, herbicida pré-emergência e herbicida pós-emergência

(Tabela 4.2). Os métodos capina manual e sem capina não diferiram estatisticamente entre si, mas diferiram dos demais métodos de controle de plantas daninhas. Na profundidade 10-20 cm não houve diferença estatística entre os métodos herbicida pré-emergência, enxada rotativa e roçadeira; já os métodos grade, herbicida pós-emergência, capina manual e sem capina diferiram estatisticamente entre si e dos demais métodos de controle de plantas daninhas (Tabela 4.2).

Os menores valores de qCO_2 observados nos métodos podem estar relacionados à menor liberação de CO_2 para a atmosfera proveniente da decomposição e da maior incorporação do carbono nos tecidos microbianos. Os maiores valores desse quociente metabólico podem estar relacionados à maior atividade microbiana, possivelmente decorrente de maior disponibilidade de resíduos.

Na profundidade 0-10 cm, os maiores valores de qCO_2 foram observados nos métodos capina manual e sem capina (Tabela 4.2), o que pode estar relacionado à maior atividade decompositora da biomassa microbiana, com maior gasto energético e, conseqüentemente, menor eficiência para incorporar o carbono nos tecidos microbianos devido aos maiores teores de carbono orgânico do solo. Na profundidade 10-20 cm observa-se o mesmo comportamento da profundidade 0-10 cm, em que os métodos de controle de plantas daninhas capina manual e sem capina apresentaram os maiores valores de qCO_2 , também relacionados aos maiores teores de carbono orgânico.

Nas figuras 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8 observa-se que nas duas profundidades estudadas há uma correlação positiva entre diâmetro médio geométrico e respiração e também entre diâmetro médio geométrico e biomassa, indicando que a atividade microbiana influenciou na formação e estabilização dos agregados do solo.

TABELA 4.2 Quociente metabólico, respiração e biomassa microbiana sob diferentes métodos de controle de plantas daninhas.

Métodos de controle	Respiração	Biomassa	qCO_2
	$\mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{ de solo} \cdot \text{h}^{-1}$	$\text{mg C} \cdot \text{g}^{-1} \text{ solo seco}$	$\mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} / \text{mg C} \cdot \text{g}^{-1}$
Profundidade 0-10 cm			
RD	2,14 b	186,08 b	0,0115 b
GR	1,86 b	169,67 b	0,0110 b
ER	1,57 b	169,67 b	0,0093 b
HC	1,64 b	142,30 c	0,0115 b
HP	1,22 b	113,11 d	0,0108 b
CM	2,95 a	186,08 c	0,0159 a
SC	3,80 a	262,71 a	0,0145 a
Profundidade 10-20 cm			
RD	1,17 c	120,40 c	0,0097 d
GR	0,42 c	120,41 c	0,0035 e
ER	0,84 c	109,46 c	0,0110 d
HC	2,60 c	116,75 c	0,0168 c
HP	1,12 c	76,62 d	0,0102 d
CM	2,42 b	158,72 b	0,0208 b
SC	3,90 a	226,22 a	0,0324 a

qCO_2 : quociente metabólico; RD: roçadeira; GR: grade; ER: enxada rotativa; HC: herbicida pós-emergência; HP: herbicida pré-emergência; CM: capina manual; SC: sem capina. Médias seguidas por letras iguais na vertical dentro da mesma profundidade não diferem entre si pelo Teste de Scott Knott ($P < 0,05$).

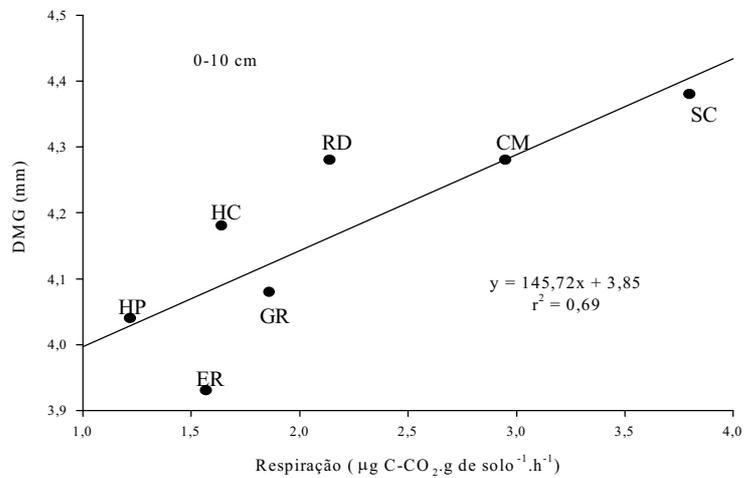


FIGURA 4.5 Relação entre diâmetro médio geométrico (DMG) de agregados e respiração em Latossolo Vermelho distroférico submetido a diferentes métodos de controle de plantas daninhas na profundidade 0-10cm

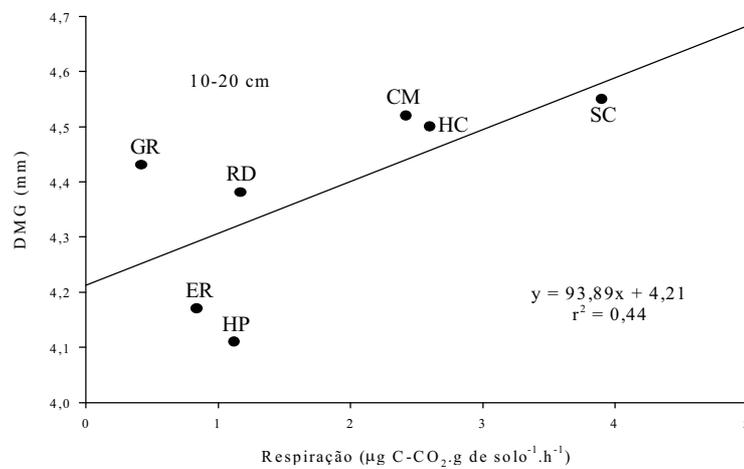


FIGURA 4.5 Relação entre diâmetro médio geométrico (DMG) de agregados e respiração em Latossolo Vermelho distroférico submetido a diferentes métodos de controle de plantas daninhas na profundidade 0-20cm

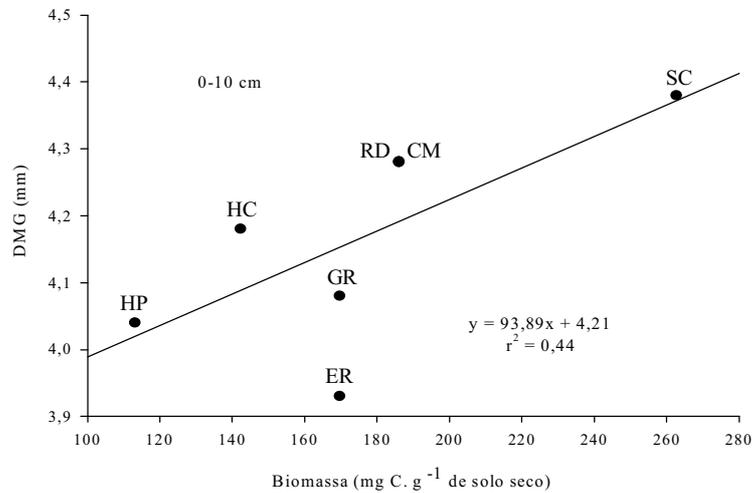


FIGURA 4.7 Relação entre diâmetro médio geométrico (DMG) de agregados e biomassa microbiana em Latossolo Vermelho distroférico submetido a diferentes métodos de controle de plantas daninhas na profundidade 0-10cm.

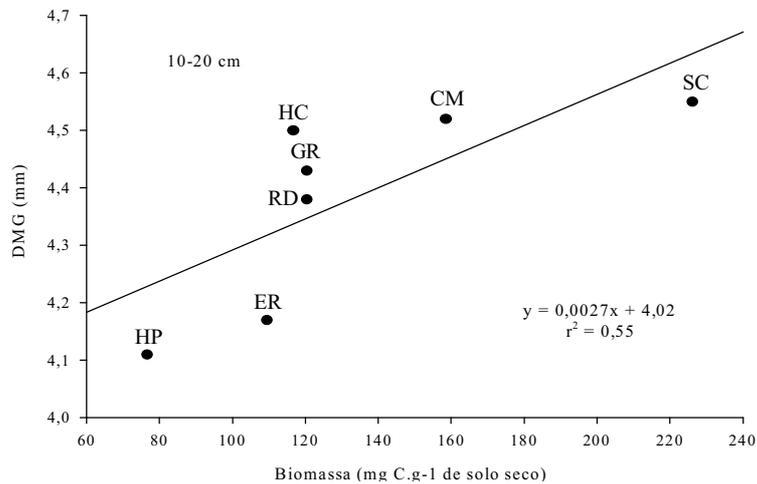


FIGURA 4.8 Relação entre diâmetro médio geométrico (DMG) de agregados e biomassa microbiana em Latossolo Vermelho distroférico submetido a diferentes métodos de controle de plantas daninhas na profundidade 10-20cm.

4.4 Agregação do solo

Na profundidade de 0-10 cm do solo não houve diferença estatística entre métodos de controle de plantas daninhas no que se refere aos valores de diâmetro médio geométrico.

Os maiores valores de diâmetro médio geométrico na profundidade 10-20 cm para os métodos sem capina, capina manual e roçadeira (Tabela 4.3) podem ser devidos ao não revolvimento em profundidade do solo, não promovendo, assim, a quebra dos agregados. A ação das raízes das plantas desempenha importante papel na formação e estabilização dos agregados do solo (Tisdall & Oades, 1979). Entretanto, pesquisadores têm destacado que as gramíneas perenes têm exercido maiores benefícios (Carpenedo & Mielniczuk, 1990; Paladini & Mielniczuk, 1991), conforme observações de campo onde a população de gramíneas era grande.

A enxada rotativa é um implemento que promove a quebra dos agregados do solo e esse tratamento apresentou o menor valor de diâmetro médio geométrico entre todos na profundidade 0-10 cm. A grade também promove a quebra dos agregados, mas não tanto quanto a enxada rotativa, o que pode ser observado no campo.

O controle de plantas invasoras com herbicidas em pré-emergência deixou a superfície do solo sem vegetação alguma, o que, pelo impacto das gotas de chuva, contribuiu para formação de uma crosta superficial. O mesmo foi observado por Cintra et al. (1983), motivados pela aplicação de diuron que provocou a exposição do solo pela ausência de vegetação, em trabalho realizado num pomar de laranjas submetido a diferentes práticas de cultivo durante 12 anos. No sistema em pós-emergência há vegetação, mas não uma boa massa vegetal, como nos outros sistemas. Apenas a presença de resíduos vegetais já foi suficiente para que o diâmetro médio geométrico do método com uso de herbicida pós-emergência na profundidade 10-20 cm fosse maior em relação ao

herbicida pré-emergência, influenciando também no teor de carbono orgânico (Tabela 4.3).

Na profundidade de 10-20 cm do solo houve diferença entre os métodos estudados (Tabela 4.3) para diâmetro médio geométrico. Observa-se que os métodos de controle de plantas daninhas com roçadeira, grade, herbicida pós-emergência, capina manual e sem capina não diferiram estatisticamente entre si, assim como não houve diferença entre enxada rotativa e herbicida em pré-emergência.

A matéria orgânica é considerada o principal agente de estabilização dos agregados do solo; espera-se, então, uma alta correlação em tratamentos com diferenças expressivas no teor de carbono orgânico do solo (Tisdall & Oades, 1982). Os efeitos positivos da matéria orgânica na agregação do solo também foram observados por Silva et al. (2000).

Na profundidade 0-10 cm observa-se que os métodos de controle de plantas daninhas enxada rotativa, herbicida pré-emergência e grade apresentaram os menores teores de carbono orgânico do solo e os menores valores de diâmetro médio geométrico (Figura 4.9), indicando, assim, que aumentos nos teores de carbono orgânico favoreceram a formação e estabilização dos agregados. Os métodos de controle herbicida pós-emergência, roçadeira, capina manual e sem capina apresentaram os maiores teores de carbono orgânico e os maiores valores de diâmetro médio geométrico. Observa-se, ainda, que a diferença encontrada para os valores de diâmetro médio geométrico entre os métodos também está relacionada à ação dos implementos que destroem os agregados, como ocorre na grade e na enxada rotativa.

Entre os métodos que fazem uso de herbicidas observa-se, na profundidade 10-20 cm (Figura 4.10), que o maior valor de diâmetro médio geométrico ocorreu no método herbicida pós-emergência, o que pode estar relacionado ao maior teor de carbono orgânico do solo e também à presença de

gramíneas que se desenvolvem e favorecem a formação de agregados devido ao seu sistema radicular.

O método herbicida em pré-emergência mantém a superfície do solo sem vegetação e, por conseguinte, não há formação de sistema radicular que possa influenciar a formação de agregados na profundidade 10-20 cm.

Entre os métodos de controle de plantas daninhas que promovem um revolvimento mais intenso do solo, como grade e enxada rotativa, observa-se que a enxada rotativa foi o método que mais favoreceu a quebra de agregados do solo (Figura 4.10). A grade também afeta a agregação do solo, mas não promove a quebra dos mesmos como a enxada rotativa.

Os valores de diâmetro médio geométrico na profundidade 10-20 cm (Tabela 4.3) foram maiores que na camada 0-10 cm para todos os sistemas avaliados.

Tomando como referência o método sem capina, todos os métodos de controle de plantas daninhas propiciaram valores de diâmetro médio geométrico menores na profundidade 10-20 cm do que na profundidade 0-10 cm (Tabela 4.3).

TABELA 4.3 Diâmetro médio geométrico e teor de carbono orgânico do solo em Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes métodos de controle de plantas daninhas. São Sebastião do Paraíso / MG.

Métodos de controle de plantas daninhas	DMG	C
	mm	g.kg ⁻¹
	Profundidade 0-10 cm	
RD	4,28 a	32,50 a
GR	4,08 a	27,33 b
ER	3,93 a	26,20 b
HC	4,18 a	32,53 a
HP	4,04 a	22,37 b
CM	4,28 a	33,50 a
SC	4,38 a	35,93 a
	Profundidade 10-20 cm	
RD	4,38 a	17,30 b
GR	4,43 a	17,30 b
ER	4,17 b	16,30 b
HC	4,50 a	17,80 b
HP	4,11 b	16,30 b
CM	4,52 a	20,73 b
SC	4,55 a	28,13 a

DMG: diâmetro médio geométrico; C: teor de carbono do solo; RD: roçadeira; GR: grade; ER: enxada rotativa; HC: herbicida pós-emergência; HP: herbicida pré-emergência; CM: capina manual; SC: sem capina. Médias seguidas por letras iguais na vertical dentro da mesma profundidade não diferem entre si pelo Teste de Scott Knott ($P < 0,05$).

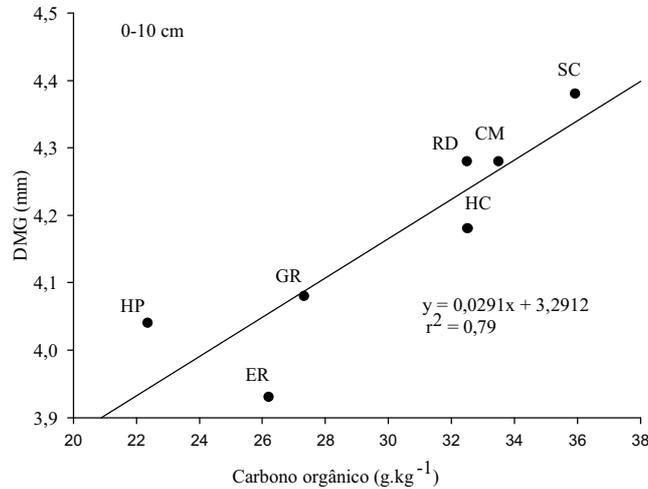


FIGURA 4.9 Relação entre diâmetro médio geométrico de agregados (DMG) e carbono orgânico em Latossolo Vermelho distroférico submetido a diferentes métodos de controle de plantas daninhas na profundidade 0-10cm.

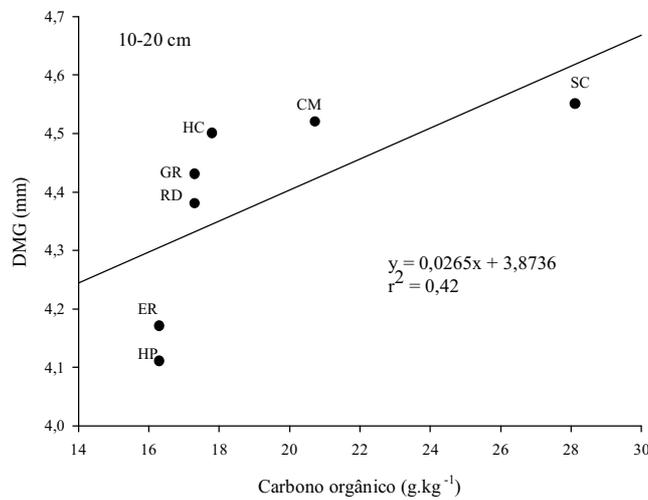


FIGURA 4.10 Relação entre diâmetro médio geométrico de agregados (DMG) e carbono orgânico em Latossolo Vermelho distroférico submetido a diferentes métodos de controle de plantas daninhas na profundidade 10-20cm.

4.5 Estoque de carbono do solo

Considerando a profundidade 0-20 cm (Figura 4.11), os métodos de controle de plantas daninhas roçadeira (RD), grade (GR), enxada rotativa (ER), herbicida pré-emergência (HP), herbicida pós-emergência (HC) e capina manual (CM) foram estatisticamente iguais entre si e diferiram do método sem capina (SC).

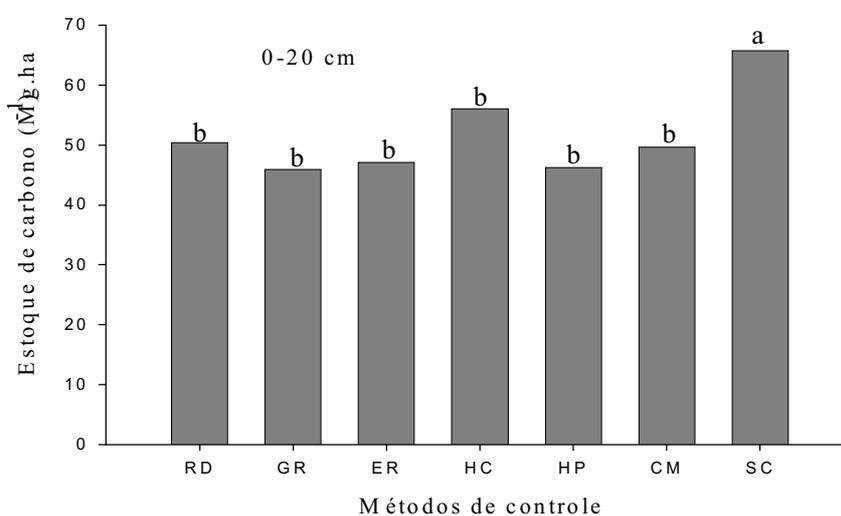


FIGURA 4.11 Estoque de carbono sob diferentes métodos de controle de plantas daninhas na profundidade 0-20 cm.

Houve uma redução no estoque de carbono em todos os métodos, roçadeira, grade, enxada rotativa, herbicida pré-emergência e capina manual, em relação ao método controle sem capina, indicando a influência desses métodos na manutenção do carbono no solo, ou seja, há uma perda de carbono do solo para a atmosfera.

Comparando os métodos herbicida pós-emergência e herbicida pré-emergência, observa-se uma diferença nos estoques de carbono, cujo motivo principal é a menor quantidade de resíduos vegetais que são adicionados ao solo no método herbicida pré-emergência, como observado em campo.

A utilização de implementos como a grade pesada ocasiona quebra dos agregados do solo, expondo a matéria orgânica ao ataque dos microrganismos e causando, como consequência, a perda do carbono do solo (Resck et al. 1991, e Resck 1993). Esse fenômeno foi observado entre os métodos de controle de plantas daninhas, em que a grade apresentou o menor estoque de carbono.

4.6 Fracionamento físico densimétrico matéria orgânica do solo

A fração leve (FL) corresponde à matéria orgânica do solo (MOS) livre e não complexada, também denominada, segundo Silva & Resck (1997), de matéria macroorgânica, e constitui um dos menores compartimentos da MOS morta. Os teores de C nessa fração, segundo Janzen et al. (1992), variam com o tipo de solo, o clima e as práticas de manejo adotadas, sendo o tempo de ciclagem do carbono associado à fração leve (C-FL) menor do que o da MOS. A FL é quimicamente parecida com o líter (serapilheira) e tem, em geral, uma taxa de decomposição muito alta.

Os teores de carbono da fração leve nas profundidades 0-10 e 10-20 cm dos métodos de controle de plantas daninhas e a distribuição nos três tamanhos de agregados avaliados (7,93-4,0 mm, 4,0-2,0 mm e < 2 mm) são apresentados na Tabela 4.4.

O método de controle de plantas daninhas com uso de herbicida em pré-emergência apresentou praticamente o mesmo teor de carbono nos três tamanhos de agregados para a profundidade 0-10 cm. A roçadeira e a capina manual também apresentaram o mesmo comportamento.

TABELA 4.4 Teores de carbono nas frações orgânicas de três diferentes tamanhos de agregados (7,93-4,00 mm, 4,00-2,00 mm e < 2,00 mm) sob diferentes métodos de controle de plantas daninhas.

Métodos de controle	Profundidade 0-10 cm					
	7,93-4,00 mm		4,00-2,00 mm		< 2,00 mm	
	FL ⁽¹⁾	FP ⁽²⁾	FL	FP	FL	FP
RD	1,378 a	12,02 d	1,187 a	17,91 a	1,282 b	12,32 a
GR	1,279 a	16,02 b	1,360 a	17,25 a	2,072 a	18,44 a
ER	0,961 b	14,19 c	1,665 a	15,40 a	1,080 c	17,03 a
HC	0,792 b	16,67 b	1,163 a	18,29 a	1,349 b	15,41 a
HP	1,011 b	14,61 c	1,175 a	18,31 a	0,944 b	16,86 a
CM	1,054 b	14,82 c	1,252 a	17,27 a	1,301 b	18,20 a
SC	1,243 a	19,15 a	1,461 a	19,10 a	1,096 c	22,82 a

Métodos de controle	Profundidade 10-20 cm					
	7,93-4,00 mm		4,00-2,00 mm		< 2,00 mm	
	FL	FP	FL	FP	FL	FP
RD	0,264 b	13,80 a	0,864 b	12,15 a	0,949 a	14,20 a
GR	0,842 a	15,24 a	1,266 a	13,80 a	0,611 b	15,45 a
ER	0,250 b	14,42 a	0,623 b	14,76 a	0,609 b	16,06 a
HC	1,060 a	13,59 a	0,104 c	15,45 a	0,814 a	13,38 a
HP	0,190 b	11,43 b	0,606 b	10,30 a	0,162 c	11,53 a
CM	0,413 b	12,97 a	0,296 c	12,04 a	0,392 c	11,73 a
SC	0,274 b	10,50 b	0,198 c	9,88 a	0,639 b	13,25 a

RD: roçadeira; GR: grade; ER: enxada rotativa; HC: herbicida pós-emergência; HP: herbicida pré-emergência; CM: capina manual; SC: sem capina. ⁽¹⁾ Fração Leve; ⁽²⁾ Fração Pesada. Médias seguidas por letras iguais na vertical dentro da mesma profundidade não diferem entre si pelo Teste de Scott Knott ($P < 0,05$).

O herbicida em pós-emergência apresentou um aumento nos teores de carbono dos agregados maiores (7,93-4,0 mm) para os menores (< 2,0 mm), ou seja, a fração leve foi maior nos dois sistemas nos agregados < 2,0 mm.

A grade teve o maior teor de carbono da fração leve nos agregados < 2,0 mm. A enxada rotativa, herbicida pós-emergência, herbicida pré-emergência e capina manual foram maiores nos agregados de 4,0-2,0 mm e menores nos agregados de 7,93-4,0 mm. No método sem capina, o teor foi maior nos agregados de 7,93-4,0 mm e 4,0-2,0 mm.

Esses comportamentos mostram que os métodos de controle de planta daninha influenciam de forma diferente o teor de carbono da fração leve nos diferentes tamanhos de agregado. Métodos como a grade e a enxada rotativa, por favorecerem a quebra dos agregados, influem na taxa de decomposição dessa fração orgânica e, assim, o teor é maior nos agregados menores. Para outros métodos, como herbicida pré-emergência, roçadeira e capina manual, que não promovem o revolvimento intenso do solo, a distribuição da fração leve entre os diferentes tamanhos de agregado é mais ou menos uniforme, ou seja, a decomposição do carbono orgânico não é tão favorecida.

Os métodos roçadeira, grade e sem capina apresentaram os maiores teores de carbono da fração leve nos agregados de 7,93-4,0 mm e 4,0-2,0 mm, o que é motivado pelo não revolvimento do solo e pelo aporte de resíduos na superfície do solo.

Os maiores teores de carbono da fração leve ocorreram na camada superficial do solo, mais afetada pelos diferentes sistemas de manejo. Observa-se, na profundidade 10-20 cm (Tabela 4.4), um teor mais elevado do teor de carbono nos tamanhos 7,93-4,00 mm e 4,00-2,00 mm para o método grade, o que pode estar associado com a incorporação dos resíduos depositados na camada superficial, mesmo sendo a grade um implemento que trabalha em profundidades menores.

A fração pesada se associa aos minerais do solo e apresenta grau avançado de decomposição e densidade mais elevada que a fração leve, contribuindo com a maioria do carbono presente nos solos, englobando frações quimicamente mais estáveis, portanto mais recalcitrantes (Christensen, 1992), com uma taxa de decomposição muito baixa.

Em experimento realizado em Latossolo Vermelho-Amarelo, verificou-se que a fração pesada da matéria orgânica do solo contribuiu com cerca de 70-80% do carbono total em solo sob cerrado, esta contribuição foi ainda maior em solos cultivados, passando a representar mais de 90% da matéria orgânica do solo (Freixo et al., 2002). Nos métodos de controle de plantas daninhas o comportamento não foi diferente, a contribuição da fração pesada da matéria orgânica do solo para o carbono total do solo foi de mais de 90% nas duas profundidades avaliadas, mostrando-se pouco afetada em razão dos diferentes sistemas de manejo.

5 CONCLUSÕES

Na profundidade de 0-10 cm do solo não houve diferença estatística entre métodos de controle de plantas daninhas no que se refere aos valores de diâmetro médio geométrico.

Em ambas as profundidades, a enxada rotativa foi o método que apresentou o menor diâmetro médio geométrico, enquanto o método sem capina proporcionou o maior valor de diâmetro médio geométrico.

A atividade microbiana representada pela biomassa e a respiração influenciaram positivamente a formação e estabilização dos agregados do solo.

A fração pesada contribuiu com mais de 90% para a matéria orgânica do solo nas duas profundidades avaliadas, mostrando-se pouco afetada em razão dos diferentes métodos de controle de plantas daninhas.

Houve uma redução no estoque de carbono em todos os sistemas em relação ao método controle sem capina.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E.; REDELL, J.; PETRERE, C.; FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 115-119, jan./abr. 1995.

ALISSON, F. E. A factor in soil aggregation and root development. In: **Soil organic matter and its role in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1973. p. 315-345.

ALISSON, F. E. Soil aggregation - some facts and fallacies as seen by a microbiologist. **Soil Science**, Baltimore, v. 106, n. 2, p. 136-144, 1968.

ANDERSON, J. M.; FLANAGAN, P. W. Biological process regulating organic matter dynamics in tropical soils. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu, Hawaii, USA: University of Hawaii Press, 1989. p. 97-132.

ASSIS, R. L. de; LANÇAS, K. L. Avaliação da compressibilidade de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 29, n. 4, p. 507-514, jul./ago. 2005.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Física de suelos**. México: Centro Regional de Ayuda Técnica, 1973.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Soil physics**. New York: J. Wiley, 1972. 498 p.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Particle density. In: **Methods of soil analysis**. Part 1. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 377-382.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades do solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Ed. Freitas Bastos, 1989. 898 p.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELI, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um latossolo vermelho escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de

solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 121-126, jan./abr. 1995.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUCK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 99-105, jan./abr. 1990.

CASTRO, O. M.; VIEIRA, S. R.; MARIA, I. C. Sistemas de preparo do solo e disponibilidade de água. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, 1987, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 27-51.

CHRISTENSEN, B. T. Carbon in primary and secondary organo-mineral complexes. In: CARTER, M. R.; STWART, B. A. (Ed.). **Structure and organic matter storage in agricultural soil**. Boca Raton: CRC, 1996. p. 97-165. (Advances in Soil Sciences)

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Sciences**, New York, v. 20, p. 1-90, 1992.

CINTRA, F. L. D.; COELHO, Y. da S.; CUNHA SOBRINHO, A. P.; PASSOS, O. S. Caracterização física do solo submetido a práticas de manejo em pomar de laranja “baianinha”. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 2, p. 173-179, fev. 1983.

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

DA ROS, C. O.; SECCO, D.; FIORIN, J. E.; PETRERE, C.; CADORE, M. A.; PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 241-247, abr./jun. 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Ministério da Agricultura. Centro Nacional de Levantamento de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FREITAS JR, E. de; SILVA, E. M. da Uso da centrífuga para a determinação da curva de retenção de água do solo, em uma única operação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 11, pp. 1423-1428, nov. 1984.

FREIXO, A. A. et al. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo de cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 425-434, abr./jun. 2002.

HAYNES, R. J.; SWIFT, R. S. Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 41, n. 1, p. 73-83, Mar. 1990.

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**, Campinas, v. 23, n. 1, p. 145-154, jan./mar. 1999.

HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. New York: Academic Press, 1982. 364 p.

JANZEN, H. H.; CAMPBELL, C. A.; BRANDT, S. A.; LAFOND, G. P. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 6, p. 1799-1806, Nov./Dec. 1992.

HOUGHTON, R. A.; DAVIDSON, E. A.; WOODWELL, G. M. Missing sinks, feedbacks and understanding the role of terrestrial ecosystems in the global carbon balance. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 12, p. 25-34, 1998.

HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: EMBRAPA, 1994. 542 p.

KEMPER, W. D. Aggregate stability. In: **Methods of soil analysis**. Part 1. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 425-442.

LAL, R. Residue management conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 43, n. 1/2, p. 81-107, Nov. 1997.

LOPES, A. S.; COX, F. R. A survey of the fertility status of surface soils under "Cerrados" vegetation in Brazil. **Soil Science of America Journal**, Madison, v. 41, n. 4, p. 742-747, July/Aug. 1977.

LYNCH, J. M.; BRAGG, E. Microorganisms and Soil Aggregate Stability. **Advances in Soil Science**, New York, v. 2, p. 133-171, 1985.

MACHADO, T. A.; SOUZA, D. M. P. e BRUM, A. C. R. Efeito de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 2, n. 3, p. 187-189, set./dez. 1981.

MAZURAK, A. P. Effect of gaseous phase on water-stable synthetic aggregates. **Soil Science**, Baltimore, v. 69, n. 2, p. 135-148, 1950.

MEURER, E. J. Fundamentos de química do solo. Porto Alegre: Gênese, 2000. 174 p.

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

NASCIMENTO, E. J. **Dinâmica da matéria orgânica em um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico fase Cerrado, submetido a diferentes sistemas de preparo do solo**. 1989. 70 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

OADES, J. M. The retention of organic matter in soils. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 5, n. 1, p. 35-70, 1988.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant Soil**, The Hague, v. 76, n. 1/3, p. 319-337, 1984.

OADES, J. M.; GILLMANN, G. P.; UEHARA, G. Interactions of soil organic matter and variable-charge clays. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu, Hawaii, USA: University of Hawaii Press, 1989. p. 97-132.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Caracterização química e físico hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 327-336, mar./abr. 2004.

OLIVEIRA, J. B. de.; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. **Classes Gerais de solos do Brasil**. 2. Ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992.

- PALADINI, F. L. dos S.; MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-Escuro afetado por sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 2, p. 135-140, maio/ago. 1991.
- RESCK, D. V. S. Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo. In: **Encontro Nacional de Rotação de Culturas**, 2., 1992, Campo Mourão. **Anais. . .** Campo Mourão: AEACM, 1993. p. 117-143.
- RESCK, D. V. S.; PEREIRA, J.; SILVA, J. E. da. **Dinâmica da matéria orgânica na região dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1991. 22 p. (EMBRAPA-CPAC. Documentos, 36).
- RESENDE, M.; KER, J. C.; BAHIA, A. F. C. Desenvolvimento sustentável do Cerrado. In: ALVARES, V. H. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável**. Viçosa: SBCS, 1996. p. 169-199. (Congresso Brasileiro de Ciência do Solo).
- ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. de A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: EMBRAPA-CPAO/CNPQ, 2002. 86 p.
- SANCHEZ, P. A.; PALM, C. A.; SZOTT, L. T.; CUEVAS, E.; LAL, R. Organic input management in tropical agroecosystems. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu, Hawaii, USA: University of Hawaii Press, 1989. p. 125-171.
- SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. 508 p.
- SANTOS, M. N. **Influência de diferentes sistemas de manejo nos teores de carbono orgânico e nutrientes e no tamanho e distribuição de poros em um Latossolo Vermelho-escuro argiloso na Região dos Cerrados**. 1997. 133 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília.
- SHANG, C.; TIESSEN, H. Organic matter lability in a tropical oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, densityic fractionations. **Soil Science**, Baltimore, v. 162, n. 11, p. 795-807, Nov. 1997.
- SILVA, C. A.; MACHADO, P. L. O. de A. **Seqüestro e emissão de carbono em ecossistemas agrícolas – estratégias para o aumento dos estoques de**

matéria orgânica em solos tropicais. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 23 p. (Embrapa Solos. Documentos, n. 19).

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 113-117, jan./mar. 1997.

SILVA, J. E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região dos cerrados do oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 3, p. 541-547, set./dez. 1994.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M. T.; HUNGRIA, M. (Ed.). **Biologia dos solos dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. p. 465-524.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 12, p. 2485-2492, dez. 2000.

SILVEIRA, G. M. da; KURACHI, S. A. H. **Métodos de cultivo em cafezal e a estrutura do solo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1981. 9 p. (Boletim Técnico, 70)

SOHI, S. P.; MAHIEU, N.; ARAH, J. R. M.; POWLSON, D. S.; MADARI, B.; GAUNT, J. L. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 65, n. 4, p. 1121-1128, July/Aug. 2001.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Introduction to statistics**. New York: McGRAW-HILL, 1976. 382 p.

STEVENSON, J. **Humus chemistry**. 2. ed. New York: Wiley, 1994.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition and reactions**. New York, 1982. 443 p.

SWIFT, R. S. Effects of humic substances and polysaccharides on soil aggregation. In: WILSON, W. S. (Ed.). **Advances in soil organic matter research**. Cambridge: Royal Society Chemistry. 1991. p. 153-162.

SWIFT, R. S. Sequestration of carbon by soil. **Soil Science**, Baltimore, v. 166, n. 11, p. 858-871, Nov. 2001.

TESTA, V. M.; TEIXEIRA, L. A. J.; MIELNICZUK, J. Características químicas de um Podzólico Vermelho-Escuro afetadas por sistema de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, n. 1, p. 107-114, jan./abr. 1992.

THENG, B. K. G.; KEVIN, R. T.; SOLLINS, P. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu, Hawaii, USA: University of Hawaii Press, 1989. p. 5-32.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. The effect of crop rotation on aggregation in a red-brown earth. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 18, n. 4, p. 423-433, 1980a.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. The management of ryegrass to stabilize aggregates of a red-brown earth. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria v. 18, n. 4, p. 415-422, 1980b.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal Soil Science**, London, v. 33, n. 2, p. 141-163, June 1982.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 17, n. 3, p. 429-441, 1979.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

YEOMANS, A.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 19, n. 14, p. 1467-1476, 1988.

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