

**ESTOQUE E FRAÇÕES DA MATÉRIA  
ORGÂNICA E SUAS RELAÇÕES COM O  
HISTÓRICO DE USO E MANEJO DE  
LATOSSOLOS**

**OTACILIO JOSÉ PASSOS RANGEL**

**2006**

**OTACILIO JOSÉ PASSOS RANGEL**

**ESTOQUE E FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA E SUAS  
RELAÇÕES COM O HISTÓRICO DE USO E MANEJO DE  
LATOSSOLOS**

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 a obtenção do título de “Doutor”.

Orientador

Prof. Dr. Carlos Alberto Silva

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2006

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

Rangel, Otacilio José Passos

Estoque e frações da matéria orgânica e suas relações com o histórico de uso e manejo de Latossolos / Otacilio José Passos Rangel. -- Lavras : UFLA, 2006.

171 p. : il.

Orientador: Carlos Alberto Silva

Tese (Doutorado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Solos. 2. Manejo. 3. Matéria orgânica. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-631.86

**OTACILIO JOSÉ PASSOS RANGEL**

**ESTOQUE E FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA E SUAS  
RELAÇÕES COM O HISTÓRICO DE USO E MANEJO DE  
LATOSSOLOS**

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

**APROVADA em 19 de julho de 2006**

Prof. Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto  
Prof. Dr. Ruy Carvalho  
Pesq. Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães  
Prof. Dr. Luciano Pasqualoto Canellas

UFLA/DCS  
UFLA/DQI  
EPAMIG/ CTSM  
UENF/LSOL

Prof. Dr. Carlos Alberto Silva  
UFLA/DCS  
(Orientador)

LAVRAS

MINAS GERAIS – BRASIL

A Deus, meu refúgio e minha paz.  
Ao meu avô Otacílio (*In memoriam*), exemplo de dignidade e sabedoria,

## **OFEREÇO**

Aos meus pais, José Bodart Rangel e Gilda Ribeiro Passos, pelo apoio nas diversas etapas desta caminhada.

Aos meus irmãos, Charles, Rafael, Thiago e Thialy.

A minha avó Ruth, querida e tão especial.

A Kênia, pelo amor e companheirismo.

A Isabella, minha flor e fonte de motivação.

## **DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade de realização do doutorado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento/Café (*Projeto 19.2003.133.03*) e à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) (*EDT 2222/2003*), pela concessão do fomento utilizado no custeio das ações de pesquisa. Agradeço também à equipe da Estação Experimental da Epamig-Machado, MG, representados aqui pelo senhor Gilmar José Cereda, pelo apoio na manutenção e na condução do estudo a campo e ajuda constante na coleta das amostras de solo.

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Silva, meu orientador, pelo incentivo, amizade e ensinamentos, tanto para minha vida profissional como pessoal.

A todos os professores do Departamento de Ciência do Solo, pelos conhecimentos transmitidos e pela atenção em todos os momentos.

Aos membros da banca, Prof. Carlos Alberto Silva, Prof. Antônio Eduardo Furtini Neto, Prof. Ruy Carvalho, Pesq. Paulo Tácito Gontijo Guimarães e ao Prof. Luciano Pasqualoto Canellas, pelas críticas e sugestões apresentadas para a melhoria deste trabalho.

A Renato Ribeiro Passos, tio, amigo, irmão mais velho e espelho de vida, pelo incondicional incentivo durante todo esse período.

Aos meus sogros, José Maria e Dilza.

Aos cunhados e cunhadas: Dehon e Rosalva, Ana Isa e Evandro, Cristina e Murilo, Flávio e Fábio.

Aos amigos Alexandre D'Andréa, Antônio Claret, Bruno Dias, Carolina Botrel, Cleverton, Cristiano Tagliaferre, Daniela Zuliane, Edilene, Emanuelle,

Gionanni Gracia, Giuliano Marchi, José Geraldo, José Roberto, Mari, Orlando, Regina, Sandro Hurtado, Tobias, Tullio e tantos outros, pela convivência.

Aos amigos e estudantes Leônidas, Máisa e Gabriel, pela ajuda indispensável na condução do experimento.

A todos os funcionários do Departamento de Ciência do Solo, em especial a José Roberto Fernandes (Pezão), Roberto, Manoel, Joyce, Maria Alice, Leninha e Emerson, pelo auxílio imprescindível nas atividades do doutorado.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão desta importante caminhada.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
LISTA DE ABREVIATURAS.....	i
RESUMO GERAL.....	iii
GENERAL ABSTRACT.....	v
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	1
Introdução geral.....	1
Referências bibliográficas.....	6
<b>CAPÍTULO 2: Carbono e nitrogênio e suas relações com os espaçamentos de plantio de cafeeiros</b> .....	9
Resumo.....	9
Summary.....	10
Introdução.....	11
Material e métodos.....	14
Caracterização da área experimental.....	14
Instalação e condução do experimento.....	15
Amostragem do solo e preparo das amostras.....	16
Análises microbiológicas e químicas.....	18
Carbono da biomassa microbiana.....	18
Carbono .....	19
Nitrogênio total.....	19
Análise estatística.....	20
Resultados e discussão.....	20
Teores de carbono e nitrogênio total.....	20
Carbono da biomassa microbiana.....	26
Conclusões.....	32
Literatura citada.....	32
<b>CAPÍTULO 3: Frações oxidáveis do carbono de Latossolo cultivado com cafeeiros em diferentes espaçamentos de plantio</b> .....	38
Resumo.....	38
Abstract.....	39
Introdução.....	40
Material e métodos.....	45
Resultados e discussão.....	49
Conclusões.....	60
Referências bibliográficas.....	61



<b>CAPÍTULO 4:</b> Estoque e frações da matéria orgânica de Latossolo cultivado com cafeeiros em diferentes espaçamentos de plantio.....	64
Resumo.....	64
Abstract.....	65
Introdução.....	66
Material e métodos.....	70
Resultados e discussão.....	73
Estoques de carbono e nitrogênio.....	73
Fracionamento físico da matéria orgânica.....	80
Conclusões.....	87
Literatura citada.....	88
<b>CAPÍTULO 5:</b> Teor e grau de oxidação do carbono e suas relações com o uso e manejo de Latossolo.....	93
Resumo.....	93
Abstract.....	94
Introdução.....	95
Material e métodos.....	100
Características do solo e sistemas de manejo em estudo.....	100
Amostragem do solo e análises químicas.....	101
Análise estatística.....	105
Resultados e discussão.....	105
Teor de carbono.....	105
Fracionamento do carbono por grau de oxidação.....	110
Conclusões.....	118
Referências.....	119
<b>CAPÍTULO 6:</b> Fracionamento físico da matéria orgânica e estoques de carbono e nitrogênio de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo.....	125
Resumo.....	125
Summary.....	126
Introdução.....	127
Material e métodos.....	131
Resultados e discussão.....	135
Estoques de carbono e nitrogênio.....	135
Fracionamento físico da matéria orgânica.....	141
Carbono da biomassa microbiana.....	147
Conclusões.....	152
Literatura citada.....	153
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	160
ANEXOS.....	162

## LISTA DE ABREVIATURAS

$\Delta\text{EstC}$	Varição no estoque de carbono do solo
C	Carbono
C/N	Relação entre o carbono e o nitrogênio total
C-areia	Carbono associado à fração areia
C-argila	Carbono associado à fração argila
C-argila+silte	Carbono associado à fração argila+silte
CBB	Carbono de baixa biodisponibilidade
C-CO <sub>2</sub>	Carbono evoluído na forma de dióxido de carbono
CF	Carbono oxidável da amostra fumigada
CF <sub>1</sub>	Carbono associado à fração de oxidação F <sub>1</sub>
CF <sub>1</sub> /C	Relação entre o carbono na fração F <sub>1</sub> e o carbono total
C <sub>FL</sub>	Carbono associado à fração leve
C <sub>FL</sub> /C	Relação entre o carbono associado à fração leve e o carbono total
C <sub>FP</sub>	Carbono associado à fração pesada
C <sub>mic</sub>	Carbono associado à biomassa microbiana
C <sub>mic</sub> /C	Relação entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono total
C <sub>mic</sub> /C <sub>FL</sub>	Relação entre carbono da biomassa microbiana e carbono associado à fração leve
CNF	Carbono oxidável da amostra não-fumigada
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
C-silte	Carbono associado à fração silte
D <sub>s</sub>	Densidade do solo
E	Espessura da camada de solo
EL	Entrelinhas
EUC	Eucalipto
F <sub>1</sub>	Fração do C extraída em solução de 3 mol L <sup>-1</sup> de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
F <sub>2</sub>	Diferença do C oxidado por K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> em meio ácido com 6 e 3 mol L <sup>-1</sup> de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
F <sub>3</sub>	Diferença do C oxidado por K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> em meio ácido com 9 e 6 mol L <sup>-1</sup> de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
F <sub>4</sub>	Diferença do C oxidado por K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> em meio ácido com 12

	e 9 mol L <sup>-1</sup> de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
FL	Fração leve da matéria orgânica
FP	Fração pesada da matéria orgânica
GBC	Grau de biodisponibilidade do carbono
IBC	Índice de biodisponibilidade do carbono
ICC	Índice de compartimento de carbono
ICO	Índice de carbono orgânico
K <sub>ec</sub>	Fator de conversão do C extraído em carbono microbiano
MCM	Milho cultivado no sistema de cultivo mínimo
MOS	Matéria orgânica do solo
MPC	Milho cultivado no sistema de plantio convencional
MTN	Mata nativa
NT	Nitrogênio total
PAS	Pastagem
PC	Projeção das copas
Pg	Petagrama (10 <sup>15</sup> g)
PIN	Pinus
TFSA	Terra fina seca ao ar

## RESUMO GERAL

RANGEL, Otacilio José Passos. **Estoque e frações da matéria orgânica e suas relações com o histórico de uso e manejo de Latossolos**. 2006. 171 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.<sup>1</sup>

Em áreas cultivadas, a redução no estoque de matéria orgânica do solo (MOS) gira em torno de 50%, muitas vezes, num período de retirada da vegetação nativa e cultivo subsequente inferior a 10 anos. As práticas de uso e manejo do solo exercem grande influência sobre os estoques e as frações da MOS, uma vez que a cobertura vegetal e o revolvimento modificam as adições e perdas de carbono do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar os estoques e frações da matéria orgânica de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de uso e manejo no Sul de Minas Gerais. Em Lavras, MG, foram avaliados seis sistemas de uso e manejo do solo: mata (MTN), eucalipto (EUC), pinus (PIN), pastagem (PAS), milho no sistema de cultivo mínimo (MCM) e milho no sistema de plantio convencional (MPC). Além disso, foram amostradas parcelas de um experimento (11 anos de implantação) localizado em uma área da Fazenda Experimental da Epamig (Machado, MG), com o objetivo de avaliar a influência de densidades de plantio (12 tratamentos) sobre a produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). Nesse experimento, as amostras de solo foram coletadas em dois locais de cada parcela experimental: nas entrelinhas (EL) e na projeção das copas (PC) dos cafeeiros. Nas amostras de solo coletadas nos diferentes sistemas de uso e manejo dos Latossolos, foram determinados os teores e estoques de carbono (C) e nitrogênio total (NT), o carbono da biomassa microbiana do solo (Cmic), o grau de oxidação do C e realizado o fracionamento físico da MOS. O adensamento das plantas na lavoura cafeeira não assegurou um maior armazenamento de MO no solo, na medida em que os maiores teores

---

<sup>1</sup> Comitê Orientador: Prof. Carlos Alberto Silva - UFLA (Orientador), Antônio Eduardo Furtini Neto - UFLA, Ruy Carvalho - UFLA, Paulo Tácito Gontijo Guimarães – EPAMIG e Luciano Pasqualoto Canellas - UENF.

e estoques de C e NT foram verificados nos tratamentos referentes ao espaçamento de 3,5 metros entre as linhas dos cafeeiros. O manejo menos conservacionista do solo nas áreas cultivadas com milho (MCM e MPC) no município de Lavras causou um rápido declínio nos teores e estoques de C e NT do solo. Os teores de C e NT tenderam a aumentar nos locais ou sistemas com maior aporte de resíduos vegetais, com as diferenças entre os tratamentos ocorrendo, principalmente, nas camadas superficiais do solo. O adensamento de plantio foi eficiente em aumentar os teores e a proporção de C<sub>mic</sub> do solo, principalmente na EL dos cafeeiros, onde os maiores teores C<sub>mic</sub> ocorreram nos tratamentos referentes aos espaçamentos de 2 e 2,5 metros entre as linhas. Nos dois Latossolos avaliados, a maior proporção do C do solo esteve associada às frações de elevada oxidação (F<sub>1</sub> e F<sub>2</sub>). A cobertura vegetal influenciou o grau de oxidação do C, onde as formas menos oxidáveis predominaram nos sistemas sob vegetação natural. O fracionamento físico da matéria orgânica revelou uma elevada redução no C associado à fração leve com o cultivo do solo, o qual representou de 1,1 a 16,4% do C total presente nos dois Latossolos avaliados. Os resultados alcançados permitem classificar o C<sub>mic</sub>, o C na fração leve e o C na fração F<sub>1</sub> como índices mais adequados do que o C total para se avaliar mudanças na MOS, em função da adoção de diferentes sistemas de uso e manejo do solo.

## GENERAL ABSTRACT

RANGEL, Otacilio José Passos. **Organic matter storage and fractions and the historic of Latosol use and management**. 2006. 171 p. Thesis (Doctorate on Soils and Plant Nutrition) - Federal University of Lavras, Minas Gerais, Brazil.<sup>1</sup>

In cultivated areas, the reductions in the storage of soil organic matter (SOM) in average are 50%, in a period of cutting of the native vegetation and subsequent cultivation inferior to 10 years. The soil use and management practices exercise great influence on the MOS storage and fractions, since the vegetable covering and the soil management they modify the additions and the losses of the soil carbon. This study was carried out to evaluate organic matter storage and fractions of typic dystroferric Red Latosol (Oxisol) submitted to different use and management systems, in the south of the Minas Gerais state, Brazil. In Lavras, MG, six use and management systems were sampled: forest native (MTN), eucalyptus (EUC), pinus (PIN), pasture (PAS), corn in the minimum tillage system (MCM) and corn in the conventional tillage system (MPC). It was also sampled plots of one experiment (11 years of implantation) in an area of Experimental Farm of EPAMIG, in Machado (Minas Gerais State-Brazil), with the objective of evaluated the influence of planting densities (12 treatments) on the productivity of coffee plants (*Coffea Arabica* L.). In that experiment, the soil samples were collected in the interline (IL) and in the canopy projection (CP) of coffee plants. These soil samples were were used to determine the content and stocks of carbon (C) and total nitrogen (TN), C-microbial biomass (Cmic), degree of oxidation of C and physical fractionation of SOM. The experimental results have revealed that the variation in the distance between on line and another of coffee plants was not efficient in changing the C

---

<sup>1</sup> Guidance Committe: Prof. Carlos Alberto Silva - UFLA (Adviser), Antônio Eduardo Furtini Neto - UFLA, Ruy Carvalho - UFLA, Paulo Tácito Gontijo Guimarães – EPAMIG and Luciano Pasqualoto Canellas - UENF.

and NT contents and storage. The largest contents of C and NT were observed in the treatments related to the space of 3.5 meters among the coffee plant rows. The cultivation of corn (MCM e MPC) in Lavras caused a fast decline in the soil C and NT contents and storage. The C and NT contents tended to increase soil samples or systems with larger entrance of vegetable residues, and the highest differences among treatments happening were verified, mainly, in the soil superficial layers. The decrease in the space between line plants was efficient in increasing the Cmic contents, mainly for soil sample collected in the interline of coffee plants. The highest Cmic content was verified in the treatments where the distances of coffee plant lines were 2 and 2.5 meters. In the two Latosol evaluated, the largest proportion of C of the soil was associated to the high oxidized fractions (F<sub>1</sub> and F<sub>2</sub>). The vegetable cover influenced the C degree of oxidation, since the less bioavailability forms prevailed in the systems under natural vegetation. The physical fractionation of organic matter revealed a high reduction in the carbon associated the light fraction with the soil cultivation, which contributed with 1,1 the 16,4% of the total C present in two Latosols. The reached results allow classifying the Cmic, the C in the light fraction and the C in the F<sub>1</sub> fraction as adequate index for determining changes in the SOM amount and quality in different soil management systems.

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO GERAL**

Os estudos da matéria orgânica do solo (MOS) tiveram seus primeiros impulsos há cerca de 150 anos. Os trabalhos iniciais mostraram o papel da matéria orgânica sobre as propriedades do solo, com destaque para o suprimento de nutrientes para as plantas. Com o avanço da química moderna, inúmeros métodos de caracterização dos compostos orgânicos e de suas estruturas foram desenvolvidos. Nos últimos 50 anos, ocorreu o grande salto no estudo da MOS, por meio do desenvolvimento de métodos mais específicos, tais como RMN (ressonância magnética nuclear), RPE (ressonância paramagnética eletrônica), pirólise acoplada à cromatografia gasosa-espectrometria de massas, fracionamento físico, determinação do tempo de ciclagem das frações orgânicas, etc. O melhor ajuste dos modelos preditores da dinâmica da matéria orgânica, o enfoque ambiental ligado à intensificação do efeito estufa e suas relações com o carbono (C) do solo, o papel das diferentes frações da matéria orgânica na ciclagem de nutrientes e no tamponamento dos ecossistemas reservam à MOS o papel de atuar como um componente determinante da qualidade do solo e da sustentabilidade de sistemas naturais (Schnitzer, 1991; Schnitzer & Khan, 1978). Por tudo isso, torna-se importante a investigação dos efeitos das diferentes práticas de manejo sobre o estoque e a qualidade das frações orgânicas, em especial nas áreas onde variam o aporte de resíduos e o grau de revolvimento do solo.

Com a crescente preocupação a respeito das conseqüências da intensificação do efeito estufa sobre diversos processos naturais, principalmente daqueles provocados pelas emissões crescentes de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para a atmosfera, o armazenamento e a dinâmica da MOS em diferentes sistemas



de uso e manejo do solo vêm recebendo mais atenção, em razão do elevado potencial dos solos agrícolas em atuarem não apenas como fonte, mas também como um sumidouro de CO<sub>2</sub> atmosférico. A MOS representa o maior reservatório de C da superfície terrestre, com um estoque de C no solo, na profundidade de um metro, estimado em 1.500 Pg (Pg, Petagrama= 10<sup>15</sup>g) (IPCC, 2000), superando o estoque de C presente na biota (620 Pg) e na atmosfera (720 Pg). Mudanças no ambiente solo, decorrentes de práticas de manejo inadequadas, podem levar a um rápido declínio desses estoques, colaborando, assim, para o aumento das emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

A importância da MOS está relacionada à influência que suas frações exercem sobre as diversas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Um aspecto relevante nos estudos da qualidade do solo é a escolha de determinados atributos indicadores que relacionam-se com propriedades importantes do solo e que, ainda, são sensíveis às alterações decorrentes das mudanças nos sistemas de manejo, sendo exemplos os teores de C total e de C em outras frações associadas à MOS.

O consenso em relação à MOS como indicador de qualidade do solo emana de dois aspectos principais: i) o teor de matéria orgânica no solo é sensível e varia em relação às práticas de manejo do solo adotadas, principalmente nas regiões tropicais e subtropicais, onde, nos primeiros anos de cultivo, mais de 50% da MOS originalmente presente no solo, é perdida por diversos processos, entre esses, a decomposição microbiana, a erosão e a lixiviação (Greenland et al., 1992) e ii) a maioria dos atributos associados às funções básicas do solo tem estreita relação com a MOS, com destaque para a estabilidade dos agregados, a estrutura do solo, a infiltração e a retenção de água, a resistência à erosão, a atividade biológica, a capacidade de troca de cátions, a disponibilidade de nutrientes para as plantas, a lixiviação de nutrientes e a liberação de gases para a atmosfera (Mielniczuk, 1999). Por esses motivos,

diversos autores têm apontado a MOS como componente-chave nos estudos de sustentabilidade de diferentes agroecossistemas (D'Andréa et al., 2002; Haynes, 2000; Parfitt et al., 1997; Shang & Tiessen, 2001).

A ocupação relativamente rápida e, especialmente, a estratégia de desenvolvimento rural (fortemente baseada na substituição da vegetação nativa por culturas com produção de biomassa menor que a dos sistemas naturais) do Sul de Minas Gerais suscitam questionamentos importantes sobre a sustentabilidade dos agroecossistemas da região, onde a implantação das lavouras é caracterizada pela remoção da vegetação natural e pela mecanização constante do solo, o que, na maioria das situações, conduz a um quadro de poluição da atmosfera (emissões de gases associados ao efeito estufa), degradação e erosão do solo. Esses fatores contribuem para a redução acelerada nos estoques de MOS e, conseqüentemente, para a diminuição no grau de fertilidade do solo.

Dentre os principais agroecossistemas do Sul de Minas Gerais, destacam-se os associados à lavoura cafeeira. O estado de Minas Gerais é o maior produtor de café do Brasil, concentrando quase 50% do café produzido e ou beneficiado no país, e a região Sul é o mais importante pólo cafeeiro do estado. Segundo Floriani (2000), o parque cafeeiro mineiro já superou o limite de 2,5 bilhões de pés plantados em quase um milhão de hectares.

Na cultura do cafeeiro, entre os fatores que apresentam maior relevância estão os diferentes arranjos de espaçamentos de plantio (Bartholo et al., 1998). Nos cafezais com espaçamentos tradicionais, as populações variam de 1.000 a 2.000 plantas ha<sup>-1</sup>, de modo que as plantas cobrem menos de 50% da superfície do solo (Rena et al., 1998), o que pode gerar perda de solo por erosão e, conseqüentemente, redução no estoque de MOS. Com a renovação das lavouras, promovida nas décadas de 1970 e 80, os espaçamentos evoluíram para uma maior densidade de plantio (Bartholo et al., 1998). Assim, dos tradicionais

espaçamentos de 1,5 a 2,0 m entre plantas, avançou-se para espaçamentos de 0,5 a 1,0 m (Matiello, 1995), proporcionando o aparecimento dos plantios adensados ou superadensados, com 5.000 a 10.000 plantas ha<sup>-1</sup> (Bartholo et al., 1998).

A principal vantagem associada aos plantios adensados do cafeeiro é o ganho em produtividade. Já está demonstrado que a presença de um maior número de plantas por área proporciona produtividades maiores do que nos espaçamentos convencionais, com trabalhos indicando uma população ótima em lavouras cafeeiras variando entre 5.000 a 6.000 plantas ha<sup>-1</sup> (Arcila-Pulgarín & Chaves-Córdoba, 1995; Bartholo et al., 1998). Mesmo com os avanços obtidos em termos de aumento de produtividade, ainda existe uma carência de informações a respeito do impacto do estande de plantas sobre o estoque e compartimentos da MOS nas lavouras cafeeiras.

As áreas de florestas plantadas com eucalipto (*Eucalyptus* sp.) e pinus (*Pinus* sp.) no Brasil ocupam, aproximadamente, 5 milhões de hectares (Silva et al. 2004), das quais mais de 50% estão localizados no estado de Minas Gerais. Segundo levantamento realizado por Boddey et al. (2001), mais de 80 milhões de hectares no Brasil estão ocupados por pastagens do gênero *Brachiaria*, estando mais da metade dessa área localizada na região do Cerrado.

A utilização de sistemas mais conservacionistas de uso do solo, como o cultivo mínimo e o plantio direto, para culturas anuais, além de aumentar os teores de MOS nas camadas superficiais do solo, pode contribuir para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (Amado et al., 1999). Nas áreas de produção de milho do Sul de Minas Gerais predomina o cultivo convencional, com grande número de operações de revolvimento do solo e, em menor escala, os sistemas de menor perturbação do solo, como o cultivo mínimo e o sistema integração lavoura-pecuária, no qual o milho é plantado em áreas já exploradas com braquiária. Por se tratar de uma região com expressiva produção de milho, todos esses sistemas de cultivo devem ser investigados no que diz respeito às

suas influências sobre a MOS. De fato, embora todos os sistemas de uso e manejo do solo mencionados estejam bem difundidos entre os agricultores do Sul do estado de Minas Gerais, seus efeitos sobre o estoque e a composição química da MOS ainda não são bem compreendidos.

Pelo papel de importância que a matéria orgânica exerce sobre a sustentabilidade dos agroecossistemas brasileiros, e em face das alterações que os diferentes sistemas de uso e manejo do solo exercem sobre a dinâmica do C e, por conseguinte, sobre as diferentes funções do solo, torna-se premente a implementação de ações de pesquisa no sentido de identificar as práticas de manejo mais conservacionistas, como meio de aumentar o armazenamento da matéria orgânica no solo e a sustentabilidade de nossos agroecossistemas.

Este estudo foi organizado em capítulos, que foram editados na forma de artigos científicos cujas normas de publicação obedecem aos periódicos a que foram submetidos para apreciação do mérito científico. As áreas-objeto do estudo estão localizadas nos municípios de Lavras e Machado, no Sul do estado de Minas Gerais. No município de Lavras, foram selecionados seis sistemas de uso e manejo do solo, de forma a avaliar o impacto desses sistemas nos estoques e compartimentos da MOS. Em Machado, a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) instalou, no ano de 1992, um experimento para avaliar os efeitos de diferentes espaçamentos de plantio sobre a produtividade do cafeeiro.

Em razão da necessidade de aprofundamento dos conhecimentos sobre a dinâmica da matéria orgânica em lavouras cafeeiras, avaliou-se, neste experimento, a influência dos espaçamentos de plantio do cafeeiro sobre os estoques e os principais compartimentos da MOS. No solo dos dois locais, foram avaliados os teores e os estoques de carbono e nitrogênio, o carbono da biomassa microbiana do solo, o grau de oxidação do carbono e realizado o fracionamento físico da MOS. Todas as ações de pesquisa realizadas visam

elucidar a influência que os principais sistemas de uso e manejo do solo no Sul de Minas Gerais exercem sobre o estoque e a qualidade da matéria orgânica, além de contribuir para consolidar uma das linhas de pesquisa do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, no caso, a que busca estudar a dinâmica da matéria orgânica nos solos brasileiros.

Buscando compreender como a MOS é influenciada pelas práticas de uso e manejo do solo, e o que isso pode significar num contexto mais amplo de sustentabilidade e qualidade do solo, este estudo teve como objetivos: i) quantificar os teores e estoques de carbono e de nitrogênio em diferentes profundidades do solo, em áreas sob influência de distintos sistemas de uso e manejo, no Sul de Minas Gerais; ii) avaliar os efeitos das práticas de manejo do solo sobre o grau de oxidação do carbono e sobre o teor de carbono da biomassa microbiana do solo; iii) avaliar os efeitos dos sistemas de uso e manejo do solo sobre os teores de carbono nas frações leve e pesada da matéria orgânica, por meio da técnica do fracionamento físico da MOS e iv) identificar as frações orgânicas sensíveis à adoção de diferentes sistemas de uso e manejo do solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V.; BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 679-686, 1999.

ARCILA-PULGARÍN, J.; CHAVES-CÓRDOBA, B. Dessarolo foliar del caféto en tres densidades de siembra. **Cenicafé**, Caldas, v. 46, n. 1, p. 5-20, 1995.

BARTHOLO, G. F.; MELO, B. de; MENDES, A. N. G. Evolução na adoção de espaçamentos na cultura do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 193, p. 49-60, 1998.

BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; OLIVEIRA, O. C. de; URGUIGA, S. Potencial para acumulação e seqüestro de carbono em pastagens de Brachiaria.

In: LIMA, M. A. de; CABRAL, O. M. R.; MIGUEZ, J. D. G. (Ed.). **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. p. 213-229.

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

FLORIANI, C. G. Café: a certificação é o caminho. **Caderno Técnico Agrotec**, Belo Horizonte, n. 1, p. 1-20, 2000.

GREENLAND, D. J.; WILD, A.; ADAMS, D. Organic matter dynamics in soils of the tropics: from myth to complex reality. In: LAL, R.; SANCHES, P. A. (Ed.). **Myths and science of soils of the tropics**. Madison: SSSA/ASA, 1992. p. 17-33.

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

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Global perspective. In: WATSON, R. T.; NOBLE, I. R.; BOLIN, B.; RAVINDRANATH, N. H.; VERARDO, D. J.; DOKKEN, D. J. (Ed.). **Land use, land-use change, and forestry**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. p. 25-50.

MATIELLO, J. B. **Sistemas de produção na cafeicultura moderna**. Rio de Janeiro: MM Produções Gráficas, 1995. 99 p.

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

PARFITT, R. L.; THENG, B. K. G.; WHITTON, J. S.; SHEPHERD, T. G. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. **Geoderma**, Amsterdam, v. 75, n. 1/2, p. 1-12, Jan. 1997.

RENA, A. B.; NACIF, A. P. de; GUIMARÃES, P. T. G.; BARTHOLO, G. F. Plantios adensados de café: aspectos morfológicos, ecofisiológicos, fenológicos e agrônômicos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 193, p. 61-70, 1998.

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

SCHNITZER, M; KHAN, S. U. **Soil organic matter**. Amsterdam: Elsevier, 1978. 319 p.

SHANG, C.; TIESSEN, H. Sequential versus parallel density fractionation of silt-sized organomineral complexes of tropical soils using metatungstate. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 33, n. 2, p. 259-262, Feb. 2001.

SILVA, I. R. da; NOVAIS, R. F. de; BARROS, N. F. de; SILVA, E. F. de. Manejo de resíduos e matéria orgânica do solo em plantações de eucalipto: uma questão estratégica para a manutenção da sustentabilidade. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 3, v. 29, p. 10-20, set./dez. 2004.

## CAPÍTULO 2

### **CARBONO E NITROGÊNIO E SUAS RELAÇÕES COM OS ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO DE CAFEEIROS**

*(Preparado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo)*

#### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho foi avaliar os teores de carbono e nitrogênio em um Latossolo Vermelho distroférico típico cultivado com cafeeiros, sob diferentes espaçamentos de plantio. O experimento foi conduzido no período de 1992 a 2004, em uma área da Fazenda Experimental da EPAMIG, em Machado, MG. Os tratamentos consistiram da combinação de quatro espaçamentos entre as linhas (2,0; 2,5; 3,0 e 3,5 m), com três espaçamentos entre as plantas (0,5; 0,75 e 1,0 m), com as amostras de solo coletadas em dois pontos distintos em cada tratamento: nas entrelinhas (EL) e na projeção das copas (PC) dos cafeeiros. Foram avaliados os teores de carbono da biomassa microbiana (Cmic), em amostras coletadas no verão e no inverno, de carbono (C) e nitrogênio total (NT), além das relações C/N e Cmic/C. Os teores de C, NT e Cmic, nas amostras de solo da EL, foram maiores do que os das amostras coletadas na PC dos cafeeiros. Nas camadas superficiais do solo, houve um aumento nos teores de C e NT e uma redução no Cmic nos maiores espaçamentos entre as linhas dos cafeeiros. O Cmic, em relação ao C total, é um atributo mais sensível para avaliar alterações provocadas pelos sistemas de plantio de cafeeiros nos compartimentos da matéria orgânica do solo.

**Termos para indexação:** *Coffea arabica* L., cafeeiro adensado, matéria orgânica do solo, biomassa microbiana.



**SUMMARY:** *CARBON AND NITROGEN AND THEIR RELATIONSHIPS WITH COFFEE PLANTING SPACINGS.*

The objective of this work was to evaluate the concentration of C and nitrogen in a typic dystroferric Red Latosol (Oxisol) cultivated with coffee (*Coffea arabica* L.) under different planting spacings. The experiment was carried out from 1992 to 2004 in the Experimental Farm of EPAMIG, in Machado (Minas Gerais State-Brazil). The treatments consisted of the combination of four spacings among lines (2.0, 2.5, 3.0 and 3.5 m) with three spacings among plants (0.5, 0.75 and 1.0 m), and the soil samples were collected at two different points: in the interline (IL) and in the canopy projection (CP) of coffee plants. Carbon (C) and total nitrogen (TN) contents were evaluated, besides C/TN and Cmic/C ratios. Microbial biomass (Cmic) contents were measured in samples collected on summer and winter. The contents of C, TN and Cmic, in samples collected in the IL, were higher than those measured at the CP. In soil surface layers, there higher contents of C e TN and reduction in Cmic as the space between one line and other of coffee plants increases. The Cmic is an attribute more sensitive than total C to the alterations in the soil organic matter pools caused by the different coffee plants cropping systems.

**Index terms:** *Coffea arabica* L., coffee density, soil organic matter, microbial biomass.

## INTRODUÇÃO

O Sul do estado de Minas Gerais é a maior área de produção de café do Brasil. Inicialmente, a expansão das lavouras nessa região se caracterizou pela substituição de parte da vegetação nativa por áreas cultivadas com cafeeiros em sistemas de plantio com cerca de 1.500 a 2.000 plantas por hectare. Contudo, nos últimos anos, tem havido uma tendência de os plantios serem mais adensados, a ponto de serem notados estandes de até 10.000 plantas ha<sup>-1</sup>. A substituição de ecossistemas naturais por agroecossistemas, com culturas introduzidas, envolve uma série de atividades que afetam as taxas de adição e decomposição da matéria orgânica do solo (MOS) (Estados Unidos, 1999). A magnitude dessas alterações nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo depende das condições do solo, do clima e das práticas culturais adotadas (Marchiori Junior & Melo, 2000). Estudos que abordem o impacto da implantação de novos sistemas de manejo do solo e culturas sobre as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo são importantes no sentido de avaliar a sustentabilidade de diferentes agroecossistemas em uma região.

Em solos das regiões tropicais, as perdas de carbono observadas após a retirada da vegetação natural e cultivo dos solos são mais aceleradas do que em regiões temperadas (Mielniczuk et al., 2003). Nessas regiões, as condições de temperatura mais elevada, os altos índices pluviométricos e a maior atividade microbiana causam uma rápida decomposição dos materiais orgânicos incorporados e presentes no solo (Longo & Espíndola, 2000).

Por exercer influência no aporte de resíduos e na disponibilidade de luz e água, o número de plantas em lavouras cafeeiras exerce importante papel sobre os teores de carbono (C) em diferentes compartimentos da MOS (Pavan & Chaves, 1996). Isso ocorre em função do aumento da densidade de plantio nas lavouras cafeeiras, além de elevar a produção, promove um incremento no aporte de massa vegetal produzida por unidade de área, o que implica em uma maior adição de C ao solo na forma de raízes, folhas, ramos, ácidos orgânicos, exsudatos e mucilagens (Pavan & Chaves, 1996). De acordo com Beer et al. (1998), nos sistema de plantio adensado de cafeeiro podem ser acumuladas até 14 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de resíduos, provenientes da queda de folhas e de material podado. Arato et al., (2003) observaram que 50% do material depositado sobre o solo em áreas cultivadas com cafeeiros foi decomposto num período de 215 dias, indicando uma rápida liberação e reaproveitamento dos nutrientes contidos nos resíduos vegetais. Dessa forma, os teores de C e nitrogênio total (NT), assim como os de C da biomassa microbiana podem ser alterados, em maior ou menor intensidade, dependendo do sistema de plantio adotado (Pavan & Chaves, 1996).

Os teores de NT, nas diferentes profundidades do solo, apresentam o mesmo padrão de distribuição dos teores de C, com os maiores valores observados em camadas mais superficiais, em que há um maior acúmulo de matéria orgânica, sendo, dessa forma, também influenciados pelos sistemas de plantio do cafeeiro. Em solos agrícolas, os teores de nitrogênio variam, em geral, de 0,02 a 0,5% e, 98% do NT do solo encontra-se na forma orgânica (Stevenson, 1994). A relevância da inclusão do nitrogênio nos estudos que avaliam a MOS reside no fato de

os compostos orgânicos representarem um importante reservatório de formas potencialmente disponíveis de nitrogênio para as culturas (D'Andréa et al., 2004; Stevenson, 1994).

Dentre os atributos biológicos sensíveis às alterações nos sistemas de manejo do solo e culturas, destaca-se a biomassa microbiana, que representa a parte viva da MOS e contém, em média, de 2 a 5% do C e até 5% NT nos solos tropicais (Smith & Paul, 1990). O carbono da biomassa microbiana do solo ( $C_{mic}$ ) é considerado um compartimento não protegido da MOS, com tempo de ciclagem médio, em solos de regiões tropicais, de três meses (Duxbury et al., 1989). A manutenção da produtividade dos ecossistemas agrícolas depende, em grande parte, do processo de transformação da MOS e, por conseguinte, da biomassa microbiana do solo (Gama-Rodrigues, 1999), que atua regulando a taxa de decomposição da matéria orgânica, a ciclagem de nutrientes e o fluxo de energia dentro do solo (Marchiori Junior & Melo, 1999; Wardle, 1992).

A relação entre o  $C_{mic}$  e o C expressa um índice da qualidade nutricional da matéria orgânica. Para solos com matéria orgânica de baixa qualidade nutricional, a biomassa microbiana encontra-se sob condições de estresse, o que restringe a sua capacidade de utilizar o C do solo como fonte de energia (Gama-Rodrigues, 1999). Além de ser um índice de qualidade da MOS, a relação  $C_{mic}/C$  reflete também processos importantes relacionados com adições e transformações da MOS, assim como a eficiência de conversão do C desta em  $C_{mic}$  (D'Andréa et al., 2002; Sparling, 1992). Apesar da crescente adoção de menores espaçamentos nas lavouras cafeeiras, ainda existem poucas informações

sobre as alterações nas propriedades do solo, principalmente as relacionadas aos teores de carbono e nitrogênio, decorrentes da utilização de diferentes espaçamentos de plantio.

Este estudo teve por objetivo avaliar os teores de carbono e nitrogênio em um Latossolo cultivado com cafeeiros em diferentes espaçamentos de plantio, na região Sul de Minas Gerais.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Caracterização da área experimental**

O estudo foi conduzido em uma área da Fazenda Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), localizada a 10 km do município de Machado, MG. O clima local foi classificado como Aw (tropical estacional de savana), no sistema de Köppen, com inverno seco e verão quente. A temperatura média anual é de 21°C (mínima de 15°C, em julho, e máxima de 27°C, em janeiro) e a precipitação média anual é de 1.670 mm, com as chuvas concentradas de outubro a abril. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico, textura média. No início do experimento, o solo apresentava, na camada de 0-0,2 m, pH (H<sub>2</sub>O) = 4,0; Ca<sup>2+</sup> = 0,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup> = 0,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; P (Mehlich-1) = 1,0 mg dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup> = 11 mg dm<sup>-3</sup> e Al<sup>3+</sup> = 0,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Os teores de argila, silte e areia são, respectivamente, de 270, 290 e 440 g kg<sup>-1</sup>. Nas análises químicas utilizaram-se as marchas analíticas descritas em Embrapa (1979). A análise granulométrica foi efetuada pelo método da pipeta (Day, 1965).

### **Instalação e condução do experimento**

Antes da implantação do experimento a campo, foi realizada, em novembro de 1991, a calagem do solo da área experimental, com o objetivo de elevar a saturação por bases do solo a 60%, com o corretivo (calcário dolomítico) sendo incorporado na camada de 0-0,2 m de profundidade. A instalação do experimento a campo, caracterizada aqui pelo plantio das mudas do cafeeiro, foi realizada em janeiro de 1992, sulcando-se o solo de acordo com os espaçamentos a serem estudados. Foi utilizada no plantio a cultivar Catuaí Vermelho IAC-44, com uma planta por cova. Durante a condução do experimento (1992 a 2004), o cafeeiro foi mantido livre de plantas invasoras por meio de capinas manuais (5 a 6 capinas por ano) e de aplicações de herbicidas, com os resíduos vegetais sendo depositados nas entrelinhas de plantio, de forma a manter o solo sob a projeção das copas descoberto durante a maior parte do ano.

A partir do ano de 1994, no mês que antecedia à colheita, foram realizadas as arruações, que consistem em concentrar os resíduos vegetais e parte da camada superior do solo da projeção das copas nas entrelinhas de plantio. Parte desses resíduos foram retornados para a projeção das copas após a colheita, prática conhecida como esparramação do cisco. Após dez anos de condução do experimento (julho de 2002), procedeu-se à recepa das plantas a 0,4 m de altura do solo, sendo as folhas e ramos depositados sobre o solo das entrelinhas, retirando-se da área somente os ramos ortotrópicos. Quatro meses após a recepa, foi feita a desbrota, deixando-se duas hastes por tronco, no sentido da linha de plantio. Todos

os resíduos vegetais oriundos dessas práticas foram triturados e depositados nas entrelinhas de plantio.

A correção da acidez do solo, quando necessária, e as adubações para implantação, formação, produção e formação pós-recepa dos cafeeiros foram efetuadas com base na análise química do solo, seguindo-se as recomendações contidas em CFSEMG (1989).

Os tratamentos avaliados consistiram da combinação de quatro espaçamentos entre as linhas (2,0; 2,5; 3,0 e 3,5 m), com três espaçamentos entre as plantas na linha de plantio (0,5; 0,75 e 1,0 m), totalizando 12 tratamentos dispostos no campo em blocos ao acaso, em esquema fatorial 4x3, com três repetições. As parcelas experimentais mediam doze metros de comprimento e possuíam três linhas de plantio cujas distâncias, entre si, variaram em função do tratamento estudado. A parcela útil considerada na etapa de coleta das amostras de solo foi a linha central (interna), uma vez que essa sofreu a influência tanto do adensamento entre as linhas como entre as plantas na linha. A densidade populacional variou, em função dos tratamentos estudados, de 2.857 a 10.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

#### **Amostragem do solo e preparo das amostras**

A amostragem do solo foi realizada em duas épocas distintas. A primeira amostragem foi realizada em dezembro de 2003 (amostragem de verão) para a avaliação dos teores de carbono da biomassa microbiana do solo (Cmic), carbono (C) e nitrogênio total (NT). A segunda amostragem, realizada em agosto de 2004 (amostragem de inverno), teve como objetivo avaliar alterações sazonais no Cmic. As amostras foram

coletadas em dois pontos de cada parcela experimental, na projeção das copas (PC) e nas entrelinhas de cultivo (EL), onde eram depositados todos os resíduos culturais das arruações, podas e os provenientes das capinas da PC. Foram retiradas amostras nas profundidades de 0-0,05; 0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,4 m, para a avaliação dos teores de C e NT, e, na profundidade de 0-0,05 m, para a avaliação do Cmic. Foram coletadas cinco amostras simples em cada ponto (EL e PC), perfazendo uma amostra composta por parcela, portanto, três amostras compostas foram coletadas para cada tratamento e ponto de coleta.

Numa área sob mata nativa, a cerca de um quilômetro do experimento, com a mesma classe de solo e sem histórico de intervenção antrópica, foram coletadas amostras de solo nas mesmas profundidades coletadas na área experimental, que foram utilizadas como referência de área sob vegetação natural.

As amostras destinadas às análises de C e NT foram acondicionadas em sacos plásticos e conduzidas para o laboratório, onde foram secadas ao ar, destorroadas, trituradas em almofariz e passadas em peneira de malha de 0,210 mm. As amostras para análise do Cmic foram acondicionadas em sacos plásticos, protegidas da luz e mantidas em caixas térmicas. No laboratório, estas amostras foram passadas em peneiras de malha de 4 mm, acondicionadas em sacos plásticos com respirador e mantidas em câmara fria, a  $\pm 4^{\circ}\text{C}$ , até o momento das análises.



## **Análises microbiológicas e químicas**

### **Carbono da biomassa microbiana**

O carbono da biomassa microbiana ( $C_{mic}$ ) foi avaliado pelo método da fumigação-extração (Vance et al., 1987), sendo determinado após o ataque das amostras com clorofórmio por 24 horas, que provoca a morte dos microrganismos e a liberação dos componentes celulares. A extração do carbono das amostras fumigadas e não-fumigadas foi feita com  $K_2SO_4$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ . A 8 mL do extrato obtido, acondicionado em frasco erlenmeyer de 125 mL, foram adicionados 2 mL de  $K_2Cr_2O_7$   $0,067 \text{ mol L}^{-1}$  e 15 mL da solução de  $H_2SO_4/H_3PO_4$ , v/v: 2:1, que foram aquecidos em chapa aquecedora, a  $170^\circ\text{C}$ , por 5 minutos. Após o resfriamento a temperatura ambiente, adicionaram-se 10 mL de água destilada e procedeu-se a titulação, com uma solução de  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$   $0,033 \text{ mol L}^{-1}$  (sal de Mohr), utilizando-se como indicador a difenilamina a 1%.

O carbono presente na biomassa microbiana foi calculado pela seguinte expressão  $C_{mic} = (CF - CNF) / K_{ec}$ , em que:  $C_{mic}$ : carbono da biomassa microbiana ( $\mu\text{g g}^{-1}$  de solo seco); CF: carbono oxidável da amostra fumigada; CNF: carbono oxidável da amostra não-fumigada e  $K_{ec}$ : fator de conversão do C extraído do solo a  $C_{mic}$ .

Os valores de  $K_{ec}$  citados na literatura são muito variáveis, não havendo um consenso a respeito do valor a ser utilizado. Baseado no clima e no tipo de solo, foi utilizado, neste estudo, o  $K_{ec} = 0,26$ , sugerido por Feigl et al. (1995). As determinações de  $C_{mic}$  foram realizadas com base em três repetições analíticas (três fumigadas e três não-fumigadas) por amostra de solo coletada no campo.

### **Carbono**

O carbono (C) foi determinado pelo método descrito em Yeomans & Bremner (1988), após a digestão de 0,3 g de solo, 5 mL de  $K_2Cr_2O_7$   $0,167 \text{ mol L}^{-1}$  e 10 mL de  $H_2SO_4$  p.a., por 30 minutos, a  $170^\circ\text{C}$ , em bloco digestor de 40 provas. Após o resfriamento à temperatura ambiente, os extratos foram transferidos quantitativamente para frascos erlenmeyers de 125 mL, utilizando-se água destilada suficiente para obter um volume final de, aproximadamente, 75 mL. Em seguida, a cada erlenmeyer foram adicionados 5 mL de  $H_3PO_4$  p.a., procedendo-se a titulação com solução de  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$   $0,4 \text{ mol L}^{-1}$  (sal de Mohr), utilizando-se como indicador a solução ácida de difenilamina 1%. Paralelamente, foram realizadas provas em branco, com e sem aquecimento.

### **Nitrogênio total**

Nesta determinação, foi utilizado o método descrito por Bremner (1996), que envolve o uso de uma solução digestora à base de  $K_2SO_4$ ,  $CuSO_4$  e Se. A cada amostra de 0,1 g de solo foi adicionada 1,1 g da solução digestora e 3,0 mL de  $H_2SO_4$  p.a. A digestão foi feita a  $350^\circ\text{C}$ , com posterior destilação a vapor. O destilado foi recolhido em uma solução de  $H_3BO_3$  ( $20 \text{ g L}^{-1}$ ), misturada a uma solução de verde de bromocresol e vermelho de metila, e titulado com solução de  $HCl$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ .

Calculou-se, após a realização das análises microbiológicas e químicas, o quociente microbiano, ou relação  $C_{mic}/C$  e a relação  $C/N$ .

### **Análise estatística**

Para verificar diferenças significativas entre as variáveis avaliadas, nos diferentes espaçamentos de plantio e pontos de coleta das amostras (EL e PC), foi realizada análise de variância. Para as variáveis em que o teste F mostrou efeito significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, utilizando-se o aplicativo computacional SISVAR (Ferreira, 2000). Na avaliação dos teores de C e NT, consideraram-se as camadas de solo isoladamente. Os dados levantados na área de referência (mata nativa) foram excluídos da análise estatística pelo fato de o local não compor o desenho experimental usado para avaliar o efeito dos espaçamentos de plantio sobre os parâmetros estudados.

Dessa forma, as médias dos atributos avaliados na área de mata são apresentadas com seus respectivos erros padrões da média. Para efeito da verificação de possíveis diferenças nos teores de C<sub>mic</sub> entre as amostras coletadas no verão e no inverno, os dados foram submetidos à análise de variância, em esquema de parcelas subdivididas: os tratamentos principais foram constituídos pela combinação dos diferentes espaçamentos de plantio e o tratamento secundário pelas duas épocas de coleta das amostras de solo.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Teores de carbono e nitrogênio total**

Os teores de carbono (C), em função dos diferentes espaçamentos de plantio dos cafeeiros e nas diferentes profundidades de solo, são apresentados no Quadro 1. Os dados indicam que os maiores teores de C

foram obtidos na camada de 0-0,05 m de solo, tanto nas amostras coletadas na EL como naquelas coletadas na PC dos cafeeiros, havendo, em todos os espaçamentos de plantio, maiores teores de C na EL dos cafeeiros. Na EL (0-0,05 m), apenas foram observadas diferenças entre os tratamentos nos espaçamentos de 2x0,75 e 2,5x0,5 m, evidenciando o reduzido efeito dos diferentes espaçamentos de plantio nos teores de C do solo. Na camada de 0-0,1 m, na EL, houve uma resposta diferenciada dos teores de C quanto aos espaçamentos de plantio, ocorrendo, de maneira geral, um acréscimo nos teores com o aumento do espaçamento entre as linhas de cafeeiros tendo os maiores valores sido observados quando as linhas de plantio distanciavam-se em 3,5 m. Os teores de C, na profundidade de solo de 0-0,1 m, não foram influenciados pelos tratamentos avaliados quando as amostras foram coletadas na PC, sendo observada diferença significativa somente na camada de 0-0,05 m, com o maior teor ( $30,1 \text{ g kg}^{-1}$ ) ocorrendo no espaçamento de 3,5x0,5 m.

As reduções médias nos teores de C em todos os tratamentos, na profundidade de 0-0,05 m, em relação à área de mata, foram de 24 e 66% para as amostras coletadas na EL e na PC, respectivamente, o que está de acordo com os resultados obtidos por Tiessen et al. (1994) e Mielniczuk et al. (2003). Segundo esses autores, em regiões tropicais, as taxas de perda da MOS são equivalentes à metade do seu conteúdo original (em relação ao solo sob vegetação natural) em menos de 10 anos de cultivo do solo, principalmente nos sistemas com baixo aporte de resíduos vegetais. Os resultados obtidos indicam que o maior aporte de resíduos culturais na EL dos cafeeiros pode resultar, ao longo do tempo, num maior

armazenamento de C no solo, superando os teores encontrados no mesmo solo na PC, onde há menor deposição de resíduos.

Quadro 1. Carbono (C), nitrogênio total (NT) e relação C/N em Latossolo Vermelho distroférico típico cultivado com cafeeiros, em diferentes espaçamentos de plantio, no Sul de Minas Gerais.

Tratamento	C		NT		C/N		
	EL	PC	EL	PC	EL	PC	
(m)	----- g kg <sup>-1</sup> -----						----- % -----
	----- 0-0,05 m -----						
Mata	45,1 (±2,5)		4,00 (±0,2)		11,3 (±0,6)		
2x0,5	40,3Aa	26,6Bb	4,3Aa	3,3Aa	10,1Aa	8,0Aa	
2x0,75	29,5Ba	27,7Ab	4,7Aa	3,3Aa	6,6Aa	8,5Aa	
2x1	36,7Aa	29,8Ab	4,0Aa	3,7Aa	9,2Aa	8,6Aa	
2,5x0,5	27,3Ba	27,1Bb	5,3Aa	4,3Aa	5,3Aa	6,8Aa	
2,5x0,75	35,6Aa	28,7Ab	5,0Aa	3,7Aa	7,3Aa	8,3Aa	
2,5x1	39,4Aa	28,6Ab	5,3Aa	4,0Aa	7,4Aa	7,1Aa	
3x0,5	37,8Aa	24,3Bb	5,3Aa	3,0Ab	7,2Aa	8,6Aa	
3x0,75	38,1Aa	25,2Bb	6,0Aa	3,3Ab	7,7Aa	6,4Aa	
3x1	36,3Aa	26,1Bb	5,0Aa	3,0Ab	7,8Ab	8,7Aa	
3,5x0,5	38,5Aa	25,9Bb	5,0Aa	3,7Aa	7,9Aa	7,2Aa	
3,5x0,75	40,5Aa	24,9Bb	5,3Aa	3,3Ab	7,6Aa	7,2Aa	
3,5x1	37,5Aa	30,1Ab	5,0Aa	3,0Ab	7,7Ab	10,7Aa	
	----- 0-0,1 m -----						
Mata	34,7 (± 0,04)		3,1 (± 0,03)		11,2 (±1,1)		
2x0,5	21,7 Ba	19,3 Aa	2,2 Ca	1,8 Aa	9,7 Ba	10,8 Aa	
2x0,75	22,7 Ba	20,0 Aa	1,9 Ca	1,7 Aa	11,7 Aa	11,6 Aa	
2x1	20,5 Ba	19,8 Aa	1,7 Ca	1,7 Aa	12,4 Aa	11,9 Aa	
2,5x0,5	25,2 Aa	21,7 Ab	2,2 Ca	1,9 Aa	11,5 Aa	11,8 Aa	
2,5x0,75	26,0 Aa	20,1 Ab	3,0 Ba	2,1 Ab	8,7 Ba	9,6 Ba	
2,5x1	20,5Ba	18,3 Aa	2,4 Ca	1,9 Aa	8,8 Ba	9,5 Ba	
3x0,5	20,8 Ba	20,4 Aa	2,4 Ca	2,0 Aa	8,9 Ba	10,2 Aa	
3x0,75	25,1 Aa	20,4 Ab	3,1 Ba	2,1 Ab	8,1 Ba	9,5 Ba	
3x1	21,1 Ba	19,4 Aa	3,0 Ba	2,0 Ab	7,3 Ba	9,4 Ba	
3,5x0,5	27,1 Aa	19,9 Ab	2,8 Ba	2,1 Aa	9,8 Ba	9,4 Ba	
3,5x0,75	22,6 Ba	17,9 Ab	2,3 Ca	1,9 Aa	10,0 Ba	9,4 Ba	
3,5x1	28,1 Aa	20,7 Ab	3,9 Aa	2,1 Ab	7,8 Ba	9,7 Ba	

...continua...

Quadro 1, Cont.

Tratamento	C		N		C/N	
	EL	PC	EL	PC	EL	PC
(m)	----- g kg <sup>-1</sup> -----					
	----- 0,1-0,2 m -----					
Mata	35,8 (± 0,5)		2,9 (±0,1)		13,3 (±3,7)	
2x0,5	20,5 Aa	25,3 Aa	1,9 Aa	2,1 Aa	10,8 Aa	12,9 Aa
2x0,75	22,4 Aa	21,3 Aa	2,5 Aa	2,4 Aa	8,8 Aa	8,9 Ba
2x1	20,0 Aa	21,4 Aa	2,1 Aa	2,0 Aa	9,7 Aa	9,8 Ba
2,5x0,5	22,3 Aa	22,9 Aa	2,5 Aa	2,4 Aa	9,0 Aa	9,8 Ba
2,5x0,75	23,3 Aa	21,2 Aa	1,8 Aa	1,7 Aa	13,1 Aa	10,7 Aa
2,5x1	23,6 Aa	21,8 Aa	2,3 Aa	2,2 Aa	11,0 Aa	10,3 Ba
3x0,5	26,9 Aa	22,9 Aa	2,7 Aa	1,9 Aa	10,3 Aa	12,4 Aa
3x0,75	21,6 Aa	16,9 Aa	1,9 Aa	1,6 Aa	11,4 Aa	10,6 Ba
3x1	26,1 Aa	20,4 Aa	2,1 Aa	1,7 Aa	12,6 Aa	12,7 Aa
3,5x0,5	19,6 Aa	19,9 Aa	1,9 Aa	2,5 Aa	10,8 Aa	7,9 Ba
3,5x0,75	25,2 Aa	21,4 Aa	2,9 Aa	2,3 Aa	9,2 Aa	9,4 Ba
3,5x1	21,6 Aa	18,6 Aa	1,9 Aa	2,4 Aa	8,8 Aa	7,8 Ba
	----- 0,2-0,4 m -----					
Mata	22,1 (± 0,3)		2,2 (±0,02 )		10,0 (±0,4 )	
2x0,5	19,3 Ba	17,5 Aa	2,1 Aa	1,9 Aa	9,0 Aa	9,1 Aa
2x0,75	19,1 Ba	18,2 Aa	2,1 Aa	2,0 Aa	9,1 Aa	9,2 Aa
2x1	15,8 Ba	16,3 Ba	1,8 Aa	1,7 Aa	8,4 Aa	10,5 Aa
2,5x0,5	21,4 Aa	18,9 Aa	1,9 Aa	1,9 Aa	11,1 Aa	10,2 Aa
2,5x0,75	20,7 Aa	16,4 Ba	2,1 Aa	1,7 Ab	9,9 Aa	9,7 Aa
2,5x1	18,0 Ba	20,1 Aa	2,0 Aa	2,1 Aa	9,1 Aa	9,8 Aa
3x0,5	21,0 Aa	17,7 Ab	2,0 Aa	1,9 Aa	10,6 Aa	9,6 Aa
3x0,75	19,1 Ba	18,9 Aa	1,9 Aa	2,0 Aa	10,3 Aa	9,5 Aa
3x1	18,2 Ba	18,4 Aa	1,9 Aa	1,8 Aa	9,8 Aa	10,5 Aa
3,5x0,5	21,3 Aa	16,3 Bb	2,3 Aa	1,7 Aa	9,4 Aa	9,8 Aa
3,5x0,75	18,9 Ba	16,1 Bb	1,9 Aa	1,7 Ab	9,9 Aa	9,3 Aa
3,5x1	20,6 Aa	16,1 Bb	1,9 Aa	1,8 Aa	11,1 Aa	9,0 Aa

Valores entre parênteses referem-se ao erro padrão da média (n=3). Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). EL= amostras coletadas nas entrelinhas; PC= amostras coletadas na projeção das copas dos cafeeiros.

Assim, a diminuição nos teores de C na PC pode ser explicada pelo fato de a maior parte dos resíduos orgânicos estar depositada na EL, o que, associado ao maior revolvimento do solo (0-0,05 m) pelas capinas

constantes realizadas na PC, contribuiu para a decomposição mais acelerada da MOS. Na profundidade de 0,1-0,2 m, não foi observado efeito significativo dos espaçamentos de plantio nos teores de C, evidenciando que as maiores diferenças nesses teores entre os espaçamentos de plantio ocorrem nas camadas superficiais do solo.

Os teores de nitrogênio total (NT) do solo não foram influenciados pelos diferentes espaçamentos de plantio dos cafeeiros. A exceção foi a camada de solo de 0-0,1 m, em que, nas amostras coletadas na EL, o maior teor de NT foi observado no tratamento 3,5x1 m (Quadro1). Na profundidade de solo de 0-0,05 m, a variação dos espaçamentos de plantio, dentro de cada ponto de amostragem, não exerceu influência sobre os teores de NT. As diferenças ocorreram entre os pontos de amostragem nos tratamentos 3x0,5; 3x0,75; 3x1; 3,5x0,75 e 3,5x1 m, com os maiores valores sendo observados na EL, evidenciando que as diferenças ocorreram quando as distâncias entre as fileiras dos cafeeiros eram maiores ou iguais a três metros.

As diferenças nos teores de NT, entre as amostras de solo da PC dos cafeeiros e o solo da área de mata, variaram de 8 (3,5x1m) a 33% (2x1; 2,5x0,75 e 3,5x0,5 m). Somente nas amostras coletadas na EL (0-0,05 m), os teores de NT foram superiores à área de mata em todos os tratamentos, com um aumento médio de 25% (ou 2 Mg ha<sup>-1</sup> de NT) em relação ao solo da área de referência, mostrando o efeito positivo da presença dos resíduos vegetais naquele local. Em razão de mais de 95% do NT estar presente no solo na forma orgânica (Camargo et al., 1999), os valores elevados de matéria orgânica na profundidade de 0-0,05 m, evidenciados pelos teores de C (Quadro 1), justificam o comportamento

observado para os teores de NT na EL. Tanto no solo sob mata, como no cultivado com cafeeiros, houve uma tendência de diminuição nos teores de NT com o aumento da profundidade do solo (0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,4 m), do mesmo modo como foi observado para o C.

Em regiões tropicais úmidas, de acordo com Stevenson (1994), os teores de NT de solos não perturbados tendem a cair rapidamente quando o solo passa a ser cultivado. Esse decréscimo é maior nos casos em que os restos culturais são removidos do solo, como ocorrido neste estudo, nas amostras coletadas na PC. Os aumentos nos teores de NT notados na EL podem ser explicados pela maior presença de vegetação de gramíneas (plantas invasoras), as quais, em função de uma alta deposição de matéria orgânica no solo, da elevada alocação de fotossintatos para o sistema radicular, dos elevados teores de lignina nas raízes e do maior coeficiente de humificação do carbono adicionado ao solo (Boddey et al., 2001; Pillon et al., 2001), podem ter acarretado o aumento nos teores de NT, do mesmo modo como foi notado para os teores de C do solo.

As maiores proporções do C e do NT foram observadas nas camadas superficiais do solo. Considerando-se os teores de C e NT avaliados em superfície e em camadas mais profundas do solo, nos diferentes tratamentos e nos dois pontos de coleta de amostra (EL e PC), verificou-se que, nos primeiros 0,1 m de solo, foram armazenados, em média, 57% do C e 62% do NT. Cerri (1989), em estudo conduzido em solos da bacia Amazônica, concluiu que 41,8% do NT estavam armazenados nos primeiros 0,2 m do solo, em razão do maior acúmulo de material orgânico nos horizontes superficiais, tanto no solo sob vegetação natural quanto no cultivado.



A relação C/N do solo apresentou variações significativas nas profundidades de 0-0,1 e 0,1-0,2 m. Na profundidade de 0-0,1 m, os maiores valores foram observados nos espaçamentos de 2x0,75; 2x1 e 2,5x0,5 m (EL) e 2x0,5; 2x0,75; 2x1; 2,5x0,5 e 3x0,5 m (PC) (Quadro 1). Com exceção dos tratamentos 3x1 e 3,5x1 m, na profundidade de 0-0,05 m, não foram observadas diferenças significativas entre os pontos de coleta das amostras de solo. Para solos tropicais não revolvidos, na camada de solo de 0-0,2 m, a relação C/N, normalmente, varia de 10 a 15/1 (Stevenson, 1994). Os baixos valores de relação C/N observados no solo sob cafeeiros podem ser creditados ao alto valor de pH do solo, obtido no momento da coleta das amostras (valor médio de 6,0) e à ausência de alumínio, condições estas favoráveis à decomposição da MOS (Stevenson, 1994). Na camada de solo de 0,2-0,4 m, a relação C/N na área de mata esteve próxima ou abaixo da observada na área cultivada, o que, segundo Duxbury et al. (1989), está relacionado ao fato de a mata ser um sistema menos perturbado, onde ocorrem menores perdas de C em relação ao NT. Na área cultivada, as menores relações C/N nas camadas superficiais (0-0,05 e 0-0,1 m) podem ser explicadas pelo fato de o N orgânico permanecer em sua maior parte nessas camadas, em relação às camadas mais profundas, onde os teores de C são reduzidos em menor intensidade.

### **Carbono da biomassa microbiana**

Os teores de carbono da biomassa microbiana (Cmic), avaliados nas amostras coletadas no verão, foram mais elevados, em todos os tratamentos, na EL (Quadro 2), com valores nos tratamentos 2,5x0,75 e

3x0,5 m (1076 e 1154  $\mu\text{g g}^{-1}$  de solo seco, respectivamente) próximos aos obtidos no solo sob mata (1220  $\mu\text{g g}^{-1}$  de solo seco). Estudos a respeito da população ideal em lavouras cafeeiras apontam para uma densidade próxima a 6.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  (Arcila-Pulgarín & Chaves-Córdoba, 1995), densidade em que foram observados, neste trabalho, os maiores teores de Cmic. Em relação ao solo coletado na EL, os menores valores de Cmic ocorreram no maior espaçamento entre as linhas de plantio (3,5 m), com reduções, em relação à área de mata, de 67, 68 e 63% nos tratamentos 3,5x0,5; 3,5x0,75 e 3,5x1 m, respectivamente. Os valores de Cmic encontrados neste estudo estão próximos aos citados em Marchiori Junior & Melo (2000). Estes autores observaram, em solo cultivado com cafeeiros, teores de Cmic de 440  $\mu\text{g g}^{-1}$  para amostras coletadas nas entrelinhas de cultivo e de 210  $\mu\text{g g}^{-1}$ , para as amostras coletadas na projeção das copas, sem que, no entanto, fossem observadas diferenças significativas entre esses valores.

Os maiores valores de Cmic na EL podem estar associados ao maior aporte de resíduos, ao pouco revolvimento do solo e à presença das plantas invasoras nesse local. Gill & Jackson (2000), analisando os dados disponíveis sobre as taxas de ciclagem de raízes em diversos sistemas de produção, postularam valores anuais de, aproximadamente, 10% da massa de raízes para espécies arbóreas e de 53% para raízes finas de gramíneas. A biomassa microbiana pode ter sido estimulada em decorrência do elevado efeito rizosférico das gramíneas, dominantes entre as invasoras presentes na área experimental, que liberam diversas substâncias orgânicas (exsudatos, mucilagens, secreções, etc.), em razão de seus sistemas radiculares densos e de constante renovação, aumentando a

disponibilidade de nutrientes para a microbiota do solo (Pinton et al., 2001).

Os resultados dos teores de Cmic no solo sob a PC indicam que as características do sistema de manejo adotado (remoção dos resíduos vegetais pelas arruações e revolvimento superficial do solo, durante 11 anos) contribuíram para reduzir a quantidade e, possivelmente, a diversidade de microrganismos. Acredita-se que as entradas de carbono, por meio da adição de resíduos na PC, não estejam sendo suficientes para atender à demanda para a manutenção da biomassa microbiana, o que pode ter acarretado os decréscimos observados nos teores de Cmic.

Considerando-se a área de mata como referência, foi observada uma redução média nos teores de Cmic da ordem de 44% na EL e de 86% na PC. Nas amostras de solo cultivado com cafeeiros, os teores de Cmic foram, em média, 288% maiores na EL, em relação aos teores medidos na PC, onde também foram observadas reduções nos teores de C do solo (Quadro 1). Como as reduções nos teores de Cmic foram mais acentuadas que as reduções do C, os resultados mostram que o Cmic, que representa a parte viva e mais ativa da MOS, é mais sensível à remoção da cobertura vegetal nativa que a parte não viva da matéria orgânica. Por esse motivo, o Cmic tem sido apontado, por alguns autores (D'Andréa et al., 2002; Matsuoka et al., 2003; Mendes & Vivaldi, 1999), como um indicador da qualidade do solo, com maior sensibilidade para detectar modificações decorrentes da adoção de diferentes sistemas de manejo do solo e culturas, antes mesmo que os teores de C sejam alterados de forma significativa.

Quadro 2. Carbono da biomassa microbiana (Cmic) e quociente microbiano (Cmic/C), em Latossolo Vermelho distroférico típico cultivado com cafeeiros em diferentes espaçamentos de plantio.

Tratamento (m)	Cmic ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )		Cmic/C (%)	
	EL	PC	EL	PC
Mata	1220,7 ( $\pm 35,7$ )		2,71 ( $\pm 0,11$ )	
2x0,5	619,0 Ca	246,7 Ab	1,5 Da	0,8 Ab
2x0,75	703,3 Ca	152,8 Ab	2,1 Ca	0,5 Bb
2x1	638,4 Ca	275,6 Ab	1,7 Ca	0,9 Ab
2,5x0,5	585,9 Ca	224,1 Ab	2,1 Ca	0,8 Ab
2,5x0,75	1076,0 Aa	264,7 Ab	3,6 Aa	0,9 Ab
2,5x1	843,3 Ba	185,3 Ab	2,2 Ca	0,6 Bb
3x0,5	1154,0 Aa	103,9 Ab	3,0 Ba	0,4 Bb
3x0,75	552,6 Ca	93,0 Ab	1,4 Da	0,4 Bb
3x1	777,3 Ba	170,3 Ab	2,1 Ca	0,6 Bb
3,5x0,5	401,7 Da	125,3 Ab	1,0 Ea	0,5 Bb
3,5x0,75	389,5 Da	114,5 Ab	1,0 Ea	0,4 Bb
3,5x1	452,8 Da	150,7 Ab	1,2 Ea	0,5 Bb

Valores entre parênteses referem-se ao erro padrão da média (n=3). Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). EL= amostras coletadas nas entrelinhas; PC= amostras coletadas na projeção das copas dos cafeeiros.

A distribuição da relação Cmic/C seguiu a mesma tendência apresentada pelos resultados de Cmic, com os maiores valores observados na EL, em todos os tratamentos avaliados (Quadro 2). A contribuição do Cmic para o C variou de 1,0 a 3,6% para as amostras da EL e de 0,4 a 0,9% para a PC. Insam et al. (1991), avaliando solos sob diferentes coberturas vegetais, observaram valores dessa relação variando de 0,6 a 3,7%. De acordo com Lutzow et al. (2002), esses valores podem variar de acordo com o clima, o pH, o sistema de manejo do solo e de culturas e a quantidade e a qualidade do carbono depositado no solo. No estudo de Marchiori Junior & Melo (2000), que avaliaram diferentes formas de carbono em um Latossolo submetido a variados sistemas de manejo

agrícola, foram observados valores da relação Cmic/C de 1,5%, para amostras coletadas nas entrelinhas e de 0,7%, para amostras coletadas na projeção das copas dos cafeeiros, portanto, valores similares aos encontrados neste estudo.

Os baixos valores da relação Cmic/C obtidos na PC dos cafeeiros indicam que a dinâmica da matéria orgânica nesse local é bem mais lenta em relação à área de mata e à EL, o que pode ser atribuído às entradas bem menores de materiais orgânicos de origem vegetal (parte aérea e raízes).

As variações sazonais (verão/inverno) nos valores de Cmic são apresentadas no Quadro 3. As maiores variações entre as épocas de coleta das amostras de solo ocorreram na PC. De maneira geral, os maiores teores de Cmic observados nas amostras coletadas no verão ocorreram nos espaçamentos entre as linhas maiores que 2,5 m; a menor variação, entre as amostras coletadas no solo da EL dos cafeeiros e no solo de mata, pode estar relacionada ao maior teor de matéria orgânica naquele local, que condiciona uma menor oscilação na umidade e temperatura do solo, proporcionando melhores condições para a manutenção da microbiota do solo. No solo sob mata, foi observado um aumento no Cmic na amostragem realizada no inverno, em relação aos teores medidos nas amostras coletadas no verão. No mês de agosto, época em que foram coletadas as amostras, ocorrem, em geral, grandes deposições de resíduos vegetais decorrentes da estação seca, sobretudo em ambientes naturais, o que, certamente, contribuiu para os maiores valores de Cmic encontrados no solo sob mata nativa na amostragem de inverno.

Quadro 3. Variações sazonais nos teores de carbono na biomassa microbiana (Cmic,  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) em Latossolo Vermelho distroférico típico cultivado com cafeeiros em diferentes espaçamentos de plantio.

Tratamento (m)	Cmic - EL		Cmic - PC	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno
Mata	1220,7 ( $\pm 35,7$ )	1492,81 ( $\pm 69,0$ )	1220,7 ( $\pm 35,7$ )	1492,81 ( $\pm 69,0$ )
2x0,5	619,0 a	812,1 a	246,7 b	519,6 a
2x0,75	703,3 a	966,1 a	152,8 b	448,6 a
2x1	638,4 a	777,8 a	275,6 a	153,9 b
2,5x0,5	585,8 a	557,8 a	224,1 a	158,7 a
2,5x0,75	1076,0 a	351,5 b	264,7 a	80,0 b
2,5x1	843,3 a	440,8 b	185,3 a	113,8 a
3x0,5	1154,1 a	333,9 b	103,9 b	198,6 a
3x0,75	552,6 a	452,6 a	93,0 b	258,3 a
3x1	777,3 a	354,0 b	170,5 a	126,6 a
3,5x0,5	401,7 a	350,8 a	125,3 a	162,9 a
3,5x0,75	389,5 a	504,3 a	114,5 a	76,1 a
3,5x1	452,8 a	367,5 a	150,7 b	227,1 a

Valores entre parênteses referem-se ao erro padrão da média (n=3). Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha não diferem significativamente, pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ), entre épocas (verão e inverno) para o mesmo local de coleta. EL= amostras coletadas nas entrelinhas; PC= amostras coletadas na projeção das copas dos cafeeiros.

Neste estudo, são disponibilizados dados sobre alterações em compartimentos da MOS em área cultivada com cafeeiros, em diferentes espaçamentos de plantio, na região Sul do estado de Minas Gerais, onde a cultura do cafeeiro é um dos agroecossistemas mais representativos. Nas EL dos cafeeiros, a deposição de resíduos vegetais influenciou as variáveis avaliadas, com aumento nos teores de C e NT, bem como no carbono associado à biomassa microbiana do solo. Os resultados também confirmaram as observações de outros estudos realizados no Brasil (Leite et al., 2003; Matsuoka et al., 2003; Mercante et al., 2000), em que foram verificadas reduções acentuadas no Cmic em áreas sob cultivo, bem como

a maior sensibilidade deste atributo como indicador, em relação ao C, do impacto da conversão de áreas nativas para sistemas agrícolas.

### CONCLUSÕES

1. Os teores de C e NT nas amostras de solo da EL foram maiores do que os das amostras coletadas na PC dos cafeeiros.
2. Os efeitos dos espaçamentos de plantio sobre os teores de C e NT restringem-se às camadas superficiais de solo, havendo um incremento nos teores desses elementos no solo quando se aumentou o espaçamento entre as linhas dos cafeeiros.
3. Os teores de Cmic, que são maiores na EL em relação à PC, decresceram com o aumento do espaçamento entre as linhas dos cafeeiros.
4. A época de amostragem influenciou os teores de Cmic, com os menores valores tendo sido observados nas amostras coletadas no inverno.
5. O Cmic, comparativamente ao C do solo, é um atributo mais sensível às alterações provocadas pelo sistema de plantio dos cafeeiros sobre a matéria orgânica do solo.

### LITERATURA CITADA

ARATO, H. D.; MARTINS, S. V.; FERRARI, S. H. de S. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, p. 597-603, 2003.

ARCILA-PULGARÍN, J.; CHAVES-CÓRDOBA, B. Dessarolo foliar del café en tres densidades de siembra. **Cenicafé**, Caldas, v. 46, p. 5-20, 1995.

BEER, J. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. **Agroforester Systems**, Dordrecht, v. 7, n. 2, p. 103-114, 1998.

BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; OLIVEIRA, O. C. de; URGUIGA, S. Potencial para acumulação e seqüestro de carbono em pastagens de Brachiaria. In: LIMA, M. A. de; CABRAL, O. M. R.; MIGUEZ, J. D. G. (Ed.). **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. p. 213-229.

BREMNER, J. M. Nitrogen total. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Part 3. Madison: American Society of Agronomy, 1996. p. 1085-1121 (SSSA Book Series, 5).

CAMARGO, F. A. C.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; VIDOR, C. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G. A. de; CAMARGO, F. A. O. de. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 117-137.

CERRI, C. C. Dinâmica da matéria orgânica em solos de pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DE PASTAGEM, 1989, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: USP, 1989. p. 135-147.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 4ª aproximação**. Lavras: UFLA, 1989. 176 p.

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



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

DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1995. pt. 1, p. 545-566.

DUXBURY, J. M.; SMITH, M. S.; DORAN, J. W.; JORDAN, C.; SZOTT, L.; VANCE, E. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. (Ed.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii Press, 1989. p. 33-67.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1979. 247 p.

ESTADOS UNIDOS. Department of energy. **Sequestration of carbon: state of the science**. Washington, 1999. n. p.

FEIGL, B. J.; SPARLING, G. P.; ROSS, D. J.; CERRI, C. C. Soil microbial biomass in Amazonian soils: evaluation of methods and estimates of pool sizes. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 27, n. 11, p. 1467-1472, Nov. 1995.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows 4. 0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., São Carlos, 2000. **Anais...** São Carlos: UFSCAR, 2000. p. 255-258.

GAMA-RODRIGUES, E. F. da. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A. de; CAMARGO, F. A. O. de. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 227-243.

GILL, A. M.; JACSON, R. B. Global pattern of root turnover for terrestrial ecosystems. **New Phytologist**, Oxford, v. 147, p. 13-31, 2000.

INSAM, H.; MITCHEL, C. C.; DORMAAR, J. F. Relationship of soil microbial biomass and activity with fertilization practice and crop yield of three ultisols. **Soil Biology and Biochemistry** Oxford, v. 23, n. 5, 459-464, 1991.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 5, p. 821-832, 2003.

LONGO, R. M.; ESPÍNDOLA, C. R. C-orgânico, N-total e substâncias húmicas sob influência da introdução de pastagens (*Brachiaria* sp.) em áreas de Cerrado e Floresta Amazônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, n. 4, p. 723-729, 2000.

LUTZOW, M. von; LEIFELD, J.; KAINZ, M.; KNABNER-KOGEL, I.; MUNCH, J. C. Indications for soil organic matter quality in soil under different management. **Geoderma**, Amsterdam, v. 105, p. 243-258, 2002.

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

MARCHIORI JUNIOR, M.; MELO, W. J. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo som mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 257-263, 1999.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, p. 425-433, 2003.

MENDES, I. C.; VIVALDI, L. Dinâmica da biomassa e atividade microbiana em uma área sob Mata de Galeria na região do DF. In: RIBEIRO, J. F.; SILVA, J. C. S.; LAZARINI, C. E. (Ed.). **Conservação e recuperação da biodiversidade das Matas de Galeria do bioma Cerrado**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 1999. 5 p. (Pesquisa em andamento, 5).

MERCANTE, F. M.; GUIMARÃES, J. B. R.; MANJABOSCO, A. D.; SOARES, A. S.; BRAGA, A. C. A.; ALMEIDA, K. A. Alterações na biomassa microbiana do solo submetido a diferentes sistemas de manejo e rotações/sucessões de culturas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3., Santa Maria, 2000. **Anais...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Sociedade Brasileira de Microbiologia, 2000. CD-ROM.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F. F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3, p. 209-248.

PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D. Influência da densidade de plantio de cafeeiro sobre a fertilidade do solo. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFEEIRO ADENSADO, 1996, Londrina. **Anais...** Londrina: IAPAR/CNPq, 1996. p. 76-89.

PILLON, C. N.; MIELNICZUK, J.; MARTIN NETO, L. Seqüestro de carbono por sistemas de manejo do solo e seus reflexos sobre o efeito estufa. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 4., 2001, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa/Departamento de Solos, 2001. p. 20-22.

PINTON, R.; VARANINI, Z.; NANNPIERI, P. **The rhizosphere: biochemistry and organic substances at the soil-plant interface.** New York: Marcel Dekker, 2001. 424 p.

SMITH, J. L.; PAUL, E. A. The significance of soil microbial biomass estimations. In: BOLLAG, J. M.; STOTSKY, G. **Soil biochemistry.** New York: Marcel Dekker, 1990. p. 357-398.

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 30, n. 2, p. 195-207, 1992.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions.** 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1994. 496 p.

TIESSSEN, H.; CUEVAS, E.; CHACON, P. The role of soil organic matter stability in soil fertility and agricultural potential. **Nature**, London, v. 371, n. 6500, p. 783-785, Oct. 1994.

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.

WARDLE, D. A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biological Review**, Prague, v. 67, p. 321-358, 1992.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

### **CAPÍTULO 3**

#### **FRAÇÕES OXIDÁVEIS DO CARBONO DE LATOSSOLO CULTIVADO COM CAFEEIROS EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO**

*(Preparado de acordo com as normas da revista Ciência e Agrotecnologia)*

##### **RESUMO**

Este estudo teve por objetivo avaliar o grau de oxidação do carbono de Latossolo Vermelho distroférico típico cultivado com cafeeiros (*Coffea arabica* L.), em diferentes espaçamentos de plantio, em um experimento localizado na área da Fazenda Experimental da EPAMIG, em Machado, MG. Os tratamentos avaliados, instalados a campo em 1992, consistiram da combinação de quatro espaçamentos entre as linhas (2,0; 2,5; 3,0 e 3,5 m) com três espaçamentos entre as plantas (0,5; 0,75 e 1,0 m). Uma área sob mata nativa adjacente ao experimento foi amostrada e usada como referência. Para a avaliação do grau de oxidação do carbono (C), as amostras de solo foram coletadas nas entrelinhas (EL) e na projeção das copas (PC) dos cafeeiros, nas camadas de solo de 0-0,05 e 0-0,1 m. A qualidade da matéria orgânica foi afetada pelos espaçamentos de plantio e pelos pontos de coleta das amostras de solo, com o carbono na fração  $F_1$  ( $CF_1$ ) representando, em média, 44% do C do solo. Na EL, na medida em que se aumentou o espaçamento entre as ruas dos cafeeiros, houve um acréscimo nos teores de carbono de baixa

biodisponibilidade (CBB) no solo. Os teores de  $CF_1$  demonstram ser mais sensíveis, quando comparados aos de C e CBB, na avaliação dos efeitos de diferentes espaçamentos de plantio do cafeeiro sobre a qualidade da matéria orgânica do solo.

**TERMOS PARA INDEXAÇÃO:** *Coffea arabica* L., densidade de plantio, matéria orgânica do solo, carbono oxidável.

**OXIDIZIBLE CARBON FRACTIONS IN A LATOSOL  
CULTIVATED WITH COFFEE IN DIFFERENT PLANTING  
SPACINGS**

**ABSTRACT**

The present work was carried out to evaluate the degree of oxidation of carbon of a dystroferric Red Latosol (Oxisol) cultivated with coffee (*Coffea Arabica* L.) in different planting spacings, in an area of Experimental Farm of EPAMIG, in Machado (Minas Gerais State-Brazil). The treatments, installed in field in 1992, consisted of the combination of four spacings among lines (2.0, 2.5, 3.0 and 3.5 m) with three spacings among plants (0.5, 0.75 and 1.0 m). As a reference, soil samples were also collected in an adjacent area under native forest. For the evaluation of the degree oxidizable carbon (C), the soil samples were collected in the interline (IL) and in the canopy projection (CP) of coffee plants, in the 0-

0,05 and 0-0,1 m soil depths. The quality of the organic matter was affected by the planting spacings and sampling points of soil samples, with the bioavailability carbon (BC) contributing, in average, to 44% of soil C. In the interline, when the space between planting lines was higher, there was an increment in the soil carbon of low bioavailability (LBC) contents. The BC is more sensitive when compared to the C and LBC in evaluating the effects of different coffee planting spacings on the quality of the soil organic matter.

**INDEX TERMS:** *Coffea arabica* L., planting density, soil organic matter, oxidation carbon.

## INTRODUÇÃO

A intervenção humana nos ecossistemas naturais para a implantação de atividades agropecuárias diminui o estoque e altera a composição química da matéria orgânica do solo (MOS) (Gregorich et al., 1994; Silva et al.; 1999; Zinn et al., 2005). No estudo desses impactos negativos, os sistemas de produção com culturas anuais são os mais investigados, em virtude da sua grande extensão, seu histórico de uso mais antigo e sua importância econômica. Entretanto, poucos são os estudos que têm avaliado o impacto do cultivo de espécies perenes sobre

os teores e composição da MOS. No estado de Minas Gerais, uma das culturas perenes com maior expressão econômica é a do cafeeiro, cuja expansão tem sido substancial nas últimas décadas. Tal crescimento elevou o estado à categoria de maior produtor de café do País, sendo que, dos vinte maiores municípios produtores de café do Brasil, oito estão localizados Minas Gerais (ABIC, 2006).

Nos últimos anos, o sistema de cultivo da cafeicultura mineira tem passado por grandes alterações, principalmente em relação à densidade populacional. Os espaçamentos largos, característicos da cafeicultura tradicional, estão sendo substituídos por espaçamentos menores, com maior número de plantas por unidade de área, comumente conhecido como sistema adensado de plantio de cafeeiro (Pavan & Chaves, 1996). Além do aumento na produção, este sistema proporciona maior proteção do solo, constituindo-se em importante prática de manejo para a recuperação dos teores de MOS.

Pavan et al. (1999) observaram que o aumento de 893 para 7.143 plantas ha<sup>-1</sup>, em lavoura cafeeira, resultou em um acréscimo de 36% no teor de carbono do solo, na camada de 0-0,2 m. Paralelamente ao aumento no teor de carbono, Pavan et al. (1999) também relataram, com o



adensamento da lavoura, alterações nas principais características químicas do solo, tais como aumento do pH, dos teores  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , P,  $\text{K}^+$ , do valor da capacidade de troca de cátions (CTC) e diminuição do teor de  $\text{Al}^{+3}$ .

Além das mudanças na quantidade de matéria orgânica em solos cultivados, também têm sido observadas mudanças na sua qualidade, notadamente no grau de oxidação e biodisponibilidade (Blair et al., 1995; Shang & Tiessen, 1997). Em regiões temperadas, o cultivo contínuo do solo aumenta o grau de aromaticidade da matéria orgânica e diminui o conteúdo de frações de maior biodisponibilidade (Preston, 1996). Como consequência, a sustentabilidade desses agroecossistemas é comprometida, pois a atividade microbiana, a ciclagem de nutrientes e a CTC do solo são reduzidas. Nos solos brasileiros, alguns estudos têm mostrado que as perdas acentuadas de carbono com o desmatamento e cultivo dos solos são acompanhadas pelo consumo de frações orgânicas de maior labilidade, o que implica em aumento do já elevado grau de aromaticidade da MOS (D'Andréa et al., 2002; Freixo et al., 2002; Silva et al., 1999).

Conceitualmente, o carbono biodisponível é aquele constituído pelos compostos orgânicos mais facilmente mineralizados pelos

microrganismos do solo (Maia & Cantarutti, 2003). Procedimentos colorimétricos baseados na oxidação do carbono com permanganato de potássio ( $\text{KMnO}_4$ ) a pH 7,0 têm sido propostos para diferenciar o carbono com base em sua biodisponibilidade. Blair et al. (1995) consideram como carbono biodisponível o carbono oxidável por uma solução de  $\text{KMnO}_4$   $0,333 \text{ mol L}^{-1}$ . Entretanto, Shang & Tiessen (1997) propuseram a diminuição da concentração de  $\text{KMnO}_4$  para  $0,033 \text{ mol L}^{-1}$ , considerada suficiente para oxidar o carbono biodisponível do solo. Estes autores indicam que o emprego de um oxidante mais diluído que o utilizado por Blair et al. (1995), para mostrar mudanças na qualidade da matéria orgânica de um Oxisol da região tropical, se deve ao fato de a matéria orgânica ser mais lábil neste solo do que no de regiões temperadas, onde o método foi desenvolvido.

No intuito de avaliar diferentes frações de oxidação do carbono do solo, Chan et al. (2001) introduziram uma modificação no método clássico de determinação do carbono do solo desenvolvido por Walkley & Black (1934). No método original, o carbono é determinado pela utilização de uma única concentração de ácido sulfúrico ( $12 \text{ mol L}^{-1}$ ) e, com a modificação proposta por Chan et al. (2001), pode-se separar

quatro frações com graus decrescentes de oxidação, por meio da utilização de quantidades crescentes de ácido sulfúrico. Um entrave nessa metodologia é a dificuldade de se comparar os valores obtidos com os determinados pelos métodos descritos por Blair et al. (1995) e Shang & Tiessen (1997), pois é evidente que, com a mudança nas concentrações de ácidos e dos oxidantes, determinadas formas de carbono, antes não afetadas, serão oxidadas pela metodologia proposta por Chan et al. (2001).

Nos estudos desenvolvidos por Blair et al. (1995), o carbono biodisponível representou, aproximadamente, 50% do carbono do solo, enquanto que, nos estudos de Shang & Tiessen (1997), com a utilização de uma menor concentração de  $\text{KMnO}_4$ , o carbono biodisponível representou, em média, 25% do carbono do solo, metade do valor encontrado com a concentração anterior. Com base no procedimento descrito por Chan et al. (2001), Freitas et al. (2004), avaliando o impacto da adubação orgânica e mineral sobre a qualidade da MOS, encontraram valores de carbono biodisponível correspondendo a cerca de 28% do carbono do solo, valor abaixo do descrito por Andrade et al. (2005), de 50%, para solo adubado com lodo de esgoto. Dessa forma, a separação do

carbono em diferentes graus de oxidação requer ajustes metodológicos, além dos aspectos relacionados às diferenças de clima, manejo e solo, que alteram as taxas de oxidação da MOS.

A ausência de resultados ligados ao efeito do cultivo do cafeeiro sobre o grau de oxidação da MOS é um dos aspectos que justificam este estudo. Avaliações dessa natureza são essenciais não apenas para averiguar o impacto da interferência da atividade no ecossistema, mas também para determinar se a qualidade do solo em áreas cafeeiras não está sendo comprometida em médio e longo prazos, em função da degradação e perda acelerada da MOS. Assim, este estudo teve por objetivo avaliar o grau de oxidação do carbono de um Latossolo cultivado com cafeeiro, em diferentes espaçamentos de plantio, no Sul do estado de Minas Gerais.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi conduzido em uma área da Fazenda Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), situada a 10 km do município de Machado, MG. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico, textura média. As principais características químicas e físicas do solo da área

experimental, os procedimentos de instalação e condução do experimento e os tratamentos avaliados foram descritos no Capítulo 2.

A amostragem do solo foi realizada em dezembro de 2003, conforme procedimentos descritos no Capítulo 2. Coletaram-se cinco amostras simples nas profundidades de 0-0,05 e 0-0,1 m, coletando-se cinco amostras simples em cada ponto de amostragem (EL e PC), perfazendo uma amostra composta por parcela. Numa área sob mata nativa, a cerca de um quilômetro do experimento, com a mesma classe de solo e sem histórico de intervenção humana, foram coletadas amostras de solo nas mesmas profundidades que na área experimental, que foram utilizadas como referência de área sob vegetação natural.

As amostras de solo foram homogeneizadas, acondicionadas em sacos plásticos e conduzidas para o laboratório, onde foram secadas ao ar, destorroadas, trituradas em almofariz e passadas em peneira de malha de 0,210 mm.

O método utilizado para o fracionamento do C por graus de oxidação foi adaptado de Chan et al. (2001) e Freitas et al. (2004). Amostras de 0,3 g de solo foram acondicionadas em frasco erlenmeyer de 250 mL, aos quais foram adicionados 10 mL  $K_2Cr_2O_7$  0,167 mol L<sup>-1</sup> e

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

- Fração 1 ( $F_1$ ): C oxidado por  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  em meio ácido de  $3 \text{ mol L}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;
- Fração 2 ( $F_2$ ): diferença do C oxidado por  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  em meio ácido com 6 e  $3 \text{ mol L}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;
- Fração 3 ( $F_3$ ): diferença do C oxidado por  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  em meio ácido com 9 e  $6 \text{ mol L}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;
- Fração 4 ( $F_4$ ): diferença do C oxidado por  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  em meio ácido com 12 e  $9 \text{ mol L}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;

Tendo como base as variações nos teores e frações de C entre o solo do sistema referência (mata nativa) e o solo cultivado com cafeeiro, foram calculados os seguintes índices: índice de compartimento de

carbono (ICC) =  $C_{\text{cultivado}}/C_{\text{referência}}$ ; grau de biodisponibilidade do carbono (GBC) =  $CF_1/CBB$ ; índice de biodisponibilidade do carbono (IBC) =  $GBC_{\text{cultivado}}/GBC_{\text{referência}}$  e o índice de carbono orgânico (ICO) =  $ICC \times IBC \times 100$ . O carbono de baixa biodisponibilidade (CBB) foi obtido pela diferença entre o teor de C do solo e o carbono na fração  $F_1$  ( $CBB = C - CF_1$ )

Os teores de C do solo foram determinados pela metodologia descrita em Yeomans & Bremner (1988) e utilizados no cálculo da relação  $CF_1/C$ , do ICC e na identificação de frações da MOS mais sensíveis à adoção dos diferentes espaçamentos de plantio dos cafeeiros.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância para verificação, em cada profundidade de solo, dos efeitos dos diferentes espaçamentos de plantio dos cafeeiros sobre as frações do C com graus variáveis de oxidação. A comparação das médias foi efetuada entre os espaçamentos de plantio e entre os pontos de coleta das amostras de solo (EL e PC). Os dados levantados na área de mata nativa foram excluídos da análise estatística pelo fato de o local não compor o desenho experimental usado para avaliar os efeitos dos espaçamentos de plantio

dos cafeeiros sobre os atributos estudados. As comparações das médias foram efetuadas pelo teste de Scott-Knott, a 5 % de probabilidade.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os dados referentes ao fracionamento do C por graus de oxidação são apresentados na Tabela 1. Para todos os espaçamentos de plantio e pontos de coleta das amostras de solo, a maior proporção do C esteve associada à fração de oxidação  $F_1$ , o que implica em uma maior predominância, no solo sob cultivo de cafeeiros, de matéria orgânica de maior labilidade. Os teores de carbono na fração  $F_1$  ( $CF_1$ ) na EL foram, em média, 43% (0-0,05 m) e 18% (0-0,1 m) superiores aos obtidos nas amostras coletadas na PC e 29% (0-0,05 m) maiores em relação ao solo de mata. Os resultados também indicaram uma redução nos teores  $CF_1$  com o aumento da profundidade do solo, resultados também observados por Andrade et al. (2005).

De modo geral, os resultados de pesquisas com frações de oxidação do C evidenciam que culturas agrícolas e ou sistemas de manejo que favorecem adições freqüentes de material orgânico ao solo tendem a apresentar maior proporção de carbono na fração de maior oxidação, em



detrimento das frações mais resistentes (Blair et al., 1995; Chan et al., 2001), o que é consistente com a maior deposição de resíduos na EL e no solo de mata, em relação à PC.

Comparando-se os diversos espaçamentos de plantio dos cafeeiros, é possível notar que os maiores teores de  $CF_1$  foram, em geral, verificados nos maiores espaçamentos entre as linhas (3,0 e 3,5 metros, Tabela 1). Os dados apresentados na Tabela 1 indicam também uma maior proporção na área de mata nativa, em relação à área de cultivo de cafeeiros, do C nas frações  $F_3$  e  $F_4$  (32,8 e 36,3%, respectivamente, para as profundidades de 0-0,05 e 0-0,1 m), evidenciando o acúmulo, neste local, de compostos orgânicos de maior estabilidade química e massa molar, oriundos da decomposição e humificação da MOS (Stevenson, 1994). É importante ressaltar que a fração mais resistente ( $F_4$ ) que respondeu, em média, na EL, por 11,5% e na PC por 12,6% do C presente nas profundidades de 0-0,05 e 0-0,1 m, respectivamente, é denominada de “compartimento passivo” do C nos modelos de simulação da dinâmica da MOS, com um tempo de reciclagem de até 2.000 anos (Chan et al., 2001).

Os teores de  $CF_1$  nas duas profundidades avaliadas responderam por cerca de 44% do total de C presente no solo, com destaque para o

espaçamento 3x1 m na profundidade de 0-0,05 m, no qual 53,5% do C do solo era representado pela fração  $F_1$  (Tabela 2). Os maiores valores do grau de biodisponibilidade do carbono (GBC) e do índice de biodisponibilidade do carbono (IBC) foram observados nos espaçamentos 2,5x0,5; 2,5x0,75; 3x0,5 e 3x0,75 m (EL e PC); 3x1 m (EL) e 2,5x1 m (PC), na profundidade de 0-0,05 m e, 2x0,5 m (EL e PC); 2,5x1 m (EL) e 2x1 e 2,5x0,75 m (PC), na profundidade de 0-0,1 m (Tabela 2), o que implica, nesses espaçamentos, numa maior proporção de  $CF_1$ . Os valores do índice de compartimento do carbono (ICC) apresentados na Tabela 2 indicam que, em relação ao sistema referência (mata nativa), as amostras coletadas na EL dos cafeeiros apresentaram um menor decréscimo relativo nos teores de C, enquanto que, nas amostras coletadas na PC, onde o acúmulo de resíduos era reduzido e a intervenção antrópica era maior, os teores de C não estão sendo recuperados, ou seja, os valores do ICC estão abaixo de 1.

Tabela 1. Frações do carbono ( $\text{g kg}^{-1}$ ) de Latossolo Vermelho distroférico típico cultivado com cafeeiros em diferentes espaçamentos de plantio, no Sul de Minas Gerais.

Tratamento (m)	Carbono na fração (F)			
	F <sub>1</sub>		F <sub>2</sub>	
	EL	PC	EL	PC
	----- 0-0,05 m -----			
Mata	12,2 (27)		12,4 (27,5)	
2x0,5	12,4(31)Ca	9,4(35) Bb	7,8(19) a	5,4(20) a
2x0,75	11,2(38)Ca	10,0(36)Ba	7,8(26) a	5,0(18) a
2x1	13,9(38)Ca	11,8(40)Aa	8,8(24) a	5,1(17) a
2,5x0,5	15,6(49)Ba	13,6(50)Aa	6,0(19) a	3,4(12) a
2,5x0,75	16,1(45)Ba	13,0(45)Ab	7,9(22) a	4,8(17) a
2,5x1	16,8(43)Ba	13,0(45)Ab	7,2(18) a	7,0(25) a
3x0,5	18,0(48)Aa	11,2(46)Ab	7,6(20) a	5,6(23) a
3x0,75	19,0(50)Aa	12,6(50)Ab	9,4(25) a	6,6(26) a
3x1	19,4(53)Aa	9,6(37) Bb	9,2(25) a	5,0(19) b
3,5x0,5	14,4(37)Ca	8,6(33) Bb	10,2(26)a	9,2(35) a
3,5x0,75	15,2(37)Ba	9,8(39) Bb	8,4(21) a	7,8(31) a
3,5x1	15,8(42)Ba	10,6(35)Bb	9,3(25) a	7,0(23) a

...continua...

Tabela 1, Cont.

Tratamento (m)	Carbono na fração (F)			
	F <sub>1</sub>		F <sub>2</sub>	
	EL	PC	EL	PC
	----- 0-0,1 m -----			
Mata	11,2(32,3)		9,6 (27,7)	
2x0,5	11,2(52)Ba	9,8(50) Aa	3,8(17)Ca	4,2(22)Ba
2x0,75	10,6(47)Ba	9,4(47) Aa	4,2(18)Ca	4,8(24)Ba
2x1	10,5(51)Ba	10,2(51)Aa	2,5(12)Ca	3,3(17)Ba
2,5x0,5	11,0(44)Ba	8,0(37) Bb	4,8(19)Cb	8,6(40)Aa
2,5x0,75	10,2(40)Ba	11,1(50)Aa	9,6(38)Aa	5,1(23)Bb
2,5x1	11,8(58)Aa	8,4(46) Bb	5,0(24)Ca	6,0(38)Ba
3x0,5	9,4(45) Ca	9,8(48) Aa	8,2(39)Aa	5,6(27)Bb
3x0,75	7,2(29) Da	7,2(35) Ba	6,6(26)Ba	5,2(25)Ba
3x1	7,6(36) Da	8,2(42) Ba	7,2(34)Ba	3,2(16)Bb
3,5x0,5	13,4(49)Aa	8,0(40) Bb	3,8(14)Ca	5,2(26)Ba
3,5x0,75	10,2(45)Ba	8,8(49) Ba	4,0(18)Ca	4,4(25)Ba
3,5x1	12,8(46)Aa	8,8(42) Bb	8,8(31)Aa	4,6(22)Bb

...continua...

Tabela 1, Cont.

Tratamento (m)	Carbono na fração (F)				CBB	
	F <sub>3</sub>		F <sub>4</sub>		EL	PC
	EL	PC	EL	PC		
	----- 0-0,05 m -----					
Mata	10,0 (22,2)		4,8 (10,6)		32,9	
2x0,5	10,0(25)a	7,6(29)Aa	2,7(7)Ba	2,4(9) a	27,9 Aa	17,2 Ab
2x0,75	8,2(28) a	6,4(23)Aa	3,2(11)Ba	3,4(12) a	18,4 Ca	17,7 Aa
2x1	8,1(22) a	7,2(24)Aa	3,3(9) Ba	3,3(11) a	22,9 Ba	18,0 Ab
2,5x0,5	7,4(23) a	5,8(21)Aa	3,0(9) Ba	1,0(4) a	11,7 Da	13,6 Ba
2,5x0,75	8,6(24) a	7,4(26)Aa	6,0(17)Aa	0,6(2) b	19,4 Ca	15,7 Ba
2,5x1	9,0(23) a	6,8(24)Aa	2,1(5) Ba	1,6(6) a	22,6 Ba	15,6 Bb
3x0,5	11,2(30)a	3,6(15)Bb	3,6(9) Ba	2,6(11) a	19,8 Ca	13,1 Bb
3x0,75	9,0(24) a	1,2(5) Bb	8,2(21)Aa	5,0(20) b	19,2 Ca	12,7 Bb
3x1	5,8(16) a	6,8(26)Aa	4,4(12)Ba	1,3(5) b	16,9 Ca	16,5 Aa
3,5x0,5	8,4(22) a	5,8(22)Aa	5,0(13)Aa	1,4(5) b	24,1 Ba	17,3 Ab
3,5x0,75	9,6(24) a	3,6(14)Bb	3,2(8) Ba	3,2(13) a	25,3 Aa	15,2 Bb
3,5x1	8,3(22) a	4,2(14)Bb	5,4(14)Aa	3,0(10) a	21,7 Ba	19,5 Aa

...continua...

Tabela 1, Cont.

Tratamento (m)	Carbono na fração (F)				CBB	
	F <sub>3</sub>		F <sub>4</sub>		EL	PC
	EL	PC	EL	PC		
	----- 0-0,1 m -----					
Mata	9,0 (25,9)		3,6 (10,4)		23,5	
2x0,5	4,8(22) a	4,4(23)Aa	1,6(7) Ba	1,8(9) Ba	10,5 Ba	9,50 Ba
2x0,75	3,8(17) a	4,0(20)Aa	3,6(16)Aa	2,0(10)Ba	12,1 Ba	10,6 Ba
2x1	4,2(20) a	3,3(17)Aa	1,2(6) Ba	2,4(12)Ba	10,5 Ba	8,50 Ba
2,5x0,5	5,0(20) a	0,4(2) Bb	3,6(14)Aa	5,4(25)Aa	14,2 Aa	13,7 Aa
2,5x0,75	3,9(15) a	1,2(5) Ba	4,8(19)Aa	4,5(20)Aa	15,8 Aa	8,90 Bb
2,5x1	5,0(24) a	5,4(29)Aa	2,2(11)Ba	2,4(13)Ba	8,70 Ba	9,90 Ba
3x0,5	3,2(15) a	4,0(20)Aa	0,4(2) Bb	3,0(15)Ba	11,4 Ba	10,6 Ba
3x0,75	7,0(28) a	4,6(22)Aa	3,2(13)Aa	2,0(10)Ba	17,9 Aa	13,2 Ab
3x1	5,4(26) a	4,6(24)Aa	3,0(14)Aa	3,4(17)Ba	13,5 Aa	11,2 Aa
3,5x0,5	6,6(24) a	4,0(20)Aa	2,4(9) Ba	1,6(8) Ba	13,7 Aa	11,9 Aa
3,5x0,75	2,6(11) a	3,6(20)Aa	4,4(19)Aa	3,2(18)Ba	12,4 Ba	9,10 Bb
3,5x1	4,8(17) a	4,6(22)Aa	4,2(15)Aa	2,6(13)Ba	15,3 Aa	11,9 Ab

F<sub>1</sub>= C oxidado por K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> em meio ácido de 3 mol L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; F<sub>2</sub>= diferença do C oxidado por K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> em meio ácido, com 6 e 3 mol L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; F<sub>3</sub>= diferença do C oxidado por K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> em meio ácido, com 9 e 6 mol L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; F<sub>4</sub>= diferença do C oxidado por K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> em meio ácido, com 12 e 9 mol L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Valores entre parênteses referem-se ao percentual do C do solo. Para os teores de C em cada fração, as letras maiúsculas comparam os tratamentos (na coluna) e as letras minúsculas comparam os locais de coleta das amostras de solo em cada tratamento (nas linhas), pelo teste de Scott-Knott (p≤0,05). A ausência de letras maiúsculas designa diferença não significativa entre os espaçamentos. EL= amostras coletadas nas entrelinhas; PC= amostras coletadas na projeção das copas dos cafeeiros. O carbono de baixa biodisponibilidade (CBB) representa a diferença entre o C do solo e o CF<sub>1</sub>.

Tabela 2. Proporção de carbono na fração F<sub>1</sub> (CF<sub>1</sub>/C), índice de compartimento de carbono (ICC), grau de biodisponibilidade do carbono (GBC), índice de biodisponibilidade do carbono (IBC) e índice de carbono orgânico (ICO), nas profundidades de 0-0,05 e 0-0,1 m de Latossolo Vermelho distroférico típico cultivado com cafeeiros, em diferentes espaçamentos de plantio, no Sul de Minas Gerais.

Tratamento (m)	CF <sub>1</sub> /C (%)		Índices							
			ICC		GBC		IBC		ICO	
	EL	PC	EL	PC	EL	PC	EL	PC	EL	PC
	----- 0-0,05 m -----									
Mata	27,1 (± 1,6)		-		0,37 (± 0,03)		-		-	
2x0,5	30,8Ba	35,7Ba	0,89Aa	0,59Ab	0,45Ba	0,58Ba	1,20Ba	1,56Ba	107Ba	90Ba
2x0,75	38,0Ba	36,0Ba	0,66Ba	0,62Aa	0,61Ba	0,57Ba	1,65Ba	1,52Ba	108Ba	94Ba
2x1	37,8Ba	40,0Ba	0,81Aa	0,66Ab	0,62Ba	0,67Ba	1,66Ba	1,81Ba	134Ba	117Ba
2,5x0,5	49,7Aa	50,0 <sup>A</sup> a	0,61Ba	0,60Aa	1,00Aa	1,00Aa	2,73Aa	2,70Aa	162Ba	163Aa
2,5x0,75	45,4Aa	45,4 <sup>A</sup> a	0,79Aa	0,64Ab	0,84Aa	0,83Aa	2,25Aa	2,24Aa	178Ba	142Aa
2,5x1	38,5Ba	45,4 <sup>A</sup> a	0,87Aa	0,63Ab	0,62Ba	0,84Aa	1,68Ba	2,27Aa	146Ba	144Aa
3x0,5	47,3Aa	45,9 <sup>A</sup> a	0,84Aa	0,54Ab	0,90Aa	0,85Aa	2,42Aa	2,29Aa	205Aa	124Ab
3x0,75	49,9Aa	49,7 <sup>A</sup> a	0,85Aa	0,56Ab	1,01Aa	1,01Aa	2,72Aa	2,71Aa	229Aa	153Ab
3x1	53,5Aa	36,8Bb	0,80Aa	0,58Ab	1,16Aa	0,60Bb	3,12Aa	1,61Bb	251Aa	93Bb
3,5x0,5	37,4Ba	33,3Ba	0,85Aa	0,57Ab	0,60Ba	0,51Ba	1,61Ba	1,37Ba	138Ba	78Bb
3,5x0,75	37,6Ba	39,5Ba	0,90Aa	0,55Ab	0,60Ba	0,66Ba	1,62Ba	1,76Ba	145Ba	97Bb
3,5x1	42,1Ba	35,3Ba	0,83Aa	0,67Ab	0,74Ba	0,55Ba	2,00Ba	1,47Ba	166Ba	98Bb

... continua...

Tabela 2, Cont.

Tratamento (m)	CF <sub>1</sub> /C (%)		Índices							
			ICC		GBC		IBC		ICO	
	EL	PC	EL	PC	EL	PC	EL	PC	EL	PC
	----- 0-0,1 m -----									
Mata	32,3 (± 1,5)		-		0,48 (± 0,03 )		-		-	
2x0,5	51,7Aa	50,9 <sup>A</sup> a	0,63Ba	0,56Aa	1,07Ba	1,05Aa	2,26Aa	2,20Aa	140Aa	122Aa
2x0,75	47,1Aa	47,0 <sup>A</sup> a	0,65Ba	0,58Aa	0,91Ca	0,89Ba	1,92Aa	1,87Ba	123Ba	107Ba
2x1	49,7Aa	54,6 <sup>A</sup> a	0,60Ba	0,54Aa	0,99Ba	1,20Aa	2,10Aa	2,53Aa	125Ba	136Aa
2,5x0,5	43,7Aa	36,9Ba	0,73Aa	0,63Ab	0,78Ca	0,59Ba	1,64Aa	1,24Ba	119Ba	77Bb
2,5x0,75	39,2Bb	56,3 <sup>A</sup> a	0,75Aa	0,58Ab	0,65Cb	1,34Aa	1,36Bb	2,82Aa	102Bb	159Aa
2,5x1	57,9Aa	46,1 <sup>A</sup> b	0,59Ba	0,53Aa	1,48Aa	0,85Bb	2,30Aa	1,79Ba	141Aa	94Bb
3x0,5	45,1Aa	48,0 <sup>A</sup> a	0,60Ba	0,59Aa	0,82Ca	0,93Ba	1,73Aa	1,95Ba	104Ba	115Aa
3x0,75	28,8Ca	35,4Ba	0,72Aa	0,59Ab	0,41Ca	0,55Ba	0,85Ba	1,16Ba	61Ca	68Ba
3x1	36,2Ba	42,7Ba	0,61Ba	0,56Aa	0,57Ca	0,79Ba	1,20Ba	1,67Ba	73Ca	92Ba
3,5x0,5	49,5Aa	40,9Bb	0,78Aa	0,57Ab	0,98Ba	0,72Ba	2,10Aa	1,52Ba	161Aa	85Bb
3,5x0,75	45,1Aa	49,4 <sup>A</sup> a	0,65Ba	0,52Ab	0,83Ca	1,00Aa	1,75Aa	2,11Aa	114Ba	108Ba
3,5x1	45,4Aa	42,5Ba	0,81Aa	0,60Ab	0,85Ca	0,74Ba	1,78Aa	1,56Ba	144Aa	93Bb

EL= amostras coletadas nas entrelinhas; PC= amostras coletadas na projeção das copas dos cafeeiros. Para cada índice e profundidade de solo, letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott (p≤0,05).



Na profundidade de 0-0,05 m, os valores do índice de carbono orgânico do solo (ICO) foram superiores a 100 em todos os espaçamentos de plantio, quando as amostras foram coletadas na EL, com valores variando de 107 (2x0,5 m) a 251 (3x1 m). Ainda na profundidade de 0-0,05 m, na PC, os valores de ICO variaram de 90 (2x0,5 m) a 163 (2,5x0,5 m), com média entre os espaçamentos de 116. Os valores de ICO acima de 100, observados na EL para todos os espaçamentos de plantio, denotam que o manejo implantado nesse local, com maior aporte de resíduos vegetais, contribuiu para aumentar a capacidade de preservação e recuperação dos teores e, ou, da qualidade das frações orgânicas presentes no solo sob cultivo de cafeeiros.

Na Figura 2 são apresentados os aumentos e reduções percentuais nos teores de carbono de diferentes frações das amostras coletadas nos distintos pontos (EL e PC) e espaçamentos de plantio dos cafeeiros. Os atributos do solo na área de mata nativa foram utilizados como referência. Os resultados evidenciam a maior variabilidade dos teores de  $CF_1$  em relação aos teores de C e carbono de baixa biodisponibilidade (CBB), o que atesta a maior sensibilidade do  $CF_1$  em responder às alterações provocadas pelos sistemas de manejo do solo. Os resultados apresentados

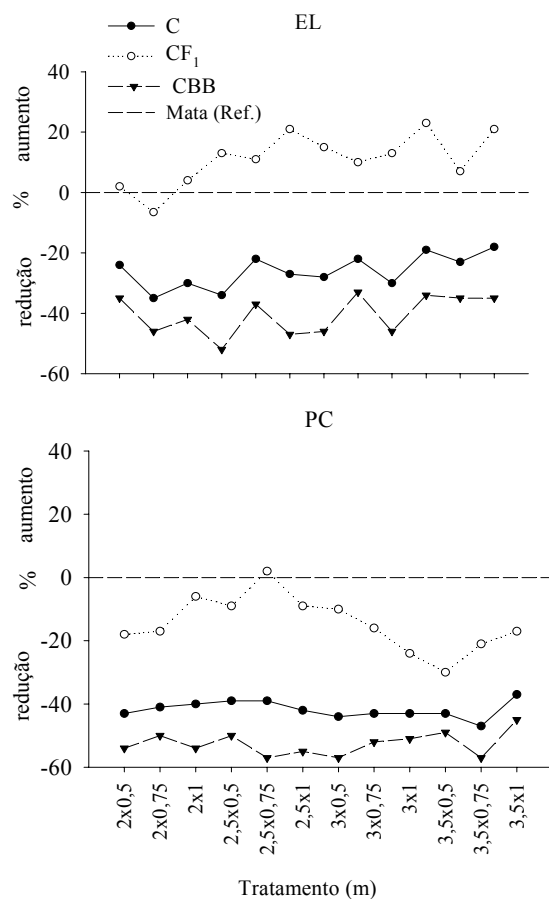


Figura 2. Aumentos e reduções percentuais de frações de carbono em Latossolo Vermelho distroférico típico cultivado com cafeeiros em diferentes espaçamentos de plantio, em relação ao sistema referência (mata nativa). EL: amostras coletadas nas entrelinhas; PC: amostras coletadas na projeção das copas dos cafeeiros. C = carbono do solo; CF<sub>1</sub> = carbono na fração de oxidação F<sub>1</sub>; CBB= carbono de baixa biodisponibilidade. Os percentuais de C, CF<sub>1</sub> e CBB nos diferentes espaçamentos de plantio dos cafeeiros representam a média dos valores obtidos nas profundidades de 0-0,05 e 0-0,1 m do solo.

permitem inferir também que o  $CF_1$  pode apresentar variações positivas (aumentos) e negativas (decréscimos) num menor intervalo de tempo do que o C e o CBB, sendo, por esse motivo, um índice importante para avaliar a qualidade da MOS entre diferentes sistemas de manejo do solo.

### CONCLUSÕES

1. O adensamento de plantio dos cafeeiros aumentou a proporção do carbono na fração de oxidação  $F_1$  que representou, em média, 48% do C nos espaçamentos 2,5x0,5 (8.000 plantas  $ha^{-1}$ ), 2,5x0,75 (5.333 plantas  $ha^{-1}$ ), 3x0,5 (6.666 plantas  $ha^{-1}$ ) e 3x0,75 m (4.444 plantas  $ha^{-1}$ ).
2. Nas entrelinhas de plantio, na medida em que se aumentou o espaçamento entre as ruas de cafeeiros, houve um acréscimo nos teores de carbono de baixa biodisponibilidade no solo.
3. Considerando-se a camada de solo de 0-0,05 m de profundidade, os maiores índices de carbono orgânico (ICO) foram verificados na entrelinhas dos tratamentos com largura da rua dos cafeeiros de três metros, o que sinaliza para o maior armazenamento e, ou, labilidade da matéria orgânica do solo nesses tratamentos.

4. O carbono na fração de oxidação  $F_1$  foi mais sensível do que o carbono total e o carbono de baixa biodisponibilidade, na avaliação dos efeitos de diferentes espaçamentos de plantio dos cafeeiros sobre a qualidade da matéria orgânica do solo.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, C. A.; OLIVEIRA, C. de.; CERRI, C. C. Qualidade da matéria orgânica e estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo tratado com bio-sólido e cultivado com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 803-816, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE CAFÉ – ABIC. Disponível em: <<http://www.abic.com.br>>. Acesso em: 8 mar. 2006.

BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal Agricultural Research**, Victoria, v. 46, n. 7, p. 1459-1466, 1995.

CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an paleustalf under different pasture leys. **Soil Science**, Baltimore, v. 166, n. 1, p. 61-67, Jan. 2001.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 4ª aproximação**. Lavras: CFSEMG, 1989. 176 p.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M. Atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos Cerrados no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 1047-1054, 2002.

FREITAS, A. G.; MATOS, E. S.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica e estabilidade de agregados em diferentes sistemas de adubação. In: FERTBIO, 2004, Lages. **Anais...** Lages: UDESC/SBCS, 2004. CD-ROM.

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, C. A., FADIGAS, F. S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 425-434, 2002.

GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R.; ANGERS, D. A.; MONREAL, C. M.; ELLERT, B. H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 74, n. 4, p. 367-385, Nov. 1994.

MAIA, C. E.; CANTARUTTI, R. B. Disponibilidade de nitrogênio pela oxidação do carbono lábil com permanganato de potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 489-493, 2003.

PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D.; SIQUEIRA, R.; ANDROCIOI FILHO, A.; COLOZZI FILHO, A.; BALOTA, E. L. High coffee population density to improve fertility of an oxisol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 3, p. 459-465, mar. 1999.

PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D. Alterações nas frações de fósforo no solo associadas com a densidade populacional de cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p. 251-256, 1996.

PRESTON, C. M. Applications of NMR to soil organic matter analysis: history and prospects. **Soil Science**, Baltimore, v. 161, n. 3, p. 144-166, Mar. 1996.

SHANG, C.; TIESSEN, H. Organic matter lability in a tropical oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density and magnetic fractionations. **Soil Science**, Baltimore, v. 162, n. 11, p. 795-807, Nov. 1997.

SILVA, C. A.; ANDERSON, S. J.; VALE, F. R. Carbono, nitrogênio e enxofre em frações granulométricas de dois Latossolos submetidos à calagem e adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 593-602, 1999.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry**: genesis, composition, reactions. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1994. 496 p.

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

YEOMANS, J. C.; 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. 13, 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, p. 117-161, 1997.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, Wallingford, v. 84, p. 28-40, 2005.

## **CAPÍTULO 4**

### **ESTOQUE E FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DE LATOSSOLO CULTIVADO COM CAFEEIROS EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO**

*(Preparado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo)*

#### **RESUMO**

Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito de espaçamentos de plantio de cafeeiros sobre os estoques de carbono e nitrogênio e sobre as frações (leve e pesada) da matéria orgânica de Latossolo Vermelho distroférico típico, em experimento conduzido durante onze anos em uma área da Fazenda Experimental da EPAMIG, em Machado, MG. Os tratamentos avaliados consistiram da combinação de quatro espaçamentos entre as linhas (2,0; 2,5; 3,0 e 3,5 m), com três espaçamentos entre as plantas (0,5; 0,75 e 1,0 m) de cafeeiros. Uma área sob mata nativa adjacente ao experimento foi amostrada e usada como referência. Para a avaliação dos estoques de carbono (C) e nitrogênio total (NT) e realização do fracionamento físico da matéria orgânica, as amostras de solo foram coletadas nas entrelinhas (EL) e na projeção das copas (PC) dos cafeeiros. A deposição dos resíduos culturais da lavoura cafeeira na EL de cultivo contribuiu para o aumento dos estoques de C e NT e do teor de carbono na fração leve ( $C_{FL}$ ) do solo. O principal efeito do cultivo do solo sobre as frações da matéria orgânica esteve associado ao enriquecimento relativo de C nas frações silte e argila, principalmente na camada de solo de 0-0,1 m, onde o C nessas frações representou, em média e respectivamente, 22 e 67% do C presente no solo. O  $C_{FL}$  foi o compartimento orgânico que

melhor refletiu as alterações causadas pelos espaçamentos de plantio dos cafeeiros sobre as frações da matéria orgânica do solo.

**Termos para indexação:** *Coffea arabica* L., densidade de plantio, frações orgânicas, frações granulométricas.

**SUMMARY:** *STORAGE AND FRACTIONS OF ORGANIC MATTER OF A LATOSOL CULTIVATED WITH COFFEE IN DIFFERENT PLANTING SPACINGS*

This study was carried out to evaluate the effect coffee planting spacings on soil carbon and nitrogen storage on the fractions (light and heavy) of soil organic matter of dystroferric Red Latosol (Oxisol), in an experiment installed eleven years ago in an area of Experimental Farm of EPAMIG, in Machado (Minas Gerais State-Brazil). The treatments consisted of the combination of four spacings among lines (2.0, 2.5, 3.0 and 3.5 m) with three spacings among plants (0.5, 0.75 and 1.0 m). As a reference, soil samples were also collected in an adjacent area to the experiment under native forest. For the evaluation of the carbon (C) and total nitrogen (NT) storage and accomplishment of physical fractionation of organic matter, the soil samples were collected in the interline (IL) and in the canopy projection (CP) of coffee plants. The deposition of the cultural residues of the coffee farming in the IL of cultivation it contributed to the increase of C and NT storage and light soil fraction carbon concentration ( $C_{LF}$ ). The main effect of the soil cultivation on the organic matter fractions of Latosol was associated to the relative enrichment of C in the silt and clay fractions, mainly in the 0-0,1 m soil



depths, where OC in those fractions contributed, on characterized average and respectively, to 22 and 67% of soil OC. The  $C_{LF}$  was a sensitive organic pool of the fractions of soil organic matter caused by coffee planting spacings.

**Index terms:** *Coffea arabica* L., planting density, organic fractions, granulometric fractions.

## INTRODUÇÃO

A escolha do espaçamento para o plantio da lavoura cafeeira é um tema muito debatido, sendo grande o número de demandas por pesquisa sobre as vantagens e desvantagens de se utilizar mais ou menos plantas por unidade de área. Tradicionalmente, a maioria das lavouras cafeeiras foi implantada em espaçamentos mais largos, contudo, a partir da década de 1980, tornou-se comum o cultivo de cafeeiro adensado, nos quais os estandes são constituídos por maior número de plantas por hectare. A partir dos anos 1990, as lavouras cafeeiras em sistema adensado apresentaram grande expansão, embora, ainda em âmbito nacional, não ocupem um espaço significativo. Estima-se, atualmente, que o sistema tradicional e o em renque ocupem, respectivamente, 50 e 28% do parque cafeeiro do Brasil, enquanto os sistemas adensado e semi-adensado representam apenas 10 e 12%, respectivamente, da área plantada (Thomasiello, 2001).

O declínio contínuo da capacidade produtiva do solo tem sido um dos maiores problemas associados ao plantio de cafeeiro em espaçamentos largos ou com baixa população de plantas por unidade de área. Nessas condições, a erosão, a lixiviação e a oxidação da matéria

orgânica contribuem para a acidificação e a perda da fertilidade do solo (Pavan & Chaves, 1996). Por outro lado, o adensamento da lavoura cafeeira é um sistema conservacionista que protege o solo diminuindo o processo erosivo e a perda de nutrientes por lixiviação, reduzindo a decomposição da matéria orgânica, proporcionando melhor manejo dos resíduos vegetais e aumentando a eficiência na ciclagem de nutrientes, principalmente do nitrogênio (Pavan & Chaves, 1996).

A matéria orgânica do solo (MOS) é um importante atributo a ser considerado na avaliação de diferentes sistemas de uso e manejo do solo (Doran & Parkin, 1994). Em regiões de clima tropical e subtropical úmido, o rápido declínio na MOS ocorre, principalmente, em sistemas de manejo convencionais que envolvem intensa perturbação do solo (Parfitt et al., 1997; Tiessen et al., 1992).

Em solo, o estoque de carbono (C) relaciona-se diretamente com a intensidade dos processos de adição de resíduos vegetais e de decomposição de frações orgânicas (Silva et al., 1999). De acordo com Pavan & Chaves (1996), o aumento da densidade de plantio em lavouras cafeeiras eleva os estoques C do solo, em razão do maior aporte de resíduos vegetais oriundos de folhas e ramos do cafeeiro depositados naturalmente ou desprendidos durante a colheita e de compostos orgânicos liberados pelas raízes (exsudatos, mucilagens e células mortas). Considerando-se a possibilidade de aumento do estoque de C pelo plantio de lavouras cafeeiras no sistema adensado, deve-se ressaltar que esse aumento depende de outros fatores, tais como clima (principalmente temperatura e precipitação), textura e mineralogia do solo (Alvarez & Lavado, 1998).

O estudo da matéria orgânica em seus diversos compartimentos, bem como as suas relações com o manejo, visa desenvolver estratégias para a utilização sustentável dos solos, com vistas a reduzir o impacto das atividades agrícolas sobre o meio ambiente (Pinheiro et al., 2004). Estudos da MOS por meio da extração e do fracionamento das substâncias húmicas têm sido conduzidos para o entendimento da pedogênese, das interações organo-minerais, da melhoria de propriedades físicas do solo, da diminuição da fixação de fósforo e do impacto da agricultura na qualidade do solo (Benites et al., 1999; Longo & Espíndola, 2000; Roscoe & Machado, 2002). Entretanto, os métodos de fracionamento químico pouco têm contribuído para a identificação de compartimentos da MOS que são alterados sob manejo intensivo e, de modo distinto, ao longo do tempo (Cambardella & Elliott, 1992; Christensen, 1992). O fracionamento físico da MOS tem se mostrado promissor na distinção de compartimentos de carbono do solo sujeitos à influência dos variados sistemas de manejo e na identificação de mecanismos que conferem proteção física à matéria orgânica (Collins et al., 1997), além de caracterizar as relações entre a matéria orgânica e a agregação do solo (Feller et al., 1997; Freixo et al., 2002b).

O fracionamento físico separa a MOS em dois compartimentos principais, baseando-se nas densidades específicas das frações orgânicas: i) fração leve (FL), com densidade menor que  $1,7 \text{ g cm}^{-3}$ , que consiste de um compartimento transitório entre os resíduos vegetais e a matéria orgânica estabilizada e humificada, apresentando uma relação C/N maior que a do solo e representando, na maioria das vezes, a menor fração do compartimento morto da MOS, que engloba, comumente, de 2 a 18% do

C total e de 1 a 12% do N total do solo e; ii) fração pesada (FP), composta de materiais orgânicos adsorvidos aos colóides ou retidos nos agregados do solo, podendo conter mais de 90% do C do solo (Jansen et al., 1992; Barrios et al., 1996). A FL, menos densa, é separada da FP por flotação em soluções orgânicas ou inorgânicas com alta gravidade específica (Christensen, 1992), sendo a FL considerada o compartimento biologicamente ativo ou lábil da MOS (Barrios et al., 1996; Jansen et al., 1992).

A dinâmica das distintas frações da matéria orgânica está intimamente relacionada com a textura do solo (Feller & Beare, 1997). Assim, solos arenosos apresentam uma maior proporção do C associado às partículas de areia ( $> 53\mu\text{m}$ ), o que lhes confere maior fragilidade quanto às mudanças nos sistemas de manejo do solo, uma vez que esta fração, composta principalmente de resíduos vegetais, é facilmente mineralizada (Freixo et al., 2002b). Em solos argilosos, as frações orgânicas encontram-se mais associadas à argila e ao silte, de forma que as quantidades de carbono associadas à areia não perfazem mais do que 10% do total de C do solo (Rosell et al., 1996).

Apesar da importância da atividade cafeeira para a economia do estado de Minas Gerais e do país, e da matéria orgânica para o manejo da fertilidade do solo, não existe, até o momento, nenhum estudo no qual se avaliaram as mudanças ocorridas na MOS em razão da adoção de diferentes espaçamentos de plantio. Assim, este estudo teve por objetivo avaliar os efeitos de diferentes espaçamentos de plantio de cafeeiros sobre os estoques de carbono e nitrogênio e sobre a distribuição das diferentes frações da matéria orgânica de Latossolo, além de avaliar a sensibilidade

de cada compartimento em atuar como indicador de alterações na matéria orgânica do solo.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi conduzido em uma área da Fazenda Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), localizada a 10 km do município de Machado, MG. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico, textura média. As principais características químicas e físicas do solo da área experimental, os procedimentos de instalação e de condução do experimento e os tratamentos avaliados foram descritos detalhadamente no Capítulo 2.

A amostragem do solo foi realizada em dezembro de 2003, conforme descrito no Capítulo 2. Foram retiradas amostras nas profundidades de 0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,4 m, para a avaliação dos estoques de carbono (C) e de nitrogênio total (NT) e, nas profundidades de 0-0,05 e 0-0,1 m, para a realização do fracionamento físico da matéria orgânica. Para a avaliação da densidade do solo, coletaram-se três amostras indeformadas em cada tratamento, ponto de coleta (EL e PC) e profundidade (0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,4 m), com o auxílio de um anel volumétrico de 100 cm<sup>3</sup>. Numa área sob mata nativa, a cerca de um quilômetro do experimento, com a mesma classe de solo e sem histórico de intervenção humana, foram coletadas amostras de solo nas mesmas profundidades coletadas na área experimental, as quais foram utilizadas como referência de área sob vegetação natural.

As amostras compostas foram acondicionadas em sacos plásticos e conduzidas para o laboratório. Para a análise dos teores de C e NT,

necessárias para o cálculo dos estoques desses elementos em solo, as amostras foram secadas ao ar, destorroadas, trituradas em almofariz e passadas em peneira de malha de 0,210 mm. As amostras utilizadas na etapa de fracionamento físico da MOS foram secadas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm (terra fina seca ao ar-TFSA).

O carbono (C) e o nitrogênio total (NT) foram determinados seguindo-se as metodologias descritas em Yeomans & Bremner (1988) e Bremner (1996), respectivamente, conforme descrito no Capítulo 2. Os estoques de C e NT, em cada profundidade do solo, foram calculados pelo uso da seguinte fórmula: estoque de C ou NT ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) = teor de C ou NT ( $\text{g kg}^{-1}$ ) x  $D_s$  x  $e/10$ , em que  $D_s$  = densidade do solo na profundidade ( $\text{kg dm}^{-3}$ ) e  $e$  = espessura da camada de solo (cm).

Para avaliar os estoques totais de C e NT foi calculada a média ponderada entre os resultados obtidos na EL e na PC dos cafeeiros, considerando uma faixa de solo sob influência da PC, para todos os tratamentos, de 1,2 m. Dessa forma, as faixas de solo consideradas sob influência da EL foram de 0,8; 1,3; 1,8 e 2,3 m, respectivamente, para os espaçamentos entre as linhas de 2,0; 2,5; 3,0 e 3,5 m.

As frações leve e pesada da matéria orgânica foram obtidas seguindo-se as recomendações descritas por Sohi et al. (2001) e por Machado (2002). A separação da fração leve (FL) foi realizada com base em três repetições analíticas por amostra de solo coletada no campo. Em frascos de centrífuga de 50 mL, foram adicionados 5g de TFSA e 35 mL da solução de iodeto de sódio (NaI), com densidade de  $1,8 \pm 0,1 \text{ g cm}^{-3}$  (aferida com hidrômetro). Os frascos contendo a mistura foram agitados manualmente por 30 segundos, visando dispersar os agregados instáveis e

permitir a flotação da fração leve (FL) na solução de NaI, sendo, a seguir, centrifugados a 8.000 x g, por 30 minutos. Após a centrifugação, a FL presente na superfície da solução de NaI foi aspirada e filtrada em sistema com vácuo (Sistema Asséptico Sterifil, 47mm-Millipore), utilizando-se filtro de fibra de vidro de 47 mm de diâmetro e 2 µm de retenção. A FL retida nos filtros foi cuidadosamente lavada com água destilada, visando remover o excesso de NaI, sendo, a seguir, levada à estufa de circulação forçada de ar para secar a 65°C, durante 72 horas. Para a determinação do teor de carbono na fração leve ( $C_{FL}$ ), foi pesado o filtro mais o resíduo orgânico separado. A seguir, a fração leve foi macerada em almofariz e passada em peneira de malha de 0,210 mm.

Após a aspiração da FL, procedeu-se à remoção do excesso de NaI presente no solo remanescente no frasco de centrífuga. Este procedimento foi realizado com água destilada suficiente para igualar o peso dos frascos para a centrifugação a 8.000 x g durante 3 minutos, tendo este procedimento sido repetido por três vezes consecutivas.

Para a separação do carbono associado às diferentes frações granulométricas do solo (fração pesada-FP), as três repetições analíticas foram quantitativamente transferidas para frasco com capacidade de 350 mL (Nalgene), utilizando-se água destilada suficiente para obter um volume final de 250 mL. A separação da fração pesada foi realizada seguindo-se a metodologia descrita em Gavinelli et al. (1995). A cada frasco de 350 mL contendo o solo das três repetições analíticas ( $\pm 15$  g de solo), foi adicionado 0,5 g de hexametáfosfato de sódio ( $(NaPO_3)_n$ ), sendo a mistura agitada por aproximadamente 14 horas a 250 rpm. A separação da fração areia ( $>53$  µm) foi realizada por peneiramento úmido e a das

frações silte (2-53  $\mu\text{m}$ ) e argila (0-2  $\mu\text{m}$ ), a partir da coleta de alíquotas das frações granulométricas de 0-53  $\mu\text{m}$  (argila+silte) e 0-2  $\mu\text{m}$  (argila), que foram separadas por sedimentação. Após coletadas, as frações foram secadas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C, pesadas, maceradas em almofariz e passadas em peneira com malha de 0,210 mm, para posterior determinação do teor de C em cada uma das frações.

A determinação do C nas frações leve e pesada (C-areia, C-argila+silte e C-argila) foi realizada de acordo com a metodologia descrita em Yeomans & Bremner (1988). O teor de C na fração silte (C-silte) foi obtido indiretamente, pela diferença dos teores de C nas frações argila+silte e argila.

Os dados dos estoques de C e NT e das frações da matéria orgânica foram submetidos à análise de variância para verificação, em cada profundidade de solo, dos efeitos dos espaçamentos de plantio e pontos de coleta das amostras de solo (EL e PC) sobre os atributos analisados. Os dados levantados na área de mata nativa foram excluídos da análise estatística pelo fato de o local não compor o desenho experimental usado para avaliar o efeito dos espaçamentos de plantio do cafeeiro sobre os atributos estudados. As médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5 % de probabilidade, utilizando-se o aplicativo computacional SISVAR (Ferreira, 2000).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Estoques de carbono e nitrogênio**

As médias dos estoques de carbono (C) e nitrogênio total (NT) (em  $\text{Mg ha}^{-1}$ ), para o solo de mata nativa e para os diferentes



espaçamentos de plantio dos cafeeiros e pontos de coleta das amostras de solo, são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1. Estoques de carbono (C) e nitrogênio total (NT) de Latossolo Vermelho distroférico típico cultivado com cafeeiros em diferentes espaçamentos de plantio, no Sul de Minas Gerais.

Profundidade (m)	Tratamento (m)	Estoque C		Estoque total	Estoque NT		Estoque total
		EL	PC		EL	PC	
		----- Mg ha <sup>-1</sup> -----			----- Mg ha <sup>-1</sup> -----		
	Mata	29,6 (± 0,4)			2,6 (± 0,2)		
0-0,1	2x0,5	21,9Ca	19,5Ba	20,5 C	2,2Ca	1,8Aa	2,0 C
	2x0,75	25,4Ba	22,4Aa	23,6 B	2,2Ca	1,9Aa	2,0 C
	2x1	21,5Ca	19,3Ba	20,2 C	1,7Ca	1,7Aa	1,7 C
	2,5x0,5	26,3Ba	22,7Ab	24,6 B	2,3Ca	1,9Aa	2,1 C
	2,5x0,75	25,1Ba	19,4Bb	22,4 C	2,9Ba	2,0Ab	2,5 B
	2,5x1	22,2Ca	19,7Bb	21,0 C	2,6Ba	2,1Aa	2,4 B
	3x0,5	25,3Ba	24,8Aa	25,1 B	2,9Ba	2,4Aa	2,7 B
	3x0,75	25,0Ba	20,3Bb	23,1 B	3,1Ba	2,1Ab	2,7 B
	3x1	21,3Ca	19,5Ba	20,6 C	3,0Ba	2,1Ab	2,6 B
	3,5x0,5	31,4Aa	23,0Ab	28,5 A	3,2Ba	2,5Aa	3,0 B
	3,5x0,75	21,8Ca	17,2Bb	20,2 C	2,2Ca	1,9Aa	2,1 C
	3,5x1	31,7Aa	23,3Ab	28,8 A	4,3Aa	2,1Ab	3,5 A
0,1-0,2	Mata	30,7 (± 1,2)			2,5 (± 0,8)		
	2x0,5	24,1Aa	29,8Aa	27,5 A	2,2Aa	2,4Aa	2,3 A
	2x0,75	22,5Aa	21,4Aa	21,8 A	2,5Aa	2,4Aa	2,4 A
	2x1	23,7Aa	25,5Aa	24,8 A	2,5Aa	2,6Aa	2,6 A
	2,5x0,5	26,4Aa	27,1Aa	26,7 A	2,9Aa	2,8Aa	2,8 A
	2,5x0,75	25,5Aa	21,1Aa	23,4 A	2,0Aa	1,9Aa	1,9 A
	2,5x1	25,7Aa	23,8Aa	24,8 A	2,5Aa	2,4Aa	2,4 A
	3x0,5	30,3Aa	25,8Aa	28,5 A	3,0Aa	2,1Aa	2,6 A
	3x0,75	20,9Aa	16,3Aa	19,1 A	1,9Aa	1,5Aa	1,7 A
	3x1	30,4Aa	23,7Aa	27,7 A	2,4Aa	1,9Aa	2,2 A
	3,5x0,5	22,0Aa	22,2Aa	22,1 A	2,1Aa	2,8Aa	2,3 A
3,5x0,75	27,3Aa	22,8Aa	25,7 A	3,1Aa	2,5Aa	2,9 A	
	3,5x1	24,2Aa	20,8Aa	23,0 A	2,1Aa	2,7Aa	2,3 A

...continua...

Quadro 1, Cont.

Profundidade (m)	Tratamento (m)	Estoque C		Estoque total	Estoque NT		Estoque total
		EL	PC		EL	PC	
	Mata	43,2 ( $\pm$ 1,9)			4,3 ( $\pm$ 0,4)		
0,2-0,4	2x0,5	41,7Aa	39,3Aa	40,3 A	4,8Aa	4,4Aa	4,6 A
	2x0,75	45,0Aa	43,0Aa	43,8 A	5,0Aa	4,7Aa	4,8 A
	2x1	35,4Ba	37,7Aa	36,8 B	4,3Ba	3,6Ba	3,9 B
	2,5x0,5	45,7Aa	40,3Ab	43,1 A	4,1Ba	4,0Ba	4,0 B
	2,5x0,75	47,8Ba	37,7Ab	42,9 A	4,8Aa	3,9Bb	4,4 A
	2,5x1	39,7Ba	44,0Ab	41,8 A	4,4Ba	4,5Aa	4,5 A
	3x0,5	47,7Aa	40,0Ab	44,6 A	4,5Aa	4,2Aa	4,4 A
	3x0,75	41,7Aa	41,3Aa	41,5 A	4,0Ba	4,3Aa	4,1 B
	3x1	37,0Ba	37,4Aa	37,2 B	3,8Ba	3,6Ba	3,7 B
	3,5x0,5	47,0Aa	35,7Ab	43,1 A	5,0Aa	3,6Bb	4,5 A
	3,5x0,75	45,4Aa	38,7Ab	43,1 A	4,6Aa	4,2Aa	4,5 A
	3,5x1	44,0Aa	34,7Ab	40,8 A	4,0Ba	3,9Ba	4,0 B
		Mata	103,6 ( $\pm$ 6,5)			8,3 ( $\pm$ 0,9)	
0-0,4	2x0,5	89,6Ba	88,6Aa	89,0 B	9,3Ba	8,6Aa	8,9 B
	2x0,75	92,8Ba	86,5Aa	89,0 B	9,6Ba	9,0Aa	9,2 A
	2x1	80,6Ba	82,5Ba	81,7 C	8,5Ba	7,9Ba	8,1 B
	2,5x0,5	98,6Aa	90,2Aa	94,6 A	9,4Ba	8,8Aa	9,1 A
	2,5x0,75	98,2Aa	78,5Bb	88,7 B	9,7Ba	7,8Bb	8,8 B
	2,5x1	87,6Ba	87,7Aa	87,6 B	9,5Ba	9,0Aa	9,6 A
	3x0,5	103,3Aa	90,7Ab	98,3 A	10,4Aa	8,8Ab	9,8 A
	3x0,75	87,5Ba	77,8Ba	83,6 C	9,1Ba	8,0Ba	8,7 B
	3x1	88,6Ba	80,7Ba	85,4 B	9,2Ba	7,7Bb	8,6 B
	3,5x0,5	100,0Aa	81,0Bb	93,5 A	10,3Aa	9,0Ab	9,8 A
	3,5x0,75	94,7Aa	78,7Bb	89,2 B	10,0Aa	8,5Ab	9,5 A
3,5x1	100,2Aa	78,7Bb	92,8 A	10,5Aa	9,0Ab	10,0 A	

Valores entre parênteses referem-se ao erro padrão da média (n=3). Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). Os valores dos estoques totais de C e NT equivalem à média ponderada entre os resultados obtidos na EL e na PC dos cafeeiros. EL= amostras coletadas nas entrelinhas; PC= amostras coletadas na projeção das copas dos cafeeiros.

Observa-se que, exceto na camada de solo de 0,1-0,2 m, houve efeito significativo dos espaçamentos de plantio e pontos de coleta das amostras de solo nos estoques de C e NT, indicando que a maior ou a menor densidade de plantio influenciaram significativamente as variáveis

analisadas, tendo sido observadas as maiores diferenças entre os espaçamentos de plantio na camada superficial do solo.

Em relação ao solo de mata, o cultivo do cafeeiro por 11 anos resultou em redução média nos estoques de C e NT nas amostras coletadas na projeção das copas (PC), em todos os espaçamentos avaliados, na camada de solo de 0-0,1 m, de 45 e 30%, respectivamente. No entanto, para as amostras coletadas nas entrelinhas (EL), foram observados incrementos nos estoques de C e NT, sendo esses verificados, principalmente, nos maiores espaçamentos entre as linhas de plantio, com valores acima daqueles obtidos na área de referência. Estes resultados estão de acordo com aqueles apresentados por Bonde et al. (1992) e Silva et al. (1999), os quais observaram redução drástica no conteúdo de matéria orgânica em solos intensamente cultivados.

Os estoques de C de todos os espaçamentos de plantio dos cafeeiros variaram, na EL, entre 21,3 a 31,7 Mg ha<sup>-1</sup>, na profundidade de 0-0,1 m, de 20,9 a 30,4 Mg ha<sup>-1</sup>, na profundidade de 0,1-0,2 m e de 35,4 a 47,8 Mg ha<sup>-1</sup>, na profundidade de 0,2-0,4 m. Na PC, as variações foram de 17,2 a 24,8 Mg ha<sup>-1</sup>, na profundidade de 0-0,1 m, de 16,3 a 29,8 Mg ha<sup>-1</sup>, na profundidade de 0,1-0,2 m e de 34,7 a 44 Mg ha<sup>-1</sup>, na profundidade de 0,2-0,4 m (Quadro 1). A média do estoque de C acumulado na camada de 0-0,4 m na PC (83,5 Mg ha<sup>-1</sup>) aproximou-se bastante daquela apresentada por Freitas et al. (2000) para os sistemas vegetação natural antropizada de Cerrado (81,9 Mg ha<sup>-1</sup>), cultura do feijão manejado no sistema convencional de longa duração (84,4 Mg ha<sup>-1</sup>) e cultura do milho sob sistema plantio direto (82,5 Mg ha<sup>-1</sup>). No entanto, a média do estoque de C na EL (93,5 Mg ha<sup>-1</sup>, 0-0,4 m) foi superior às

apresentadas por Freitas et al. (2000). D'Andréa et al. (2004), trabalhando com amostras de Latossolo Vermelho distrófico submetido a seis sistemas de manejo na região do Cerrado do Sul do estado de Goiás, relataram valores de estoques de C acumulado na camada de 0-0,4 m variando de 58,7 Mg ha<sup>-1</sup> (sistema de plantio convencional de longa duração) a 69,8 Mg ha<sup>-1</sup> (pastagem). Esses resultados, em termos absolutos, são inferiores aos obtidos neste estudo.

A comparação entre os resultados aqui obtidos com os levantados em outros sistemas de manejo do solo indica que o elevado aporte de resíduos culturais na lavoura cafeeira, a reduzida perda de solo por erosão e a ausência ou menor revolvimento do solo podem contribuir para aumentar ou preservar o estoque de C do solo. Tal afirmação se confirma pelos resultados apresentados no Quadro 1, no qual, na EL (local de acúmulo dos resíduos vegetais), o C acumulado na camada de 0-0,4 m nos espaçamentos 3x0,5, 3,5x0,5 e 3,5x1 m esteve próximo ou acima dos valores da área de referência (mata). Nesta camada de solo, a redução média do estoque de C foi de 10%, para as amostras coletadas na EL e de 20%, para as amostras coletadas na PC, em relação à área de mata nativa, indicando menores perdas de C do solo na EL. Ainda na camada de 0-0,4 m, o estoque de C na EL foi, em média, 12% superior ao da PC, o que equivale a 10 Mg ha<sup>-1</sup> a mais de C armazenado na EL dos cafeeiros.

Na camada superficial do solo (0-0,1 m), o estoque de C na EL foi maior nos espaçamentos 3,5x0,5 m (5.714 plantas ha<sup>-1</sup>) e 3,5x1 m (2.857 plantas ha<sup>-1</sup>) (Quadro 1), indicando que o aumento da densidade de plantio não foi eficiente em aumentar o estoque de C do solo. Já na PC, o efeito do adensamento foi observado, com o maior estoque de C

ocorrendo nos tratamentos que possuíam 6.666 (2x0,75 e 3x0,5 m), 8.000 (2,5x0,5 m), 5.714 (3,5 x 0,5 m) e, a exceção, 2.857 (3,5x1 m) plantas ha<sup>-1</sup>. O maior estoque de C na EL nos tratamentos cujo estande de plantas era menor pode ser explicado pelo maior aporte de resíduos de ervas daninhas presentes nas entrelinhas destes tratamentos, compensando a menor quantidade de resíduos vegetais depositados naquele local, oriundos da poda e recepa dos cafeeiros. Segundo Pavan et al. (1996), o acúmulo de matéria orgânica no solo em áreas de cultivo de cafeeiros é de suma importância, haja vista que a matéria orgânica contribui com mais de 90% da capacidade de troca de cátions do solo.

O maior estoque total de C (Quadro 1) foi observado nos espaçamentos 3,5x0,5 e 3x1 m (0-0,05 m) e 2,5x0,5; 3x0,5; 3,5x0,5 e 3x1 m (0-0,4 m), indicando maiores valores no espaçamento de 0,5 m entre plantas de cafeeiros. A avaliação do estoque de C em lavouras cafeeiras deve considerar o manejo dos resíduos culturais, uma vez que a deposição dos mesmos nas entrelinhas reduz a entrada de carbono na projeção da copa, o que pode levar a uma subestimação do estoque de C do solo, caso as amostras sejam coletadas somente neste local. Assim, para uma estimativa confiável do estoque de C em lavouras cafeeiras, as amostras de solo devem ser coletadas nas entrelinhas e na projeção das copas, considerando também a área sob influência da projeção da copa em função do espaçamento adotado no plantio.

A introdução de menores espaçamentos de plantio parece exercer pequeno efeito no estoque de NT na camada superficial do solo (0-0,1 m) (Quadro 1). Na PC, os estoques de NT não diferiram entre si, nos diferentes espaçamentos de plantio, havendo apenas uma tendência de

aumento nos valores com o incremento do espaçamento entre as linhas de plantio (1,7 e 2,5 Mg ha<sup>-1</sup>, para os espaçamentos entre as linhas de 2 e 3,5 m, nesta ordem). Na EL, os menores estoques de NT foram observados nos menores espaçamentos entre as linhas de plantio (2 e 2,5 m). Entre os pontos de coleta das amostras de solo, na camada de 0-0,1 m, os maiores estoques de NT foram observados na EL, nos espaçamentos 2,5x0,75; 3x0,75; 3x1 e 3,5x1 m, com valores superiores ao observado na área de mata nativa.

De modo similar ao observado para o estoque de C, o estoque de NT também foi maior no solo sob mata nativa quando comparado ao solo da EL e da PC dos cafeeiros. Na camada de 0-0,2 m (0-0,1 + 0,1-0,2 m), as perdas de NT na EL e na PC foram, respectivamente, de 19 e 36%, indicando, de forma semelhante ao C, menores perdas nos ambientes com maior aporte de resíduos vegetais. Num Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de produção (mineral e orgânica), Leite et al. (2003) observaram reduções no estoque de NT de 37% na testemunha (sem adubação) e de 15,4% no sistema com adubação orgânica, em relação ao sistema referência (florete nativa), indicando a menor perda de nitrogênio no sistema com maior aporte de matéria orgânica, resultados semelhantes aos do presente trabalho.

O estoque total de NT nos diferentes espaçamentos de plantio do cafeeiro, considerando a faixa de solo sob influência da projeção das copas, revelou-se maior no espaçamento entre as linhas de 3,5 m, principalmente na camada de solo de 0-0,05 m. De forma análoga ao discutido para o estoque total de C, na avaliação do estoque de NT em lavoura cafeeira, as amostras de solo devem ser coletadas nas entrelinhas

e na projeção das copas, o que permite considerar o efeito do manejo dos resíduos culturais nos valores do estoque de nitrogênio do solo.

### **Fracionamento físico da matéria orgânica**

A distribuição do carbono nas frações leve ( $C_{FL}$ ) e pesada ( $C_{FP}$ ) (carbono associado à fração areia, C-areia; carbono associado à fração silte, C-silte e carbono associado à fração argila, C-argila) da matéria orgânica de Latossolo Vermelho distroférico típico cultivado com cafeeiros em diferentes espaçamentos de plantio, é mostrada nas Figuras 1A e 1B. Os índices de recuperação do carbono nas diferentes frações variaram de 86 a 114% e de 87 a 110% do total de C do solo, nas profundidades de 0-0,05 e 0-0,1 m, respectivamente. Esses valores estão dentro da faixa considerada adequada para esse tipo de análise (Freixo et al., 2002a).

As maiores diferenças entre os pontos de coleta das amostras de solo quanto aos teores de  $C_{FL}$  ocorreram na profundidade de 0-0,05 m, indicando a maior presença desta fração na camada mais superficial do solo, onde se concentram os resíduos vegetais (Figura 1A). Nas duas profundidades avaliadas, os maiores teores de  $C_{FL}$  foram observados no espaçamento 3,5x1 m, com valores superiores aos observados na área de mata nativa. Um aspecto importante a ser destacado quanto aos teores de  $C_{FL}$ , é que o adensamento da lavoura cafeeira reduziu os teores desta fração, principalmente nas amostras coletadas na EL.

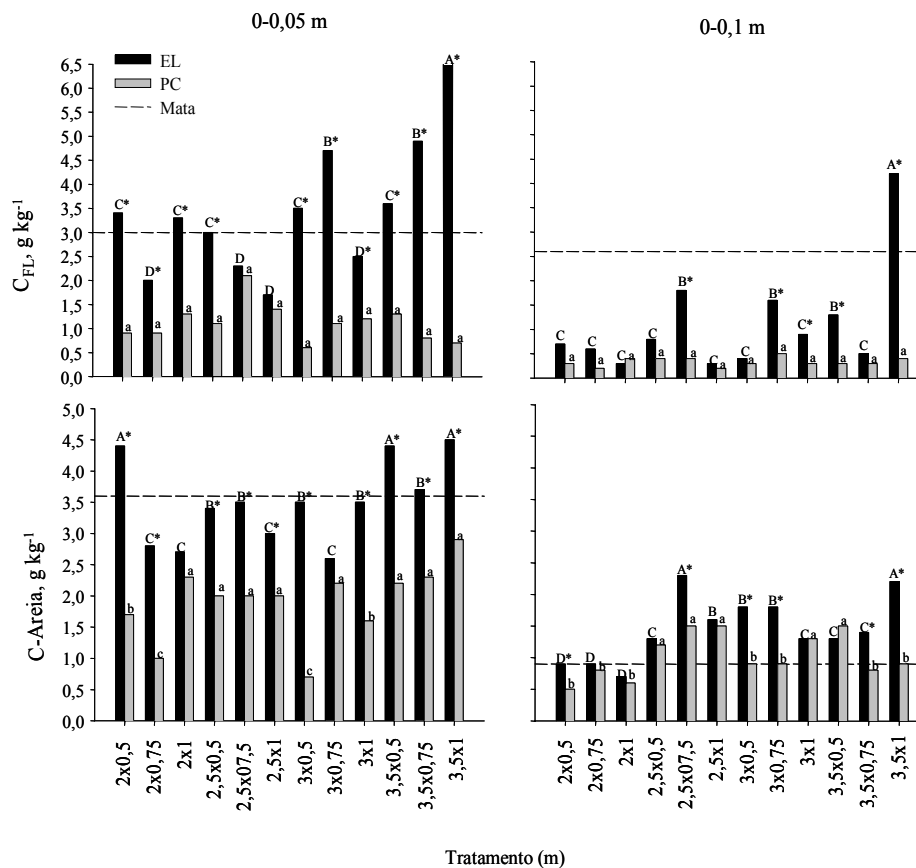


Figura 1A. Teores de carbono nas frações leve ( $C_{FL}$ ) e areia ( $C_{Areia}$ ), em diferentes espaçamentos de plantio de cafeeiros implantados em Latossolo Vermelho distroférico típico. EL: amostras coletadas nas entrelinhas; PC: amostras coletadas na projeção das copas. Letras maiúsculas comparam os teores de carbono entre os diferentes espaçamentos de plantio nas amostras coletadas na EL. Letras minúsculas comparam os teores de carbono, entre os diferentes espaçamentos de plantio nas amostras coletadas na PC. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). \* Compara os teores de carbono, entre os locais de coleta das amostras de solo (EL e PC) dentro de cada espaçamento. A presença do \* designa média estatisticamente superior pelo teste F, a 5% de probabilidade.



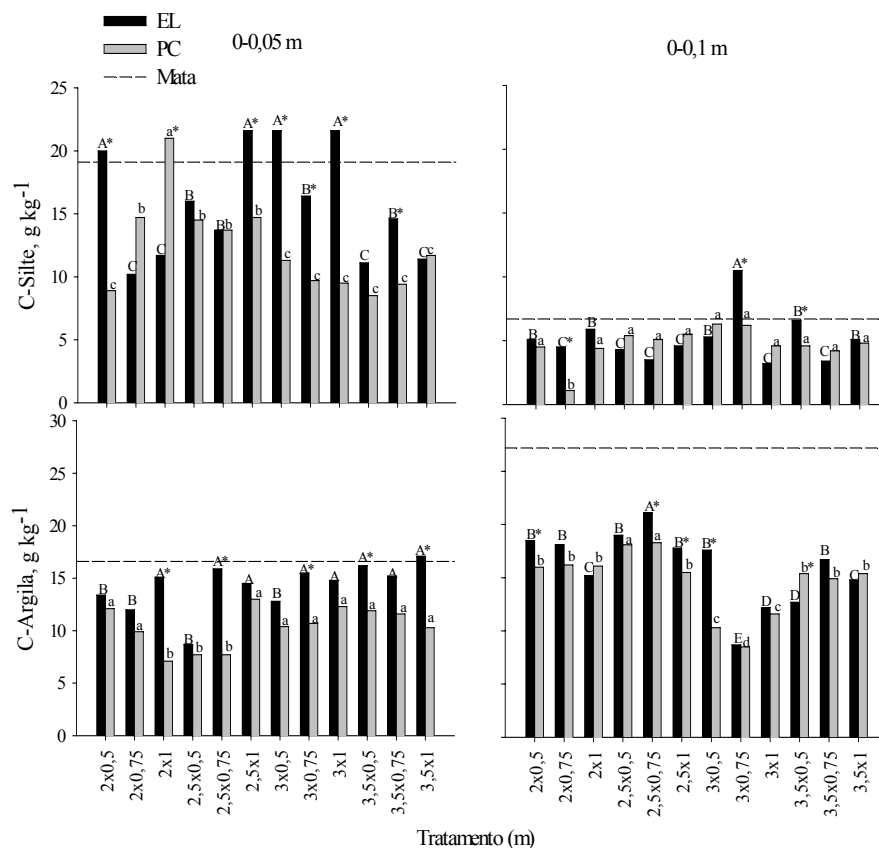


Figura 1B. Teores de carbono nas frações silte (C-silte) e argila (C-argila) em diferentes espaçamentos de plantio de cafeeiros implantados em Latossolo Vermelho distroférico típico. EL: amostras coletadas nas entrelinhas; PC: amostras coletadas na projeção das copas. Letras maiúsculas comparam os teores de carbono entre os diferentes espaçamentos de plantio, nas amostras coletadas na EL. Letras minúsculas comparam os teores de carbono, entre os diferentes espaçamentos de plantio, nas amostras coletadas na PC. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). \* Compara os teores de carbono, entre os locais de coleta das amostras de solo (EL e PC), dentro de cada espaçamento. A presença do \* designa média estatisticamente superior, pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Tal efeito pode estar associado a uma possível presença, em maior quantidade, de plantas invasoras (gramíneas) nas entrelinhas dos tratamentos com menor densidade de plantio (3x0,75; 3,5x0,75 e 3,5x1 m). Essas plantas, por apresentarem uma alta taxa de renovação de seu sistema radicular, podem ter contribuído para aumentar os teores de  $C_{FL}$  na EL.

A maior parte do C associou-se à fração pesada, que respondeu, em média, na área de mata nativa, por 92 e 93% do C do solo nas profundidades de 0-0,05 e 0-0,1 m, respectivamente (Figura 2). O cultivo do solo proporcionou um aumento relativo de  $C_{FP}$ , principalmente nas amostras coletadas na PC, em que o  $C_{FP}$  representou de 92 a 97% do C do solo na profundidade de 0-0,05 m e de 97 a 99%, na profundidade de 0-0,1 m. Em um estudo sobre a distribuição do C em diferentes frações granulométricas de Latossolos da região de Cerrado, Silva et al. (1999) também verificaram um enriquecimento relativo de C nas frações granulométricas mais finas (silte e argila), devido ao cultivo do solo, resultado semelhante ao observado neste estudo (Figura 2).

A retirada da vegetação nativa e o cultivo do cafeeiro promoveram alterações na distribuição relativa do C nas frações granulométricas do solo (Figura 2). Para a profundidade de 0-0,05 m, na EL, ocorreu um acréscimo relativo de C na fração areia e um empobrecimento relativo nos teores desse elemento nas frações argila e silte. Em contrapartida, na PC, essa distribuição apresentou um comportamento dessemelhante ao relatado para a EL, ou seja, maiores proporções do C nas frações argila e silte, e redução proporcional de C na fração areia. Aumentos acentuados nas proporções de C nas frações areia, silte e argila foram os principais

efeitos, tanto na EL como na PC, relacionados com a retirada da vegetação nativa e o plantio do cafeeiro, na profundidade de solo de 0-0,1 m (Figura 2).

Em locais onde predominam a remoção intensiva de resíduos vegetais da área de plantio e o preparo excessivo do solo, as perdas de carbono do sistema solo-planta são dependentes, na maioria das vezes, do aumento da taxa de mineralização das frações menos decompostas associadas, principalmente, à areia (Guggenberger et al., 1994; Silva et al., 1999). Assim, a redução na proporção de C associado à fração areia, observada na PC (0-0,05 m), pode ser atribuída ao menor aporte de resíduos vegetais ao solo nesse local.

Em termos gerais, os reservatórios de C associados à areia foram muito baixos, perfazendo menos de 10% dos teores totais de C nos diferentes espaçamentos de plantio estudados, o que concorda com os resultados obtidos por Silva et al. (1999). Apesar de contribuir com pequena parte da matéria orgânica presente nos solos, é à areia que se associam as frações orgânicas de maior biodisponibilidade, em relação àquelas ligadas às frações argila e silte (Christensen, 1996). Tal fato se deve ao processo de separação da areia das demais partículas texturais, na medida em que, durante a dispersão dos solos, mais especificamente na etapa de peneiramento úmido, agrega-se à areia material orgânico particulado, com grau de decomposição mais próximo ao de resíduos vegetais recentemente adicionados aos solos. À argila e, com menor intensidade ao silte, ligam-se compostos de relação C/N baixa, normalmente resultantes do metabolismo de microrganismos (Christensen, 1996).

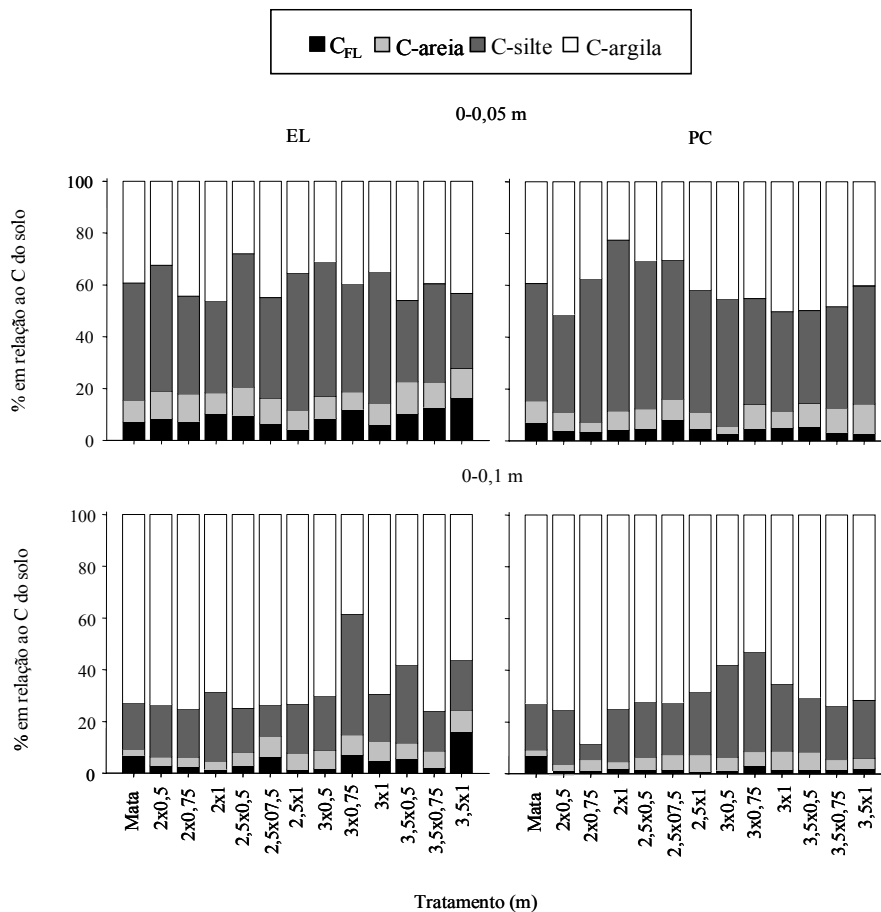


Figura 2. Percentagem do carbono nas frações leve ( $C_{FL}$ ) e pesada (C-areia, C-silte e C-argila) da matéria orgânica nas profundidades de 0-0,05 e 0-0,1 m de Latossolo Vermelho distroférico típico cultivado com cafeeiros em diferentes espaçamentos de plantio. EL: amostras coletadas nas entrelinhas; PC: amostras coletadas na projeção das copas dos cafeeiros.

Em resumo, os principais efeitos do cultivo em diferentes espaçamentos dos cafeeiros deveram-se à redução absoluta nos teores de C associados às frações mais finas (argila e silte) (Figura 1B) e a um enriquecimento relativo (Figura 2) desse elemento nas mesmas frações,

principalmente na EL (0-0,1 m). Nesse ponto, a adoção de práticas conservacionistas de manejo, com vistas a evitar perdas excessivas de solo, mostram-se necessárias, uma vez que a perda diferenciada das frações silte e argila do solo resultariam no esgotamento das reservas de carbono, por estar esse elemento majoritariamente concentrado nessas frações granulométricas (Silva et al., 1999).

Na Figura 3 são apresentados os aumentos e as reduções percentuais nos teores de carbono de diferentes frações e nos estoques de C e NT de amostras coletadas, na EL e na PC, nos diferentes espaçamentos de plantio dos cafeeiros. Os valores obtidos no solo de mata nativa foram utilizados como referência. Verificou-se que as maiores oscilações entre as frações de carbono analisadas ocorreram para os teores de  $C_{FL}$  (-43 e +117%, na EL e, -30 e -80%, na PC). Na EL, observou-se um aumento médio nos teores de  $C_{FL}$ , em relação ao solo de mata, de 16%, com os maiores incrementos ocorrendo nos tratamentos com espaçamento entre as linhas de 3,5 metros. Esse comportamento diferencia-se daquele notado para o  $C_{FP}$ , que apresentou redução nos teores em todos os espaçamentos avaliados. Na PC, houve redução em todos os atributos avaliados (Figura 3), indicando a susceptibilidade de oxidação da matéria orgânica em ambientes com baixa entrada de resíduos vegetais e manejo menos conservacionista do solo. Considerando os diferentes espaçamentos de plantio e pontos de coleta de amostras de solo, a amplitude de variação nos teores de  $C_{FL}$  foram maiores do que as verificadas para o  $C_{FP}$ , EstC e EstN, o que torna esse atributo bastante útil como indicador de mudanças ocorridas na matéria orgânica do solo em lavouras cafeeiras.

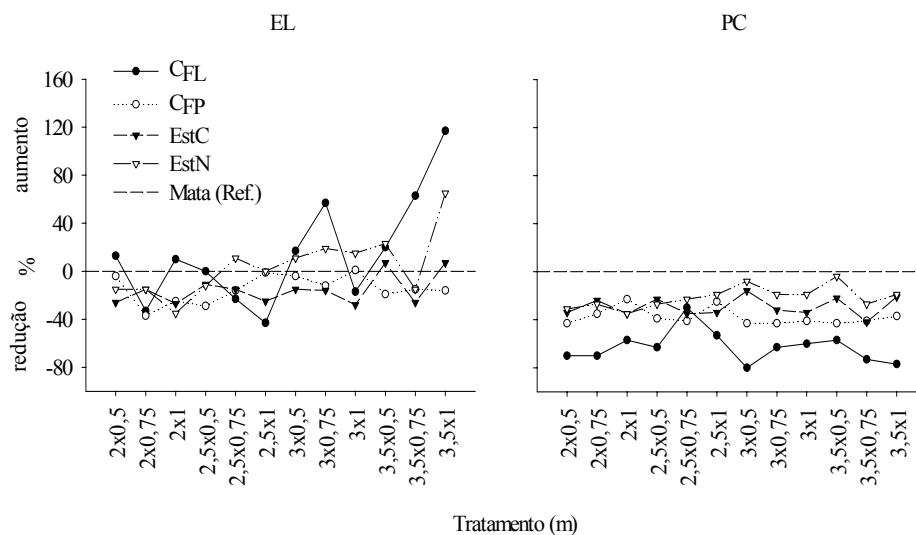


Figura 3. Atributos de Latossolo Vermelho distroférico típico cultivado com cafeeiros em diferentes espaçamentos de plantio, em comparação ao solo sob mata nativa (referência). EL= amostras coletadas nas entrelinhas; PC= amostras coletadas na projeção das copas; C<sub>FL</sub>= carbono associado à fração leve; C<sub>FP</sub> = carbono associado à fração pesada (C-areia + C-silte + C-argila); EstC = estoque de C; EstN= estoque de NT. Os dados de EstC e EstN foram obtidos das amostras coletadas na profundidade de 0-0,1 m; os dados de C<sub>FL</sub> e C<sub>FP</sub> referem-se às amostras da profundidade de 0-0,05 m.

### CONCLUSÕES

1. Os estoques de C e NT do solo, na camada de 0-0,4 m, foram maiores nos tratamentos com largura das ruas dos cafeeiros de 3,5 metros. Na EL, nesse espaçamento entre as linhas dos cafeeiros, foram armazenados 13% a mais de C e NT do que nos tratamentos cuja distância entre as fileiras dos cafeeiros era de dois metros.
2. Os teores e a proporção do carbono associado à fração leve foram reduzidos em maior intensidade nas amostras coletadas na projeção das

copas dos cafeeiros, onde, em média, apenas 4,3% do C do solo estavam associados à fração leve.

3. O manejo implantado nas entrelinhas dos cafeeiros favoreceu o armazenamento de C na fração areia, em comparação à projeção das copas, onde o carbono foi armazenado em maior proporção nas frações silte e argila.

4. O carbono na fração leve foi o atributo mais sensível e o que refletiu as principais mudanças no C do solo, em função da adoção de diferentes espaçamentos de plantio dos cafeeiros.

#### LITERATURA CITADA

ALVARENGA, M. I. N.; SIQUEIRA, J. S.; DAVIDE, A. C. Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de cerrado com diferentes usos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, p. 617-625, 1999.

ALVAREZ, R.; LAVADO, R. S. Climatic, organic matter and clay content relationship in the Pampa and Chaco soils, Argentina. **Geoderma**, Amsterdam, v. 83, p. 127-141, 1998.

BARRIOS, E.; BURESH, R. J.; SPRENT, J. I. Organic matter in soil particle size and density fractions from maize and legume cropping systems. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 28, p. 185-193, 1996.

BENITES, V. M.; MENDONÇA, E. S.; SCHAEFFER, C. E. R.; MARTIN-NETO, L. Caracterização dos ácidos húmicos extraídos de um Latossolo Vermelho-Amarelo e de um Podzol por análise termodiferencial e pela espectroscopia de absorção infravermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 543-551, 1999.

BONDE, T. A.; CHRISTENSEN, B. T.; CERRI, C. C. Dynamics of soil organic matter as reflected by natural <sup>13</sup>C abundance in particle size fractions of forest and cultivated Oxisols. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 24, p. 275-277, 1992.

BREMNER, J. M. Nitrogen total. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Part 3. Madison: America Society of Agronomy, 1996. p. 1085-1121. (SSSA Book Series, 5).

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

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

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

COLLINS, H. P.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T. Characterization of soil organic carbon relative to its stability and turnover. In: PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T.; COLE, C. V. (Ed.). **Soil organic matter in temperate agroecosystems: long-term experiments in North America**. Boca Raton, CRC Press, 1997. p. 51-72.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 4ª aproximação**. Lavras: UFLA, 1989. 176 p.

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



DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. F.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1994. Chapter 1, p. 3-22.

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

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows 4. 0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., São Carlos, 2000. **Anais...** São Carlos: UFSCAR, 2000. p. 255-258.

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

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, C. A., FADIGAS, F. S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 26, p. 425-434, 2002a.

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; SANTOS, H. P.; SILVA, C. A., FADIGAS, F. S. Soil organic carbon and fractions of a Rhodic Ferralsol under the influence of tillage and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil Tillage Research**, Wallingford, v. 64, p. 221-230, 2002b.

GAVINELLI, E.; FELLER, C.; LARRÉ-LARROUY, M. C.; BACYE, B. A routine method to study soil organic matter by particle-size fractionation: examples for tropical soils. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 26, p. 1749-1760, 1995.

GUGGENBERGER, G.; CHRISTENSEN, B. T.; ZECH, W. Land-use effects on the composition of organic matter in particle-size separates of

soil: I. Lignin and carbohydrate signature. **European Journal of Soil Science**, v. 45, p. 449-458, 194.

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

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 5, p. 821-832, 2003.

LONGO, R. M.; ESPÍNDOLA, C. R. C-orgânico, N-total e substâncias húmicas sob influência da introdução de pastagens (*Brachiaria* sp.) em áreas de Cerrado e Floresta Amazônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, n. 4, p. 723-729, 2000.

MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo por densidade e granulometria para a quantificação de compartimentos da matéria orgânica do solo**: um procedimento para a estimativa pormenorizada do seqüestro de carbono pelo solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 6 p. (Embrapa Solos. Comunicado Técnico, 9).

PARFITT, R. L.; THENG, J. S.; WHITTON, J. S.; SHEPHERD, T. G. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. **Geoderma**, Amsterdam, v. 75, n. 1/2, p. 1-12, Jan. 1997.

PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D. Alterações nas frações de fósforo no solo associadas com a densidade populacional de cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p. 251-256, 1996.

PINHEIRO, E. F. M.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, I. H. C.; MACHADO, P. L. O. A. Fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal em Paty do Alferes (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, p. 731-737, 2004.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 86 p.

ROSELL, R. A.; GALANTINI, J. A.; IGLESIAS, J. O. Organic carbon changes in soil fractions of two texturally-different Haplustolls under cultivation. In: CLAPP, C. E.; HAYES, M. H. B.; SENESI, N.; GRIFFITH, S. M. (Ed.). **Humic substances in soil and water environments**. St. Paul: IHSS, 1996. p. 161-162.

SILVA, C. A.; ANDERSON, S. J.; VALE, F. R. Carbono, nitrogênio e enxofre em frações granulométricas de dois Latossolos submetidos à calagem e adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 593-602, 1999.

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 America Journal**, Madison, v. 65, p. 1121-1128, 2001.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2. ed. New York, John Wiley & Sons, 1994. 496 p.

THOMAZIELLO, R. A. O cultivo do cafeeiro no sistema adensado. **O Agrônomo**, São Paulo, v. 53, p. 8-10, 2001.

TIESSEN, H.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semiarid northeastern Brazil. **Agricultural Ecosystems Environment**, v. 38, p. 139-151, 1992.

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

## CAPÍTULO 5

### **TEOR E GRAU DE OXIDAÇÃO DO CARBONO E SUAS RELAÇÕES COM O USO E MANEJO DE LATOSSOLO**

*(Preparado de acordo com as normas da revista Pesquisa Agropecuária Brasileira)*

#### **RESUMO**

Este estudo teve por objetivo avaliar o teor e o grau de oxidação do carbono de um Latossolo Vermelho distroférico típico muito argiloso localizado no *campus* da Universidade Federal de Lavras, submetido a diferentes sistemas de uso e manejo, no Sul de Minas Gerais. Foram avaliados seis sistemas de uso e manejo: mata nativa (MTN), eucalipto (EUC), pinus (PIN), pastagem (PAS), milho no sistema de cultivo mínimo (MCM) e milho no sistema de plantio convencional (MPC). Avaliaram-se os teores de carbono (C) e foi realizado o fracionamento do C com base em diferentes graus de oxidação, em amostras coletadas nas camadas de solo de 0-0,05 e 0-0,1 m. Foi observada uma redução, entre 19% (EUC) e 66% (MPC), nos teores de C do solo, em relação à área sob mata nativa. Nas duas profundidades do solo avaliadas, o carbono presente na fração F<sub>1</sub> (CF<sub>1</sub>) representou, em média, 33% do C do solo, indicando a elevada oxidação da matéria orgânica nos diferentes agroecossistemas avaliados. As variações nos teores de CF<sub>1</sub> foram mais acentuadas que a de C total e carbono de baixa biodisponibilidade (CBB)

do solo, revelando a importância desse índice como indicador de mudanças nos sistemas de uso e manejo sobre a qualidade da matéria orgânica do solo.

**TERMOS PARA INDEXAÇÃO:** matéria orgânica, carbono lábil, uso e manejo do solo.

### **CARBON CONTENT AND OXIDIZIBLE DEGREE AND ITS RELATION WITH USE AND MANAGEMENT IN LATOSOL**

#### **ABSTRACT**

The present work aimed to evaluate the contents and degree of oxidation of the organic carbon of the very clayey typic dystroferric Red Latosol (Oxisol) located in Federal University of Lavras campus, submitted different use and management systems, in the south of Minas Gerais State (Brazil). The six soil use and management systems were evaluated: native forest (MTN) eucalyptus (EUC), pinus (PIN), pasture (PAS), corn in the minimum tillage system (MCM) and corn in the conventional tillage system (MPC). Soil carbon (C) and chemical fractionation of C in different oxidation fractions were evaluated in soil samples collected at 0-0,05 and 0-0,1 m depths. It was observed reduces between 19% (EUC) and 66% (MPC) the soil C contents, in relation to the area under native vegetation. In two depths evaluated, the carbon

present in the F<sub>1</sub> fraction (CF<sub>1</sub>) represented, in average, 33% of C of the soil, indicating the high oxidation of the organic matter in the different agroecosystems. Variations in the contents of the CF<sub>1</sub> were higher than total C and carbon of low bioavailability (LBC), revealing the importance of this index as indicator of the changes on soil organic matter quality by different soil use and management systems.

**INDEX TERMS:** organic matter, labile carbon, soil use and management.

## INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo (MOS) é constituída de componentes vivos (raízes, micro e macrorganismos) que correspondem, em média, a 4% do carbono (C) do solo e não-vivos (resíduos em variados estádios de decomposição, substâncias húmicas e não-humificadas, como carboidratos, lipídeos, aminoácidos, proteínas, ligninas, ácidos nucléicos pigmentos, etc.) que representam, em média, 96% do C do solo (Mendonça et al., 2001; Theng et al., 1989). A MOS pode também ser dividida em compartimentos lábeis e estáveis. Esta classificação é baseada na suscetibilidade diferenciada das frações à decomposição microbiana, o que permite um melhor entendimento da dinâmica da MOS (Silva & Resck, 1997). Os constituintes lábeis da MOS incluem

serapilheira, fração leve, substâncias não-humificadas não associadas aos componentes minerais, formas de C solúveis em água, C associado aos macrorganismos e à biomassa microbiana, os quais, em solos de regiões tropicais, apresentam taxa de ciclagem variando de alguns meses a poucos anos. Os componentes mais estáveis da matéria orgânica, que são representados pelas substâncias húmicas e por outras moléculas, devido à sua estrutura molecular, ou por serem física ou quimicamente protegidos, podem apresentar um tempo de ciclagem superior a mil anos (Silva & Resck, 1997; Theng et al., 1989). Esses compartimentos da MOS são dinâmicos, mutuamente dependentes e controlados por fatores climáticos, edáficos e antrópicos (Schlesinger, 1999).

Tanto as frações orgânicas mais quanto as menos suscetíveis à decomposição são mais preservadas nos ambientes onde o aporte de resíduos é máximo e a taxa de decomposição da matéria orgânica nativa ou adicionada ao solo é mínima. Isso explica o fato de a conversão de áreas de floresta natural em sistemas cultivados causar um declínio nos teores de MOS, uma vez que, com o cultivo, ocorrem alterações nos fatores que controlam a erosão, a intensidade de mineralização e a oxidação de frações orgânicas e, ainda, no aporte de resíduos ao solo

(Fernandes et al., 1997). A magnitude e a intensidade dessa redução dependem do método de conversão da floresta, da intensidade de uso da terra, das condições climáticas e das propriedades físicas e químicas do solo (Lugo et al., 1986).

Em solos cultivados de regiões tropicais, as perdas de matéria orgânica ocorrem de modo intenso, na medida em que seu estoque pode ser reduzido em mais de 50%, em menos de 10 anos, em relação à área não perturbada de mesmo solo (Shang & Tiessen, 1997). Reduções de até 80% nos teores de C do solo foram observadas por Silva et al. (1994), em áreas cultivadas com soja e por Silva et al. (1999a), em Latossolos sob efeito da calagem e adubação fosfatada. As reduções nos teores de C em áreas agrícolas são resultantes do aumento da taxa de decomposição da MOS, que ocorre em razão do maior revolvimento, da maior aeração e pelo comprometimento da estrutura do solo (Resck et al., 1991) ou pela redução do aporte de material orgânico ao solo (Dalal & Mayer, 1986).

Em razão de o teor de matéria orgânica condicionar as características químicas, físicas e biológicas dos solos tropicais e de ser fortemente afetado pelas práticas de manejo, cada vez mais, a análise do C armazenado no solo tem sido considerada com uma forma de se avaliar



a qualidade do solo (Doran & Parkin, 1994). Entretanto, alguns estudos desenvolvidos em regiões temperadas (Cambardella & Elliott, 1992; Chan, 1997) sugerem que certas frações da MOS são mais importantes na manutenção da qualidade do solo, sendo, portanto, consideradas indicadores mais sensíveis do impacto da adoção de diferentes práticas de uso e manejo do solo (Chan et al., 2001).

A maioria dos métodos de determinação da MOS (Heanes, 1984; Nelson & Sommers, 1982; Walkley & Black, 1934) foi desenvolvida com o objetivo de se maximizar a oxidação e a recuperação do carbono total do solo. Entretanto, pequenas alterações no teor total de carbono do solo são dificilmente verificadas em curto prazo, devido à elevada variabilidade espacial desse atributo do solo (Andrade et al., 2005). Assim, a adoção de procedimentos que possam extrair, preferencialmente, frações mais lábeis da matéria orgânica se configura em um método mais útil para a caracterização do C em áreas submetidas a diferentes sistemas de manejo do solo (Chan et al., 2001). As frações lábeis ou biodisponíveis da MOS, segundo Zak et al. (1997), são importantes para a manutenção da produtividade dos ecossistemas, sendo, desse modo, mais suscetíveis

às mudanças em seus teores, em função das alterações nos regimes de temperatura e umidade do solo.

As primeiras tentativas de extração de frações biodisponíveis do C foram realizadas por Blair et al. (1995), Lefroy et al. (1993) e Shang & Tiessen (1997), utilizando, como agente oxidante do C, o  $\text{KMnO}_4$ . Blair et al. (1995), utilizando este mesmo método, observaram um declínio acentuado das frações biodisponíveis do C em solos cultivados com culturas anuais e um acúmulo dessas frações em solos sob pastagem de leguminosa. Outra metodologia de avaliação do grau de oxidação do C do solo foi desenvolvida por Chan et al. (2001), que introduziram uma alteração no método clássico de determinação do C desenvolvido por Walkley & Black (1934). O método proposto por Chan et al. (2001) visa recuperar o C de maior biodisponibilidade, obtendo-se quatro frações do C oxidadas com dicromato de potássio em meio ácido. Dessa forma, o procedimento de fracionamento do C em diferentes graus de oxidação é uma ferramenta auxiliar na compreensão da dinâmica dos diferentes compartimentos da MOS.

Em áreas tropicais, a manutenção e, ou, o aumento dos teores de C e de frações orgânicas de maior biodisponibilidade são desejáveis quando

se visa o manejo sustentável do solo, em razão dos diversos efeitos benéficos que a matéria orgânica exerce sobre a disponibilidade de água e nutrientes, na estrutura do solo, no balanço de gases entre o solo e atmosfera, etc. Assim, este estudo teve por objetivo avaliar o teor e o grau de oxidação do carbono, em função da adoção de diferentes sistemas de uso e manejo de Latossolo do Sul do estado de Minas Gerais.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Características do solo e sistemas de manejo em estudo**

O solo está localizado no município de Lavras, MG, no *campus* da Universidade Federal de Lavras (21° 13' 44" S, 44° 57' 50" W e 925 m de altitude), sendo classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico, textura muito argilosa (Embrapa, 1999). O clima da região foi classificado com CWa, no sistema Köppen, com inverno seco e médias anuais de precipitação e temperatura de 1.530 mm e 19,4°C, respectivamente.

Para a avaliação dos diferentes sistemas de uso e manejo do solo, foram selecionadas seis áreas adjacentes (uma para cada tipo de uso e manejo), distribuídas numa faixa homogênea de solo. Os tipos de uso e

manejo do solo avaliados foram: mata nativa, eucalipto, pinus, pastagem, milho no sistema de cultivo mínimo e milho no sistema de plantio convencional. As principais características desses sistemas são apresentadas na Tabela 1.

As características químicas e texturais de amostras de solo (0-0,05 e 0-0,1 m) coletadas nos seis sistemas de uso e manejo são apresentadas na Tabela 2. As metodologias utilizadas para a avaliação dos atributos químicos estão descritas em Silva et al. (1999b) e a análise granulométrica foi feita pelo método da pipeta (Day, 1965), após a dispersão da amostra com NaOH 1 mol L<sup>-1</sup> e agitação rápida (6.000 rpm) por 15 minutos.

#### **Amostragem do solo e análises químicas**

A amostragem do solo foi realizada em setembro de 2004, em duas profundidades (0-0,05 e 0-0,1 m), selecionando-se, em cada sistema, três blocos retangulares com dimensões individuais de 15x20 m (300 m<sup>2</sup>).

Para cada bloco e profundidade de solo, nos diferentes sistemas de uso e manejo, foram retiradas três amostras compostas, oriundas de 10 subamostras simples coletadas ao acaso, cada uma constituindo uma

repetição. Nas áreas de milho, a amostragem foi realizada após a colheita dos grãos.

Tabela 1. Características dos sistemas de uso e manejo instalados em Latossolo Vermelho distroférico típico, no Sul do estado de Minas Gerais.

Sistema de uso e manejo	Símbolo	Histórico
Mata nativa	MTN	Remanescente de mata nativa do tipo floresta estacional semidecídua montada (Oliveira Filho et al., 1994), sem qualquer exploração ou interferência antrópica.
Eucalipto	EUC	Área anteriormente cultivada com cafeeiro, onde, no ano de 1975, foi instalado um estudo de teste de procedência com diversas espécies de <i>Eucaliptus</i> oriundas da Austrália e Indonésia. O plantio foi realizado no espaçamento 3x2 m, com adubação de plantio recomendada para a cultura e preparo convencional do solo (aração+gradagem). Não foi realizado nenhum corte de árvores.
Pinus	PIN	Povoamento de <i>Pinus</i> sp. implantado em 1975, em área antes cultivada com cafeeiro, utilizando o espaçamento 3x3 m. Efetuou-se o preparo convencional do solo (aração+gradagem) para o plantio e realizaram-se as adubações recomendadas para a cultura. Não foi realizado nenhum corte de árvores.
Pastagem	PAS	Pastagem de <i>Brachiaria decumbens</i> implantada em 1992, conduzida sob pastejo contínuo de bovinos em regime semi-intensivo e sem manejo da fertilidade do solo.
Milho-sistema de cultivo mínimo	MCM	Sistema de cultivo mínimo, sem revolvimento do solo, implantado desde o ano agrícola de 1993/1994, com cultivo principal de milho no verão sucedido por feijão no inverno. O controle das ervas daninhas foi feito com herbicidas pré e pós-emergentes para o milho e pós-emergente para o feijão. A adubação e a calagem das culturas seguiram as recomendações descritas em CFSEMG (1989).
Milho-sistema de plantio convencional	MPC	Área cultivada sucessivamente por período superior a 20 anos, onde, desde o ano agrícola 1999/2000 foi implantado o sistema plantio convencional do milho, com o preparo do solo realizado com uma aração e duas gradagens. O controle das ervas daninhas foi feito com a aplicação de herbicidas pré-emergentes. Não houve plantio de feijão ou qualquer outra leguminosa em sucessão ao milho. A adubação e a calagem da cultura foram feitas de acordo com CFSEMG (1989).

Tabela 2. Atributos de Latossolo Vermelho distroférico típico submetido a diferentes sistemas de uso e manejo (valores médios de três repetições).

Sistemas de uso e manejo	Atributo químico						Granulometria		
	pH H <sub>2</sub> O	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	P (Mehlich-1)	K <sup>+</sup>	Areia	Silte	Argila
		----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			----- mg dm <sup>-3</sup> -----		----- g kg <sup>-1</sup> -----		
	----- Camada de solo, 0-0,05 m -----								
MTN	4,3	0,7	0,2	2,1	1,2	36	180	130	690
EUC	4,4	0,6	0,2	2,5	2,3	29	190	140	670
PIN	4,5	0,7	0,2	1,9	1,7	16	260	130	610
PAS	5,6	2,2	1,0	0,3	1,3	105	180	140	680
MCM	6,9	4,4	1,2	0,0	28,5	182	130	120	750
MPC	5,5	1,9	0,3	0,2	17,6	151	140	120	740
	----- Camada de solo, 0-0,1 m -----								
MTN	4,3	0,6	0,2	1,9	1,2	34	170	170	660
EUC	4,7	0,7	0,2	1,5	1,9	21	190	90	720
PIN	4,7	0,6	0,2	1,3	1,4	12	240	80	680
PAS	5,7	2,4	0,5	0,3	1,6	95	170	130	700
MCM	6,1	2,8	1,0	0,0	38,1	96	70	210	720
MPC	5,5	2,2	0,2	0,2	17,7	107	40	240	720

MTN: mata nativa; EUC: eucalipto; PIN: pinus; PAS: pastagem; MCM: milho no sistema de cultivo mínimo; MPC: milho no sistema de plantio convencional.

Em todos os sistemas de uso e manejo, antes da coleta das amostras de solo, foram removidos os resíduos vegetais presentes na superfície do solo.

As amostras de solo coletadas nas diferentes áreas foram acondicionadas em sacos plásticos e conduzidas ao laboratório, onde foram secadas ao ar, destorroadas, trituradas em almofariz e passadas em peneira de malha de 0,210 mm.

Em todas as amostras, foram avaliados os teores de carbono (C) e realizado o fracionamento do C por graus de oxidação. O C foi determinado pelo método descrito por Yeomans & Bremner (1988), conforme procedimento analítico detalhado no Capítulo 2. O método utilizado para o fracionamento do carbono (C) por graus de oxidação foi adaptado de Chan et al. (2001) e Freitas et al. (2004), conforme descrito no Capítulo 3.

Tendo como base as variações nos teores e frações de C entre o sistema referência (mata nativa) e os demais sistemas de uso e manejo do solo, foram calculados os seguintes índices: índice de compartimento de carbono (ICC) =  $C_{\text{cultivado}}/C_{\text{referência}}$ ; grau de biodisponibilidade do carbono (GBC) =  $CF_1/CBB$ ; índice de biodisponibilidade do carbono (IBC) =

$GBC_{\text{cultivado}}/GBC_{\text{referência}}$  e o índice de carbono orgânico (ICO) = ICC x IBC x 100. O carbono de baixa biodisponibilidade (CBB) foi obtido pela diferença entre o teor de C total e o carbono na fração F<sub>1</sub> (CBB = C – CF<sub>1</sub>)

### **Análise estatística**

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância para verificação, em cada profundidade, dos efeitos dos sistemas de uso e manejo do solo sobre os teores e as frações de C com graus variáveis de oxidação. As comparações das médias foram feitas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando-se o aplicativo computacional SISVAR (Ferreira, 2000).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Teor de carbono**

O teor de carbono (C) foi alterado de modo significativo pelos sistemas de uso e manejo do solo (Figura 1), sendo os maiores teores observados em MTN e os menores em MPC, na profundidade de 0-0,05 m e PIN, MCM e MPC na profundidade de 0-0,1 m. Os teores de C variaram de 15,2 a 48,4 g kg<sup>-1</sup>, na profundidade de 0-0,05 m e de 14,7 a



38,9 g kg<sup>-1</sup>, na profundidade de 0-0,1 m. Segundo Stevenson (1994), a diminuição do teor de matéria orgânica em solos cultivados se deve à redução da quantidade de resíduos adicionados ao solo e ao aumento da atividade microbiana e, por conseguinte, da taxa de decomposição dos resíduos orgânicos, em função das melhores condições de aeração, de acréscimo na temperatura do solo e da alternância mais freqüente de ciclos de umedecimento e secagem do solo. O acréscimo nas quantidades de C perdidas por erosão e lixiviação explica, do mesmo modo, o decréscimo da MO em áreas cultivadas (Fernandes et al., 1997).

Em comparação à área de MTN, todos os demais sistemas de manejo resultaram em redução nos teores de C, indicando o acréscimo na taxa de oxidação do C do solo quando este é submetido ao cultivo. De acordo com Longo & Espíndola (2000), essas reduções nos teores de C em solos cultivados são explicadas pelo fato de a matéria orgânica se concentrar nas camadas mais superficiais do solo, estando, por este motivo, mais suscetível às alterações microclimáticas causadas pelos sistemas de uso e manejo adotados. Em relação ao sistema MTN, as reduções nos teores de C na profundidade de 0-0,05 m foram,

respectivamente, de 12, 16, 28, 56 e 69%, para os sistemas com plantio de EUC, PIN, PAS, MCM e MPC.

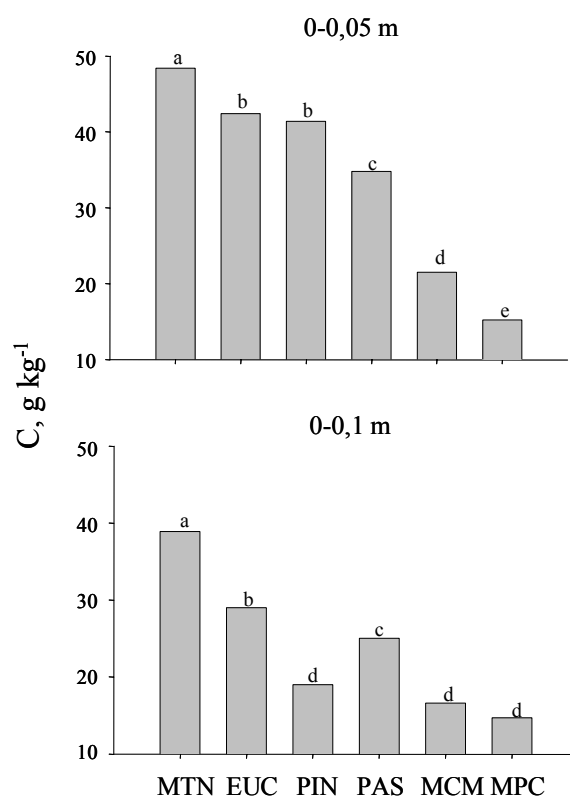


Figura 1. Teores de carbono (C) nas camadas de 0-0,05 e 0-0,1 m de Latossolo Vermelho distroférico típico submetido a seis sistemas de uso e manejo, no Sul do estado de Minas Gerais. Em cada profundidade de solo, as médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). MTN: mata nativa; EUC: eucalipto; PIN: pinus; PAS: pastagem; MCM: milho no sistema de cultivo mínimo; MPC: milho no sistema de plantio convencional.

Na profundidade de 0-0,1 m, a redução no teor de C foi de 25, 51, 36, 57 e 62%, para EUC, PIN, PAS, MCM e MPC, respectivamente. Entre os sistemas de cultivo de milho, a ausência ou o menor revolvimento do solo (MCM) resultaram em um acréscimo de 41% no teor de C do solo, em relação ao sistema MPC, na profundidade de 0-0,05 m. O valor mais elevado de C na profundidade de 0-0,1 m em MPC, semelhante aos sistemas MCM e PIN, pode ser explicado pelo histórico de manejo dessa área, com preparo do solo e incorporação dos resíduos, corretivos e adubos. Considerando-se as duas profundidades de solo, os menores teores de C foram observados em MCM e MPC. Doran (1980) relatou que o revolvimento do solo, como ocorre em algumas situações de cultivo mínimo e, periodicamente, no plantio convencional, contribui para provocar perturbações promotoras de estresse na população microbiana e, uma vez que as adições de carbono nesses sistemas são menores, há um maior consumo de C do solo pelos microrganismos, o que implica em redução da MOS. A degradação da estrutura pelo maior revolvimento do solo é outro fator de aumento de exposição da MO fisicamente protegida aos organismos decompositores do solo.

Considerando o tempo decorrido da implantação dos sistemas EUC e PIN (29 anos), a grande quantidade de serapilheira depositada e a não retirada de madeira nesses locais, seria esperado que esses sistemas de uso do solo apresentassem maiores valores de C. A redução observada nos teores de C nos sistemas EUC e PIN (em relação ao solo do sistema MTN) são um indicativo de que: o aporte e ou a conversão dos resíduos das espécies florestais em MOS não têm sido tão eficientes quanto a verificada na área de mata; que há um maior favorecimento dos processos de decomposição da matéria orgânica nesses sistemas (Silva et al., 2004) ou existe a necessidade de um maior período de tempo para que os teores de C nesses sistemas se aproxime daqueles observados no solo de mata.

De acordo com Siqueira et al. (1991), em florestas de eucalipto, é comum a presença de uma ampla variedade de compostos fenólicos derivados de plantas e outras substâncias que são tóxicas à comunidade microbiana, diminuindo a ciclagem dos resíduos e a sua conversão em húmus do solo. Outro fator a ser considerado nessas áreas é a diversidade e a idade das espécies de plantas que, entre outros aspectos, determinam a composição dos resíduos adicionados ao solo e, ainda, condicionam a simplificação da cadeia trófica em razão da menor diversidade dos

resíduos adicionados ao solo. Silva et al. (2004) relatam que plantas ou tecidos mais jovens são mais ricos em proteínas, minerais e fração solúvel em água, enquanto que, à medida que a planta envelhece, aumentam as proporções de compostos de decomposição mais difícil, como a celulose, hemicelulose, lignina e polifenóis.

### **Fracionamento do carbono por grau de oxidação**

Os dados relativos ao fracionamento químico por diferentes graus de oxidação do C são apresentados na Tabela 3. Os resultados revelam uma predominância das frações F<sub>1</sub> e F<sub>2</sub> nos sistemas MCM (71%), MPC (66%), PIN (59%) e PAS (56%), na profundidade de solo de 0-0,05 m.

Os teores de carbono na fração F<sub>1</sub> (CF<sub>1</sub>) foram maiores no sistema PIN, na profundidade de 0-0,05 m e MTN, EUC, PIN, PAS e MCM, na profundidade de 0-0,1 m, com os menores valores nessas duas profundidades ocorrendo no sistema MPC (Tabela 3). Esses resultados indicam que o uso mais intensivo e o revolvimento do solo acarretaram uma maior redução nos teores de CF<sub>1</sub>, principalmente na profundidade de 0-0,05 m.

Quando se comparam os teores de carbono de baixa biodisponibilidade (CBB) nos sistemas de cultivo, em relação à MTN, observa-se que esta última apresentou maior teor de CBB, tanto na profundidade de 0-0,05 m, quanto na de 0-0,1 m (Tabela 3). No ecossistema de mata, a fonte de substâncias orgânicas lábeis está associada à deposição natural de resíduos de plantas, que alcançam o solo na forma de folhas, galhos e outros fragmentos orgânicos, bem como substâncias orgânicas derivadas da decomposição das raízes (Pohlman & Mccoll, 1988). Assim, os maiores teores de CBB encontrados no solo sob MTN se devem à qualidade dos resíduos adicionados, que, provavelmente, apresentam maiores proporções de carbono mais resistente do ponto de vista químico. Por outro lado, é razoável supor que, em áreas de mata, os processos de formação de húmus ocorram de modo mais intenso, a ponto do CBB ser sintetizado a maiores taxas em relação às formas de maior oxidação (CF<sub>1</sub>).

Nos sistemas MTN e EUC, em geral, para as duas profundidades de solo, os maiores teores de C estiveram associados às frações F<sub>3</sub> e F<sub>4</sub>. Rovira & Vallejo (2002) relatam que a resistência à hidrólise ácida é maior para os polímeros orgânicos recalcitrantes (ligninas, suberinas,

resinas e ceras), o que possibilita a separação da MOS em diferentes graus de labilidade. Dessa forma, quanto mais resistentes à oxidação ( $F_1 < F_2 < F_3 < F_4$ ), mais recalcitrantes são as formas de carbono presentes no solo. Os resultados revelaram, para a profundidade de 0-0,1 m, que o teor de C na fração  $F_4$  (C-resistente) foi maior no sistema MTN, não havendo diferença significativa entre os demais sistemas de manejo. Isso indica que esta fração é constituída por formas de carbono em estágio mais avançado de humificação, o que explica sua presença em maior proporção no sistema sem intervenções antrópicas (MTN). A taxa de recuperação média do C (soma das percentagens de carbono em cada uma das frações de oxidação, em relação ao C total do solo) foi de 94%, para a profundidade de 0-0,05 m e de 107%, para a profundidade de 0-0,1 m, o que atesta a eficiência do método de fracionamento.

Os resultados dos valores da relação  $CF_1/C$  revelam a presença, em maior proporção, de formas de  $CF_1$  nos sistemas PIN, PAS e EUC (Tabela 4), com valores 70, 49 e 36% superiores em relação ao sistema MTN, na profundidade de 0-0,1 m do solo. As principais diferenças entre os valores do grau de biodisponibilidade do carbono (GBC) e do índice de biodisponibilidade do carbono (IBC) foram observadas na profundidade

de 0-0,1 m (Tabela 4). Nesta camada de solo, os menores valores de GBC e de IBC nos sistemas MCM e MPC indicam uma maior proporção de CBB e uma maior redução, em relação ao sistema MTN, da biodisponibilidade do C.

O índice de compartimento de carbono (ICC) representa uma medida sensível das mudanças na dinâmica do carbono do solo entre um sistema manejado e um sistema referência sob condições estáveis.

Os valores de ICC apresentados na Tabela 4 indicam que, em relação ao sistema MTN, os sistemas com menor tempo de implantação e manejo menos conservacionista (MCM e MPC) apresentaram um maior decréscimo relativo nos teores de C, enquanto que, nos sistemas implantados há mais tempo e com menor intervenção antrópica (EUC, PIN e PAS), os teores de C estão sendo recuperados, ou seja, os valores de ICC estão mais próximos de 1. Dessa forma, o ICC pode ser utilizado para monitorar a dinâmica do C entre diferentes sistemas de uso e manejo do solo, em diferentes épocas de avaliação.



Tabela 3. Frações do carbono ( $\text{g kg}^{-1}$ ) nas profundidades de 0-0,05 e 0-0,1 m de Latossolo Vermelho distroférico típico submetido a seis sistemas de uso e manejo, no Sul do estado de Minas Gerais.

Sistema	Carbono na fração (F)				CBB
	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	
----- 0-0,05 m -----					
MTN	11,8 (24) b	13,8 (28) a	11,4 (24) a	4,4 (9) a	36,6 a
EUC	12,4 (29) b	9,6 (23) bc	10,8 (25) a	8,0 (19) a	30,0 b
PIN	14,2 (34) a	10,4 (25) b	4,0 (10) b	8,2 (20) a	27,2 b
PAS	10,8 (31) bc	8,6 (25) c	4,8 (14) b	4,4 (13) a	24,0 b
MCM	8,2 (38) c	7,0 (33) c	3,2 (15) b	3,0 (14) a	13,3 c
MPC	4,2 (28) d	5,8 (38) d	5,0 (33) b	1,8 (12) a	10,9 c
----- 0-0,1 m -----					
MTN	13,2 (34) a	9,6 (25) a	13,6 (35) a	6,2 (16) a	25,7 a
EUC	13,0 (45) a	6,4 (22) ab	8,2 (28) b	3,8 (13) b	16,0 b
PIN	11,0 (58) a	4,6 (24) ab	6,0 (32) b	1,4 (7) b	8,00 b
PAS	12,6 (50) a	7,2 (29) ab	7,8 (31) b	1,6 (6) c	12,4 b
MCM	3,8 (23) b	4,2 (25) b	3,6 (22) b	2,0 (12) c	12,9 b
MPC	3,6 (25) b	6,2 (42) b	4,2 (29) b	1,8 (12) c	11,0 b

F<sub>1</sub>= C oxidado por K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> em meio ácido de 3 mol L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; F<sub>2</sub>= diferença do C oxidado por K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> em meio ácido, com 6 e 3 mol L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; F<sub>3</sub>= diferença do C oxidado por K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> em meio ácido, com 9 e 6 mol L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; F<sub>4</sub>= diferença do C oxidado por K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> em meio ácido, com 12 e 9 mol L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Em cada fração, as letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey (p≤0,05). O carbono de baixa biodisponibilidade (CBB) representa a diferença entre o C do solo e o carbono presente na fração F<sub>1</sub>. Os valores entre parênteses referem-se à percentagem do carbono na fração em relação ao C total do solo. MTN: mata nativa; EUC: eucalipto; PIN: pinus; PAS: pastagem; MCM: milho no sistema cultivo mínimo; MPC: milho no sistema de plantio convencional.

Os valores do índice de carbono orgânico do solo (ICO), inferiores a 100, nas duas profundidades avaliadas, nos sistemas MCM e MPC (Tabela 4), são indicativos de impacto negativo da adoção desses sistemas de manejo sobre os teores e qualidade do C do solo (Blair et al., 1995; Leite et al., 2003). Assim, a substituição de ecossistemas naturais por áreas intensamente cultivadas compromete não apenas os teores e a biodisponibilidade da MOS, mas também a qualidade ambiental, em razão do importante papel que a MOS exerce sobre as propriedades dos solos tropicais. Esses resultados revelam a importância da adoção de sistemas mais conservacionistas de uso do solo, de forma a minimizar as perdas de MOS.

Na Figura 2, são apresentados os aumentos e as reduções percentuais nos teores de carbono de diferentes frações de amostras coletadas nos seis sistemas de uso e manejo do solo. Os valores obtidos em MTN foram utilizados como referência. Verificou-se que as maiores oscilações entre as frações de carbono analisadas ocorreram para os teores de  $CF_1$  (+45% e -40%, nos sistemas PIN e MPC, respectivamente), seguido do CBB (-28% e -64%, nos sistemas EUC e MPC, respectivamente) e do C (-19% e -66%, nos sistemas EUC e MPC,

respectivamente). Nos sistemas EUC, PIN e PAS, em que o aporte de resíduos na forma de serapilheira e raízes é maior, observou-se um aumento médio nos teores de CF<sub>1</sub>, em relação à MTN, de 21%, 45% e 35%, respectivamente. Esse comportamento é diferente do C e do CBB, que apresentaram redução em seus teores em todos os sistemas estudados.

Tabela 4. Proporção de carbono na fração F<sub>1</sub> (CF<sub>1</sub>/C), índice de compartimento de carbono (ICC), grau de biodisponibilidade do carbono (GBC), índice de biodisponibilidade do carbono (IBC) e índice de carbono orgânico (ICO), nas camadas de solo de 0-0,05 e 0-0,1 m, de Latossolo Vermelho distroférico típico submetido a seis sistemas de uso e manejo, no Sul do estado de Minas Gerais.

Sistema	CF <sub>1</sub> /C (%)	Índices			
		ICC	GBC	IBC	ICO
----- 0-0,05 m -----					
MTN	24,5 b	-	0,32 b	-	-
EUC	29,3 ab	0,88 a	0,41 a	1,28 a	112,3 b
PIN	34,4 ab	0,86 a	0,52 a	1,62 a	138,3 a
PAS	31,0 ab	0,72 a	0,45 a	1,40 a	100,3 b
MCM	38,1 a	0,44 b	0,63 a	1,95 a	86,30 c
MPC	28,2 ab	0,31 b	0,40 a	1,24 a	37,90 d
----- 0-0,1 m -----					
MTN	33,9 c	-	0,52 c	-	-
EUC	46,0 b	0,75 a	0,89 b	1,72 a	122,7 a
PIN	57,9 a	0,49 ab	1,38 a	2,66 a	129,5 a
PAS	50,4 b	0,64 a	1,02 a	1,96 a	125,7 a
MCM	23,3 d	0,43 b	0,31 d	0,60 b	25,10 b
MPC	24,7 d	0,38 b	0,33 d	0,64 b	23,80 b

As letras minúsculas comparam as médias dos diferentes índices entre os sistemas de uso e manejo do solo. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey (p≤0,05). MTN: mata nativa; EUC: eucalipto; PIN: pinus; PAS: pastagem; MCM: milho no sistema de cultivo mínimo; MPC: milho no sistema de plantio convencional.

Considerando os sistemas de uso e manejo do solo avaliados, a amplitude de variação nos teores de  $CF_1$  foram maiores do que as verificadas para o C e CBB o que, segundo Whitbread et al. (2000), torna esse atributo bastante útil como indicador sensível das mudanças na dinâmica do carbono em diferentes agroecossistemas.

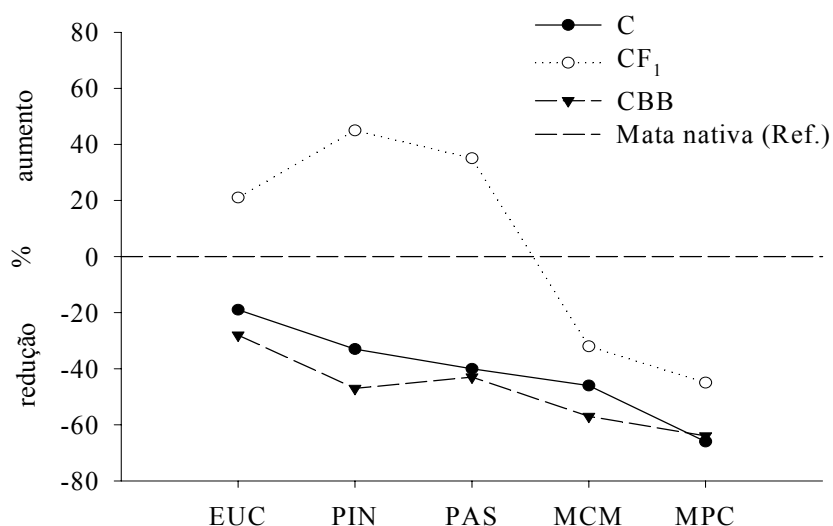


Figura 2. Aumentos e reduções percentuais de frações de carbono, em Latossolo Vermelho distroférico típico, nos sistemas eucalipto (EUC), pinus (PIN), pastagem (PAS), milho no sistema de cultivo mínimo (MCM) e milho no sistema de plantio convencional (MPC), em relação à mata nativa (MTN) (referência). C = carbono do solo;  $CF_1$  = carbono na fração de oxidação F<sub>1</sub>; CBB= carbono de baixa biodisponibilidade. Os percentuais de C,  $CF_1$  e CBB nos diferentes sistemas de uso e manejo representam a média dos valores obtidos nas profundidades de 0-0,05 e 0-0,1 m do solo.

Neste estudo, são apresentados e discutidos resultados associados ao grau de oxidação do C de um Latossolo representativo do Sul do estado de Minas Gerais, utilizando-se, para isso, diferentes sistemas de uso e manejo. Pesquisas dessa natureza fornecem subsídios para estudos ligados à dinâmica e à modelagem da MOS, na medida em que os dados foram obtidos em agroecossistemas representativos das condições de cultivo prevalentes em diferentes regiões brasileiras.

### **CONCLUSÕES**

1. O cultivo do solo causa um declínio nos teores de carbono, com reduções, em relação à mata nativa, oscilando de 19% a 66%, respectivamente, nos sistemas EUC e MPC.
2. O teor de carbono na fração  $F_1$  é afetado pelos sistemas de uso e manejo do solo, aumentando seus teores na seguinte ordem (0-0,05 m): PIN > EUC = MTN = PAS > MCM > MPC.
3. As variações nos teores de  $CF_1$  são maiores do que as notadas para o carbono total e o carbono de baixa biodisponibilidade, o que o torna um indicador mais sensível das mudanças na qualidade da matéria orgânica

do solo acarretadas pela introdução de diferentes sistemas de uso e manejo do Latossolo.

### REFERÊNCIAS

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V.; BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 679-686, 1999.

ANDRADE, C. A.; OLIVEIRA, C. de.; CERRI, C. C. Qualidade da matéria orgânica e estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo tratado com biossólido e cultivado com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 803-816, 2005.

BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal Agricultural Research**, Victoria, v. 46, n. 7. p. 1459-1466, 1995.

BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; OLIVEIRA, O. C. de; URGUIGA, S. Potencial para acumulação e seqüestro de carbono em pastagens de Brachiaria. In: LIMA, M. A. de; CABRAL, O. M. R.,; MIGUEZ, J. D. G (Eds.). **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. p. 213-229.

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

CHAN, K. Y. Consequences of changes in particulate organic carbon in Vertisols under pasture and cropping. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, p. 1376-1382, 1997.

CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in a paleustalf under different pasture leys. **Soil Science**, Baltimore, v. 166, n. 1, p. 61-67, Jan. 2001.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 4ª aproximação**. Lavras: CFSEMG, 1989. 176 p.

DALAL, R. C.; MAYER, R. J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. IV. Loss of organic carbon from different density fractions. **Australian Journal Agricultural Research**, Victoria, v. 24, p. 301-309, 1986.

DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C. A., ed. Methods of soil analysis. **American Society of Agronomy**, Madison, pt. 1, p. 545-566. 1965.

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

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. F.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. **Defining soil quality for a sustainable environment**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1994. Chapter 1, p. 3-22.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Serviço de Produção de Informação, 1999. 412 p.

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

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do SISVAR (Sistema para análise de variância) para Windows versão 4. 0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE

INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos, **Anais...**  
São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2000. p. 255-258.

FREITAS, A. G.; MATOS, E. S.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica e estabilidade de agregados em diferentes sistemas de adubação. In: FERTBIO, 2004, Lages. **Anais...** Lages: UDESC/SBCS, 2004. CD-ROM.

HEANES, D. L. Determination of total organic-C in soils by an improved chromic acid digestion and spectrophotometric procedure. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 15, p. 1191-1213, 1984.

LEFROY, R. D. B.; BLAIR, G. J.; STRONG, W. M. Changes in soil organic matter with cropping as measured by organic carbon fractions and <sup>13</sup>C natural isotope abundance. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 155/156, p. 399-402, 1993.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 821-832, 2003.

LONGO, R. M.; ESPÍNDOLA, C. R. C-orgânico, N-total e substâncias húmicas sob influência da introdução de pastagens (*Brachiaria* sp.) em áreas de Cerrado e Floresta Amazônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 723-729, 2000.

LUGO, A. E.; SANCHEZ, M. J.; BROWN, S. Land use and organic carbon content of some sub-tropical soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 96, p. 185-196, 1986.

MENDONÇA, E. de. SÁ; SILVA, A. C. da; MEDEIROS, M. L. de; FONTES, M. P. F. Carbono orgânico extraído por soluciones salinas y su relación con otras formas de carbono de suelos tropicales. **Agrociência**, Chapingo, v. 35, p. 397-406, 2001.



NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, 1982. p. 539-579.

OLIVEIRA FILHO, A. T.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. de. Composição florística e estrutura comunitária de uma remanescente de floresta semidecídua montada em Lavras, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 167-182, 1994.

POHLMAN, A. A.; MCCOLL, J. G. Soluble organic from forest litter and their role in metal dissolution. **Soil Society of American Journal**, Madison, v. 52, p. 265-271, 1988.

RESCK, D. V. S.; PEREIRA, J.; SILVA, J. E. **Dinâmica da matéria orgânica na região dos cerrados**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1991. 22 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 36).

ROVIRA, P.; VALLEJO, V. R. Labile and recalcitrant pools of carbon and nitrogen in organic matter decomposing at different depths in soil: an acid hydrolysis approach. **Geoderma**, Dordrecht, v. 107, p. 109-141, 2002.

SCHLESINGER, W. H. Carbon sequestration in soils. **Science**, Washington, v. 284, p. 2095, 1999.

SHANG, C.; TIESSEN, H. Organic matter lability in a tropical oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density and magnetic fractionations. **Soil Science**, Baltimore, v. 162, n. 11, p. 795-807, Nov. 1997.

SILVA, C. A.; ANDERSON, S. J.; VALE, F. R. Carbono, nitrogênio e enxofre em frações granulométricas de dois Latossolos submetidos à calagem e adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 593-602, 1999.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.

SILVA, I. R. da; NOVAIS, R. F. de; BARROS, N. F. de; SILVA, E. F. de. Manejo de resíduos e matéria orgânica do solo em plantações de eucalipto: uma questão estratégica para a manutenção da sustentabilidade. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 3, v. 29, p. 10-20, set./dez. 2004.

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 de cerrados do oeste baiana. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 18, p. 541-547, 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.

SIQUEIRA, J. O.; NAIR, M. G.; HAMMERSCHMIDT, R.; SAFIR, G. R. Significance of phenolic compounds in plant-soil-microbial systems. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Knoxville, v. 10, p. 63-121, 1991.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1994. 496 p.

THENG, B. K. G.; TATE, K. R.; SOLLINS, P. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. In: COLEMAN, D. C., OADES, J. M.; UEHARA, G. (Eds.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Hawaii: NifTAL Project, 1989. p. 5-32.

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

WHITBREAD, A. M.; BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B. Managing legume leys, residues and fertilizers to enhance the sustainability of wheat

cropping systems in Australia II. Soil physical fertility and carbon. **Soil & Tillage Research**, Wallingford, v. 54, p. 77-89, 2000.

YEOMANS, J. C.; 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. 13, p. 1467-1476, 1988.

ZAK, D. R.; GRIGAL, D. F.; OHMANN, L. F. Kinetics of microbial respiration and nitrogen mineralization in Great Lakes forests. **Soil Society of American Journal**, Madison, v. 57, p. 1100-1106, 1993.

## CAPÍTULO 6

### **FRACIONAMENTO FÍSICO DA MATÉRIA ORGÂNICA E ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO DE LATOSSOLO SUBMETIDO A DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO**

*(Preparado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo)*

#### **RESUMO**

O avanço das fronteiras agrícolas, caracterizado pela substituição de ecossistemas naturais por áreas cultivadas, foi intensificado nas últimas décadas, acarretando alterações na qualidade do solo e na dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS). Assim, o estudo do impacto da adoção de diferentes sistemas de manejo é essencial na definição de melhores estratégias de uso do solo. Este estudo teve por objetivo avaliar diferentes frações da MOS e os estoques de carbono e nitrogênio de Latossolo Vermelho distroférico típico, muito argiloso, submetido a diferentes sistemas de uso e manejo: mata nativa (MTN), eucalipto (EUC), pinus (PIN), pastagem (PAS), milho no sistema de cultivo mínimo (MCM) e milho no sistema de plantio convencional (MPC). As amostras de solo foram coletadas em setembro de 2004, nas profundidades de 0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,4 m, para avaliação dos estoques de carbono (C) e nitrogênio total (NT), de 0-0,05 e 0-0,1 m, para a realização do fracionamento físico da matéria orgânica e de 0-0,05 m, para avaliação do carbono da biomassa microbiana (C<sub>mic</sub>). O estoque de C na área de eucalipto foi maior do que o determinado na área de mata. A proporção relativa do C nas frações da MOS aumentou na seguinte ordem: C-argila > C-silte > C-areia > C<sub>FL</sub>. A maior parte (>90%) do C

está associada à fração pesada da MOS, com valores próximos a 98% nos sistemas cultivados com milho (MPC e MCM). Em relação aos teores de C, o  $C_{mic}$  e o carbono da fração leve ( $C_{FL}$ ) são indicadores mais sensíveis das alterações decorrentes da adoção de diferentes sistemas de uso e manejo sobre os compartimentos da matéria orgânica do Latossolo.

**Termos para Indexação:** frações orgânicas, biomassa microbiana, eucalipto, pinus, pastagem, sistemas de cultivo do milho.

**SUMMARY:** ORGANIC MATTER PHYSICAL FRACTIONATION AND ORGANIC AND NITROGEN STORAGE IN AN OXISOL SUBMITTED TO DIFFERENT USE AND MANAGEMENT SYSTEMS

The advance of the agricultural frontier, characterized by the conversion of natural ecosystems in cultivated areas, was intensified in the last decades. Most of the practices used to manage soils causes changes in the soil quality and in the soil organic matter (SOM) dynamics. The study of the impact of the adoption of different management systems is essential to the adoption of the best soil management practices. This study was carried out to evaluate different SOM fractions and carbon and nitrogen storage in a very clayey typic dystroferric Red Latosol (Oxisol) submitted to different use and management systems: native forest (MTN), eucalyptus (EUC), pinus (PIN), pasture (PAS), corn in the minimum tillage system (MCM) and corn in the conventional tillage system (MPC). The soil samples were sampled in September 2004, in the soil depths of 0-0,1, 0,1-0,2 and 0,2-0,4 m, for evaluation of the organic carbon (OC) and total nitrogen (TN)

storage. Soil samples from 0-0,05 and 0-01 m were used for physical-densimetric fractionation of SOM and, 0-0,05 m, for measuring the content of carbon in the microbial biomass ( $C_{mic}$ ). The OC storage in the EUC and PAS systems increased, in relation to the MTN system. The relative storage in C fractions of SOM increased in the following order: C-clay > C-silt > C-sand >  $C_{LF}$ . The largest proportion (>90%) of OC was associated with the SOM heavy fraction. In the corn tillage systems C in heavy fractions represented almost 98% of OC.  $C_{mic}$  and the C-light fraction ( $C_{LF}$ ) are more sensitive than OC contents in evaluating the SOM changes in function of the different soil use and management systems adopted. There is a perspective to use these attributes as sensitive indicators of changes in the SOM caused by soil management.

**Index terms:** organic fractions, microbial biomass, eucalyptus, pinus, pasture, corn cultivated systems.

## INTRODUÇÃO

A conversão de ecossistemas naturais para sistemas agrícolas envolve uma série de atividades que afetam as taxas de adição e decomposição da matéria orgânica do solo (MOS) (Zinn et al., 2005). Em sistemas naturais, os fatores de formação do solo são os determinantes primários dos processos de ciclagem do carbono (C), uma vez que exercem influência sobre o aporte de resíduos e sobre as saídas de C do solo (Stevenson, 1994). Em sistemas agrícolas, o uso e o manejo do solo atuam modificando tanto a entrada como a saída de C do solo para a atmosfera, em função da produção diferenciada de resíduos, do número

de cultivos, das espécies vegetais, da adubação, dos procedimentos de colheita, dos métodos adotados de preparo do solo e do manejo dos restos culturais (Lal & Bruce, 1999).

Em ecossistemas naturais, quando a vegetação nativa é substituída por sistemas agrícolas, os estoques de C podem ser drasticamente reduzidos, com perdas da ordem de 50% nos primeiros 0,2 m de profundidade do solo e de até 20%, na profundidade de um metro (Estados Unidos, 1999). Em regiões tropicais, as condições de temperaturas elevadas, os altos índices pluviométricos e, em consequência, a intensa atividade microbiana, propiciam a rápida decomposição dos materiais orgânicos depositados no solo (Mielniczuk et al., 2003; Silva & Machado, 2000).

Segundo Zinn et al. (2005), as maiores taxas de decomposição da MOS observadas em áreas sob cultivo ocorrem devido às perturbações físicas do solo, que implicam em rompimento dos macroagregados (reduz a proteção física da MOS), expondo a matéria orgânica protegida aos processos microbianos, contribuindo, dessa forma, para aumentar as taxas de emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Essas perdas de matéria orgânica em áreas cultivadas adquirem importância, em função de dois aspectos principais: i) anualmente, cerca de 1,2 Pg C (Pg, Petagrama = 10<sup>15</sup> gramas) é depositado na atmosfera em razão de alterações nos sistemas de uso e manejo dos solos agrícolas (Sauerbeck, 2001) e ii) o solo é um dos compartimentos que mais armazenam C na Terra, de modo que, em termos globais, o primeiro metro superior do solo armazena 2,5 vezes mais C que a vegetação terrestre e duas vezes mais C que o presente na atmosfera (Lal, 2002). O estoque de C orgânico na profundidade de um

metro de solo é estimado entre 1.462 e 1.548 Pg, enquanto que, na profundidade de até dois metros, este varia de 2.376 a 2.456 Pg (Batjes, 1999). Desse modo, em função das quantidades de C que armazena, o solo é um dos condicionantes de processos de poluição do ar, tendo em vista que a variação no estoque de C regula as emissões desse elemento para a atmosfera.

O estoque de nitrogênio total (NT) do solo é controlado, em condições naturais, por fatores climáticos e pela vegetação. Em solos sob clima tropical, a concentração de NT pode variar entre 0,02 e 0,4%, podendo, em casos extremos de solos orgânicos, chegar a até 2% (Stevenson, 1994). A maior parte do NT do solo se encontra na forma orgânica (mais de 95%), sendo a MOS um importante reservatório de formas potencialmente disponíveis de N para os vegetais, principalmente na forma nítrica ( $\text{N-NO}_3^-$ ) e amoniacal ( $\text{N-NH}_4^+$ ). A mineralização da MOS, que inclui os processos de aminação e amonificação, é responsável, por ano, pela conversão de 2 a 5% do N orgânico a N mineral. Esse processo é regulado pelo uso e manejo do solo (D'Andréa et al., 2004; Moreira & Siqueira, 2002), notadamente pelas espécies que são incluídas nos esquemas de rotação de culturas, de modo que o maior uso de leguminosas e a implantação de espécies com maior produção de biomassa causam um maior armazenamento de NT no solo (Mielniczuk et al., 2003).

Dentre os atributos biológicos sensíveis às alterações nos sistemas de manejo do solo e culturas, destaca-se a biomassa microbiana, que representa a parte viva da MOS e contém, em média, de 2 a 5% do C orgânico e até 5% do NT nos solos tropicais (Smith & Paul, 1990). O C



da biomassa microbiana, por ser o destino inicial do C em transformação no solo, apresenta rápida ciclagem, responde intensamente a flutuações sazonais de umidade e temperatura e ao manejo dos resíduos, e é o compartimento da MOS que responde mais rapidamente às mudanças nos sistemas de manejo, podendo ser utilizado, em relação o teor de C, como identificador mais precoce de alterações na MOS e na qualidade do solo (Anderson & Domsch, 1989; Powlson et al., 1987).

Os diversos tipos de fracionamento utilizados em estudos de MOS procuram separar frações homogêneas quanto à natureza, a dinâmica e à função, mas, ao mesmo tempo, suficientemente diferentes uma das outras (Christensen, 2000). O fracionamento físico da MOS é uma ferramenta importante nos estudos que envolvem mudanças nos sistemas de uso e manejo do solo (Christensen, 2000), sendo um procedimento mais sensível, em relação ao fracionamento químico, para verificar alterações em frações da MOS decorrentes da adoção de diferentes sistemas de manejo do solo (Golchin et al., 1997; Roscoe & Buurman, 2003). Outra característica importante dos métodos de fracionamento físico é sua natureza menos destrutiva e mais relacionada com a função e estrutura da MOS *in situ* (Christensen, 2000; Roscoe & Machado, 2002).

O uso do fracionamento físico nos estudos da MOS possibilita a separação de diferentes compartimentos orgânicos, cada qual respondendo, de forma distinta, às diferentes práticas de uso e manejo do solo (Collins et al., 1997; Freixo et al., 2002). Em regiões temperadas, este procedimento tem sido usado com maior frequência nos estudos que avaliam os compartimentos e a biodisponibilidade da MOS, sendo, desse

modo, premente o uso dessa ferramenta nas condições de solos brasileiros.

Este estudo teve por objetivo avaliar as diferentes frações da matéria orgânica e os estoques de carbono e nitrogênio de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo.

### **MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi conduzido utilizando-se amostras de Latossolo Vermelho distroférico típico, textura muito argilosa, localizado no *campus* da Universidade Federal de Lavras, MG. Os tipos de uso e manejo do solo avaliados foram: mata nativa (MTN), eucalipto (EUC), pinus (PIN), pastagem (PAS), milho no sistema de cultivo mínimo (MCM) e milho no sistema de plantio convencional (MCP). As características dos sistemas de uso e manejo avaliados estão descritas no Capítulo 3. A caracterização química e textural do solo nos seis sistemas, efetuada com base em amostras coletadas nas profundidades de 0-0,2 e 0,2-0,4 m, são apresentadas no Quadro 1. A metodologia utilizada para a avaliação dos atributos químicos está descrita em Silva et al. (1999), enquanto que a análise granulométrica foi efetuada pelo método da pipeta (Day, 1965), após a dispersão da amostra com NaOH 1 mol L<sup>-1</sup> e agitação rápida (6.000 rpm) por 15 minutos.

A amostragem de solo foi efetuada em setembro de 2004, conforme procedimentos descritos no Capítulo 5. Foram retiradas amostras nas profundidades de 0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,4 m, para a avaliação dos estoques de carbono (C) e nitrogênio total (NT), nas profundidades de 0-0,05 e 0-0,1 m, para a realização do fracionamento

físico da matéria orgânica e, na profundidade de 0-0,05 m para avaliação do carbono da biomassa microbiana do solo (Cmic). Para cada bloco e profundidade, em determinado sistema de uso e manejo, foram retiradas três amostras compostas, oriundas de 10 subamostras coletadas ao acaso, cada uma constituindo uma repetição. Para a avaliação da densidade do solo, coletaram-se três amostras indeformadas em cada sistema e profundidade (0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,4 m), com o auxílio de um anel volumétrico de 100 cm<sup>3</sup>. Nas áreas de milho, a amostragem do solo foi realizada após a colheita dos grãos. Em todos os sistemas de uso e manejo, antes da coleta das amostras de solo, foram removidos os resíduos vegetais presentes na superfície do solo.

As amostras compostas foram acondicionadas em sacos plásticos e conduzidas para o laboratório. Para a análise dos teores de C e NT, necessárias para o cálculo dos estoques desses elementos em solo, as amostras foram secadas ao ar, destorroadas, trituradas em almofariz e passadas em peneira de malha de 0,210 mm. As amostras para a realização do fracionamento físico foram secadas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm (terra fina seca ao ar-TFSA). As amostras coletadas no campo para análise do Cmic foram acondicionadas em sacos plásticos, protegidas da luz e mantidas em caixas térmicas. No laboratório, estas amostras foram passadas em peneiradas de malha de 4 mm, acondicionadas em sacos plásticos com respirador e mantidas em câmara fria a ± 4°C até a realização da análise de Cmic.

Quadro 1. Atributos de Latossolo Vermelho distroférico típico submetido a diferentes sistemas de uso e manejo (valores médios de três repetições).

Sistemas de uso e manejo	Atributo químico						Granulometria			
	pH H <sub>2</sub> O	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	P (Mehlich-1)	K <sup>+</sup>	Areia	Silte	Argila	
		----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			----- mg dm <sup>-3</sup> -----		----- g kg <sup>-1</sup> -----			
		----- Camada de solo, 0-0,2 m -----								
MTN	4,4	0,7	0,2	1,8	1,0	30	120	170	710	
EUC	4,5	0,6	0,2	1,9	1,5	21	180	70	750	
PIN	4,6	0,5	0,2	1,3	1,6	11	240	40	720	
PAS	5,8	2,7	0,4	0,2	1,8	74	180	140	680	
MCM	6,1	3,2	1,0	0,0	35,6	75	140	120	740	
MPC	5,6	2,2	0,3	0,2	25,3	116	140	170	690	
		----- Camada de solo, 0,2-0,4 m -----								
MTN	4,5	0,6	0,2	1,2	0,6	19	130	90	780	
EUC	4,7	0,5	0,2	1,8	1,1	20	170	80	750	
PIN	4,7	0,5	0,2	1,0	1,0	8	230	50	720	
PAS	5,6	1,5	0,5	0,2	0,5	50	170	60	770	
MCM	5,8	2,0	0,7	0,0	4,5	42	130	90	780	
MPC	5,5	2,0	0,3	0,2	6,5	63	130	110	760	

MTN: mata nativa; EUC: eucalipto; PIN: pinus; PAS: pastagem; MCM: milho cultivado no sistema de cultivo mínimo; MPC: milho cultivado no sistema de plantio convencional.

O C do solo foi determinado pela metodologia descrita em Yeomans & Bremner (1988) e o NT foi determinado utilizando-se o método descrito em Bremner (1996), ambos detalhados no Capítulo 2.

Os estoques de C e NT, nos diferentes sistemas sob estudo e em cada profundidade do solo, foram calculados pelo uso da seguinte fórmula: estoque de C ou NT ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) = teor de C ou NT ( $\text{g kg}^{-1}$ ) x  $D_s$  x  $e/10$ , em que  $D_s$  = densidade do solo na profundidade ( $\text{kg dm}^{-3}$ ) (média de três repetições) e  $e$  = espessura da camada de solo (cm). Para verificar o acúmulo ou a perda de C, foi calculada a variação do estoque de C em relação ao sistema referência (MTN) ( $\Delta\text{EstC}$ ,  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ), pela diferença entre os valores médios de estoque de C neste sistema e em cada um dos demais, dividida pela espessura (cm) da camada de solo avaliada.

O fracionamento físico da matéria orgânica do solo foi realizado seguindo-se as recomendações descritas por Gavinelli et al. (1995), Machado (2002) e Sohi et al. (2001), conforme mencionado no Capítulo 5. A determinação do C nas frações leve e pesada (C-areia, C-argila+silte e C-argila) foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Yeomans & Bremner (1988). O teor de C na fração silte (C-silte) foi obtido indiretamente, pela diferença dos teores de C nas frações argila+silte e argila.

O carbono da biomassa microbiana ( $C_{mic}$ ) foi avaliado pelo método da fumigação-extração (Vance et al., 1987), conforme descrito no Capítulo 2.

Com base nos resultados dos teores de C e Cmic, foi calculada a relação Cmic/C, ou quociente microbiano, expressa em porcentagem, utilizando-se a seguinte fórmula:  $(Cmic/C) \times 100$ .

Os dados dos estoques de C e NT e das frações de carbono foram submetidos à análise de variância para verificação, em cada profundidade, dos efeitos dos sistemas de uso e manejo do solo. As comparações das médias foram feitas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o aplicativo computacional SISVAR (Ferreira, 2000). Foram feitas análises de correlação de Pearson, sendo a verificação da significância dos coeficientes de correlação (r) efetuada pelo teste t de Student.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Estoques de carbono e nitrogênio**

Os estoques de carbono (C) e nitrogênio total (NT), nos diferentes sistemas de uso e manejo do solo, são apresentados no Quadro 2. Para o cálculo dos estoques de C e NT, foram consideradas a espessura e a densidade da camada de solo. Dessa forma, não foram avaliados os valores em relação às diferentes profundidades, uma vez que essas possuem diferentes espessuras e densidades.

O estoque de C foi afetado de modo significativo pelos sistemas de uso e manejo do solo, em todas as profundidades avaliadas (Quadro 2). De modo geral, considerando-se todas as profundidades de solo, os maiores estoques de C foram observados nos sistemas MTN e EUC, seguidos pelos sistemas PIN, PAS e MCM. Os sistemas de manejo com ausência ou menor revolvimento do solo apresentaram uma tendência em

armazenar mais C, principalmente nas profundidades de 0-0,1; 0,2-0,4 e 0-0,4 m. Paul & Clark (1989) afirmam que o aumento do estoque de C em solos submetidos a sistemas mais conservacionistas de manejo pode estar associado a dois fatores principais: i) proteção física dos compostos orgânicos contra a decomposição microbiana, favorecida pela oclusão do C nos agregados do solo e ii) proteção química dos compostos orgânicos

Quadro 2. Estoques de carbono e nitrogênio total e densidade de Latossolo Vermelho distroférico típico submetido a diferentes sistemas de uso e manejo.

Sistemas de uso e manejo <sup>1</sup>	Profundidade de solo (m)			
	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,4	0-0,4
Estoque de carbono (Mg ha <sup>-1</sup> )				
MTN	33,95 a	16,20 b	40,45 b	90,60 ab
EUC	29,48 a	26,27 ab	49,51 a	105,28 a
PIN	20,44 b	30,60 a	36,81 b	87,87 b
PAS	27,32 b	24,67 ab	42,59 b	94,60 ab
MCM	20,44 b	30,36 a	35,76 b	86,57 b
MPC	16,35 c	16,14 b	29,95 c	62,44 c
Estoque de nitrogênio total (Mg ha <sup>-1</sup> )				
MTN	2,79 a	1,57 a	3,62 ab	7,98 ab
EUC	2,51 a	1,91 a	4,48 a	8,89 a
PIN	2,69 a	1,73 a	3,73 ab	8,16 ab
PAS	2,56 a	2,20 a	3,85 ab	8,60 ab
MCM	2,38 a	1,85 a	3,45 b	7,66 b
MPC	2,01 a	2,14 a	3,65 ab	7,80 b
Densidade do solo (kg dm <sup>-3</sup> )				
MTN	0,88	0,88	0,94	-
EUC	1,02	1,06	1,07	-
PIN	1,11	1,15	1,07	-
PAS	1,09	1,07	1,03	-
MCM	1,22	1,20	1,17	-
MPC	1,11	1,19	1,14	-

<sup>1</sup> MTN: mata nativa; EUC: eucalipto; PIN: pinus; PAS: pastagem; MCM: milho cultivado no sistema de cultivo mínimo; MPC: milho cultivado no sistema de plantio convencional. Para ambos os atributos, dentro de cada profundidade, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

por meio da interação destes com os minerais e cátions do solo, o que dificulta a sua decomposição.

O estoque de C nas áreas de reflorestamento com eucalipto e pinus esteve próximo ou acima dos valores encontrados no sistema MTN (Quadro 2). Os dados contidos em literatura indicam tendências diferentes para mudanças nos estoques de C do solo em áreas sob reflorestamento nos trópicos. Embora alguns autores relatem reduções nos estoques de C em áreas de plantação de eucalipto e pinus (Fonseca et al., 1993; Madeira et al., 1989), em outros estudos não foram observadas nenhuma alteração (Lima et al., 1995; Turner & Lambert, 2000). Zinn et al. (2002), em estudo conduzido em Latossolo argiloso do Cerrado, cultivado com eucalipto e pinus, observaram valores de estoque de C de 51,8 e 61 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para a profundidade de 0-0,4 m, valores esses abaixo dos encontrados no presente trabalho. Estes resultados contraditórios encontrados na literatura certamente estão associados à grande variabilidade nas condições experimentais, como clima, tipo e preparo do solo e manejo e idades das florestas, que afetam o crescimento das árvores e a decomposição dos resíduos depositados no solo (Zinn et al., 2002).

No Brasil, as áreas sob pastagem, principalmente de gramíneas de origem africana, estão crescendo em todas as regiões. O levantamento realizado por Boddey et al. (2001) revelou que mais de 80 milhões de hectares estão ocupados por pastagens do gênero *Brachiaria*, atualmente, no Brasil. Analisando-se os dados do Quadro 2, é possível observar que, com exceção da profundidade de 0-0,1 m, o sistema PAS apresentou estoque de C semelhante ao sistema MTN, com valores numericamente



superiores nas camadas de 0,1-0,2; 0,2-0,4 e 0-0,4 m. Esses resultados podem ser atribuídos ao sistema radicular mais desenvolvido e bem distribuído das gramíneas sob pastagem, o que favorece uma elevada deposição de carbono ao solo na forma de raízes. Segundo Teixeira & Bastos (1989), as pastagens, em geral, apresentam uma distribuição regular do sistema radicular até um metro de profundidade, com 46% das raízes na camada superficial do solo (0-0,1 m), 18,6% na camada de 0,1-0,2 m, 22,8% na camada de 0,2-0,4 m e 12,4% na camada de 0,4-1,0 m.

Nas profundidades de 0-0,1; 0,2-0,4 e 0-0,4 m, o menor estoque de C foi observado no sistema MPC. Entre as áreas sob cultivo de milho, o estoque de C foi significativamente inferior no sistema com maior revolvimento do solo (MPC) (Quadro 2). É provável que o revolvimento do solo, homogeneizando as camadas superficiais pelas operações de aração e gradagem, tenha contribuído para a ocorrência deste efeito. Souza & Melo (2003) estudaram o impacto de diferentes sistemas de produção do milho sobre a dinâmica do carbono do solo e também observaram menor estoque de C no solo cultivado no sistema convencional, em relação aos sistemas nos quais os restos culturais foram mantidos na superfície do solo.

Em geral, houve poucas alterações nos estoques de NT do solo (Quadro 2). Somente na profundidade de 0,2-0,4 m e para o somatório dos estoques de NT nas diferentes profundidades do solo (0-0,4 m), foram observadas diferenças significativas entre os sistemas de uso e manejo avaliados. Os estoques de NT na camada de 0-0,4 m variaram de 7,66 (MCM) a 8,89 Mg ha<sup>-1</sup> (EUC). O aumento do estoque de NT nos sistemas MTN, EUC, PIN e PAS está, provavelmente, associado ao maior volume

de resíduos vegetais retornados ao solo e também aos maiores estoques de C nesses sistemas (Quadro 2).

Mais informativo que os valores absolutos dos estoques de C é a variação dos mesmos em relação ao sistema referência (MTN) ( $\Delta\text{EstC}$ ) (Figura 1), sendo esses valores uma estimativa do incremento ou redução do estoque de C do solo. Todos os sistemas de uso e manejo do solo causaram uma redução nos estoques de C na profundidade de 0-0,1 m, em relação ao sistema MTN, o que indica a susceptibilidade à oxidação do C das camadas superficiais dos solos, quando estes são submetidos a diferentes sistemas de uso e manejo. As reduções nos estoques de C na profundidade de 0-0,1 m foram de 13, 40, 19, 40 e 48%, para EUC, PIN, PAS, MCM e MPC, respectivamente (Figura 1). Com exceção do sistema MPC, nos demais sistemas de manejo, a redução nos estoques de C foi similar ou inferior ao percentual de 40%, estimado por Scholes et al. (1997), para solos tropicais cultivados.

Nas demais profundidades de solo avaliadas, as variações nos estoques de C apresentaram valores positivos nos sistemas EUC (0,1-0,2 e 0,2-0,4 m), PIN (0,1-0,2 m), PAS (0,1-0,2 e 0,2-0,4 m) e MCM (0,1-0,2 m) (Figura 1), demonstrando o potencial desses sistemas em atuar como drens de C-CO<sub>2</sub> da atmosfera. No sistema MPC, os valores de  $\Delta\text{EstC}$  foram negativos para todas as profundidades avaliadas, com uma pequena tendência de acúmulo de C na profundidade de 0,1-0,2 m. No sistema plantio convencional, o revolvimento constante do solo e as melhores condições de aeração propiciam a rápida decomposição da matéria orgânica (Mielniczuk et al., 2003).

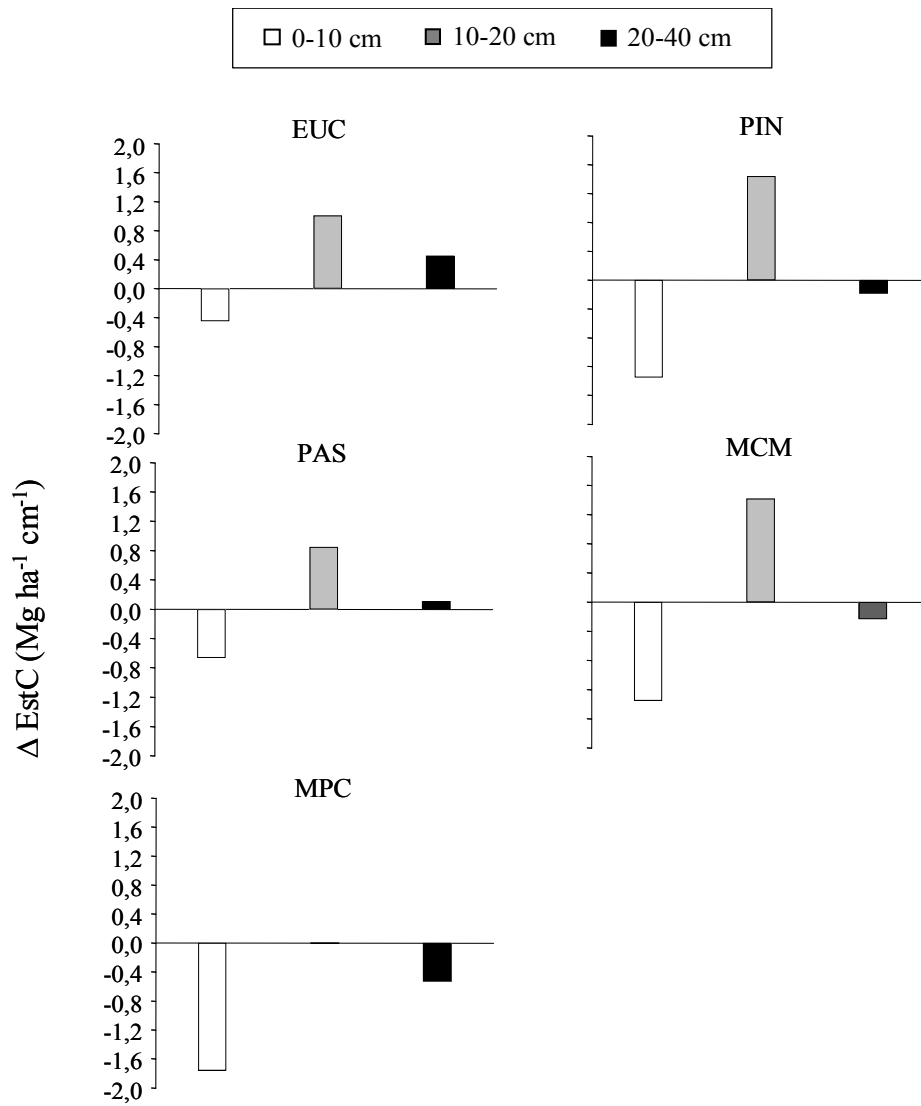


Figura 1. Variação do estoque de carbono ( $\Delta\text{EstC}$ ), nas profundidades de 0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,4 m, em relação ao sistema mata nativa (MTN) num Latossolo Vermelho distroférico típico submetido a diferentes sistemas de uso e manejo: EUC: eucalipto; PIN: pinus; PAS: pastagem; MCM: milho no sistema de cultivo mínimo; MPC: milho no sistema de plantio convencional. Valores positivos indicam aumento no estoque de C em relação ao sistema MTN.

O menor valor de  $\Delta\text{EstC}$  na profundidade de 0-0,1 m, no sistema MPC ( $-1,8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ), coincide com a faixa de trabalho das grades pesadas utilizadas no preparo da área para o plantio do milho. Nesse mesmo sistema, as menores perdas de C na profundidade de 0,1-0,2 m ( $-0,005 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ) podem estar associadas à incorporação dos resíduos vegetais, aumentando a entrada de carbono e atenuando as condições que favorecem a decomposição da MOS.

Levando-se em consideração todas as profundidades do solo e tomando-se o sistema MTN como referência, nos sistemas EUC e PAS houve um incremento de 14,7 e 4,0  $\text{Mg ha}^{-1}$ , respectivamente, no estoque de C, enquanto nos sistemas PIN, MCM e MPC a redução foi de 2,8, 4,0 e 28,2  $\text{Mg ha}^{-1}$ , respectivamente (Figura 1). Considerando um fator de conversão de C para  $\text{CO}_2$  de 3,67 (massa molar do  $\text{CO}_2$ /massa molar do C), nos sistemas em que foram observadas reduções nos estoques de carbono houve uma liberação total de 128,5  $\text{Mg C-CO}_2 \text{ ha}^{-1}$  para a atmosfera.

### **Fracionamento físico da matéria orgânica**

No Quadro 3, são apresentados os teores de C nas frações leve ( $\text{C}_{\text{FL}}$ ) e pesada (C-areia, C-silte e C-argila) da MOS. A taxa de recuperação do C do solo, após o fracionamento, variou de 87,7 a 122,1% (média de 102%), na profundidade de 0-0,05 m e de 101,9 a 124,6% (média de 113%), na profundidade de 0-0,1 m. Roscoe & Buurman (2003) obtiveram valores de recuperação do C do solo pelo fracionamento físico variando de 89 a 101%, enquanto Freixo et al. (2002), em Latossolo Vermelho-Amarelo, do Cerrado verificaram valores entre 76 e 96%.

Dentre os sistemas de uso e manejo do solo, a MTN, o EUC e o PIN, nas duas profundidades de solo em estudo, apresentaram os maiores teores de  $C_{FL}$ . Este é um indício de que, nesses sistemas, ocorre uma maior proteção física da fração leve da MOS. Esses resultados também podem estar associados à maior deposição de serapilheira nesses sistemas, condicionado o aumento no teor de  $C_{FL}$ . Os teores de  $C_{FL}$  sofreram uma grande redução nas áreas sob cultivo de milho (Quadro 3). Em relação ao sistema MTN, que apresentou  $3,5 \text{ g kg}^{-1}$  de  $C_{FL}$ , a diminuição nos teores de  $C_{FL}$ , nos sistemas MCM e MPC, foi de 86 e 91%, respectivamente, na profundidade de 0-0,05 m. Esses resultados estão de acordo com as observações de Freixo et al. (2002), que também verificaram uma redução média nos teores de  $C_{FL}$  de 85% em Latossolo sob cultivo de milho nos sistemas plantio direto e convencional, em relação ao mesmo solo sob cerrado nativo (referência do estudo).

Ainda em relação aos sistemas MCM e MPC, foi observada uma redução nos teores de C de 56 e 69% e de 57% e 66%, nas profundidades de 0-0,05 e 0-0,1 m, respectivamente, em relação à MTN (Quadro 4). Como as reduções nos teores de  $C_{FL}$  foram mais acentuadas que as reduções do C, os resultados mostram ser o  $C_{FL}$ , que representa a fração mais lábil da MOS, um indicador mais sensível do declínio nos teores de MOS.

O carbono presente na fração pesada ( $C_{FP}$ ) correspondeu, em média, a 94% do C do solo (Figura 2), aumentando sua proporção na seguinte ordem: MCM = MPC > PAS > MTN > PIN > EUC, com valores próximos de 98% nos sistemas MCM e MPC.

Quadro 3. Teores de carbono ( $\text{g kg}^{-1}$  de solo) nas frações orgânicas de amostras coletadas nas profundidades de 0-0,05 e 0-0,1 m de Latossolo Vermelho distroférico típico submetido a diferentes sistemas de uso e manejo<sup>1</sup>.

Profundidade (m)	C-Fração <sup>2</sup>	Sistema <sup>3</sup>					
		MTN	EUC	PIN	PAS	MCM	MPC
0-0,05	FL	3,5 (0,3)	5,1 (0,7)	4,6 (0,3)	1,0 (0,2)	0,5 (0,1)	0,3 (0,1)
	Areia	1,2 (0,2)	1,2 (0,1)	1,8 (0,1)	1,0 (0,06)	0,6 (0,05)	0,3 (0,06)
	Silte	27,1(2,2)	11,0(0,3)	12,6(1,3)	7,9(1,8)	10,1(0,7)	4,4(0,3)
	Argila	26,9(2,6)	26,1(3,9)	22,6(4,0)	20,5(3,3)	11,7(1,5)	9,1(2,2)
Recuperação (%) <sup>4</sup>		122,1	102,3	100,5	87,7	106,4	94,0
0-0,1	FL	5,8(0,8)	2,3(0,4)	2,5(0,2)	1,0(0,2)	0,2(0,02)	0,3(0,01)
	Areia	1,1(0,1)	0,8(0,03)	0,7(0,3)	1,0(0,04)	0,4(0,08)	0,4(0,09)
	Silte	17,5(1,3)	9,9(1,2)	7,6(1,1)	10,1(1,5)	7,8(0,8)	5,3(0,3)
	Argila	19,3(0,8)	17,4(0,2)	11,3(0,3)	15,3(0,6)	10,2(0,7)	8,6(0,9)
Recuperação (%)		115	110,7	124,6	112,8	113,2	101,9

<sup>1</sup> Valores entre parênteses referem-se ao erro padrão da média (n=3). <sup>2</sup> FL: carbono associado à fração leve; areia, silte e argila: carbono associado às frações granulométricas areia, silte e argila. <sup>3</sup> MTN: mata nativa; EUC: eucalipto; PIN: pinus; PAS: pastagem; MCM: milho no sistema de cultivo mínimo; MPC: milho no sistema de plantio convencional. <sup>4</sup> Relação entre o teor de C do solo e a soma do C determinado em cada fração.

A fração mais lábil da MOS ( $C_{FL}$ ) constituiu a menor parte do C do solo, com valores oscilando de 2,3 (MPC) a 12% (EUC), na profundidade de 0-0,05 m e de 1,1 (MCM) a 14,8% (MTN), na profundidade de 0-0,1 m (Figura 2). Os maiores percentuais de  $C_{FL}$  foram observados nos sistemas MTN, EUC e PAS. Na área de mata, na profundidade de 0-0,1 m, a percentagem de  $C_{FL}$  foi 6 e 14 vezes maior que aquela obtida nos sistemas com maior revolvimento do solo (MCM e MPC, respectivamente).

A pequena contribuição do  $C_{FL}$  para o C do solo, principalmente nos sistemas MCM e MPC, provavelmente, está associada à redução no aporte de resíduo e ao aumento na taxa de decomposição desta fração em solos menos estruturados, mais oxigenados, com temperaturas elevadas, boa disponibilidade de água, calagem e adubação (Christensen, 2000). Outra explicação para a pequena participação do  $C_{FL}$  no C do solo reside no fato de que o único mecanismo de proteção dessa fração é a recalcitrância dos seus materiais constituintes, o que torna o  $C_{FL}$  mais disponível para a microbiota que a fração pesada da MOS (Roscoe & Machado, 2002). Para solos argilosos de regiões temperadas, Parfitt et al. (1997) relataram uma percentagem de  $C_{FL}$  variando de 16 a 39% do C do solo. Entretanto, para Latossolos argilosos de regiões tropicais sob diferentes sistemas de manejo (floresta, cerrado e pastagem), Freixo et al. (2002) e Golchin et al. (1995) observaram percentagens de  $C_{FL}$  variando de 1 a 4% do C do solo, valores esses semelhantes aos da Figura 2.

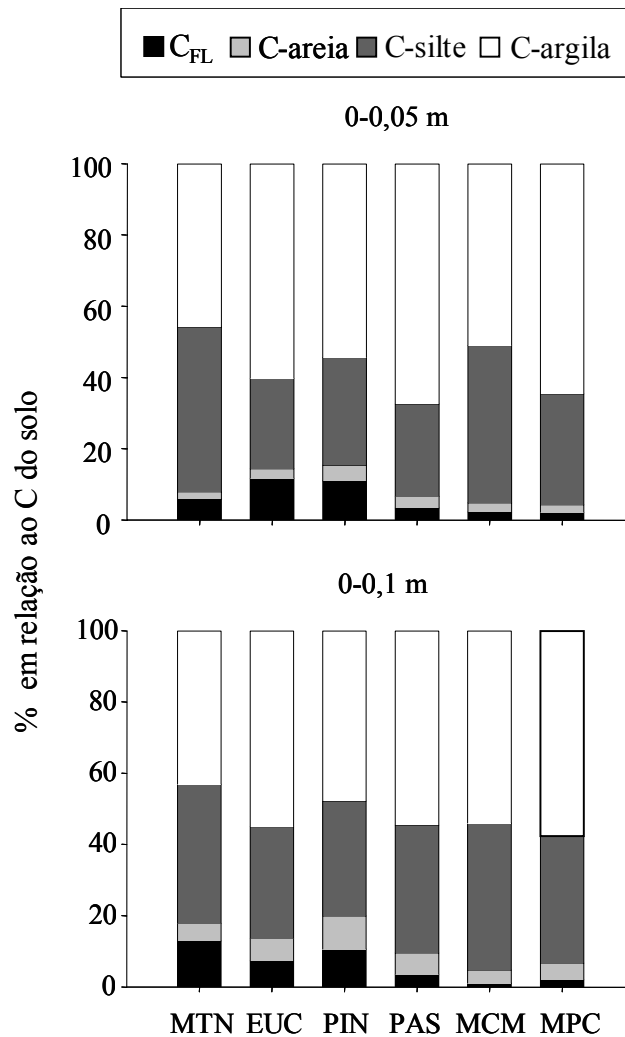


Figura 2. Percentagem do carbono nas frações leve ( $C_{FL}$ ) e pesada (C-areia, C-silte e C-argila) nas profundidades de 0-0,05 e 0-0,1 m de Latossolo Vermelho distroférico típico submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. MTN: mata nativa; EUC: eucalipto; PIN: pinus; PAS: pastagem; MCM: milho no sistema de cultivo mínimo; MPC: milho no sistema de plantio convencional.



O acúmulo de C na fração pesada, como resultado da estabilização da matéria orgânica nas partículas de argila, é bem documentado na literatura (Christensen, 2000). No Latossolo em estudo, as frações orgânicas associadas às partículas de areia contribuíram com cerca de 2,0 a 4,3% (0-0,05 m) e de 3,7 a 9,3% (0-0,1 m) do total de C do solo, seguida das frações silte, com 25,3 a 46,2% (0-0,05) e 31,3 a 41,3% (0-0,1 m) e argila, que contribuiu, em média, com mais 57 e 52% do C do solo nas profundidades de 0-0,05 e 0-0,1 m, respectivamente (Figura 2). Os baixos teores e proporção do C associado à fração areia estão relacionados, segundo Christensen (1992), à reduzida superfície específica e densidade de carga superficial das areias, fazendo com que esta fração apresente pouco ou nenhum material orgânico fortemente ligado, sendo pobre em complexos organo-minerais. A proporção de C nas partículas mais finas (silte e argila) aumentou com a intensidade de cultivo do solo, o que implica numa menor quantidade de formas de C prontamente disponíveis aos microrganismos, frações essas que estão mais associadas ao  $C_{FL}$  e C-areia. Em Latossolo argiloso de baixa fertilidade localizado em região tropical, Guggenberger et al. (1995) encontraram percentagem de C-areia, C-silte e C-argila variando de 2-4%, 39-45% e 51-59% do C do solo, valores esses similares aos encontrados neste estudo.

Em relação ao sistema MTN, as reduções nos teores de C na fração pesada (C-areia + C-silte + C-argila) nos sistemas EUC, PIN, PAS, MPC e MCM, foram de 31, 33, 47, 59 e 75% e, de 26, 48, 30, 51 e 62%, respectivamente, nas profundidades de 0-0,05 e 0-0,1 m, mostrando ser a fração pesada menos sensível, em relação ao  $C_{FL}$ , a alterações nos

sistemas de uso e manejo do solo. Na profundidade de 0-0,1 m, observou-se um aumento na proporção de C nas frações silte e argila em MPC, o que poderia ser explicado pelo efeito da incorporação dos resíduos vegetais, propiciando uma maior estabilização da MOS nessas partículas.

### **Carbono da biomassa microbiana**

Os dados de carbono da biomassa microbiana ( $C_{mic}$ ) apresentaram comportamento semelhante ao das demais formas de C do solo (Quadro 4). O sistema MTN apresentou um teor elevado de  $C_{mic}$  ( $1029,5 \mu\text{g g}^{-1}$ ) significativamente maior do que os valores encontrados para os demais sistemas de manejo do solo. Tomando o sistema MTN como referência, observou-se uma redução nos valores de  $C_{mic}$  da ordem de 28, 35, 40, 68 e 66%, respectivamente, nos sistemas EUC, PIN, PAS, MCM e MPC.

Não foram observadas diferenças significativas entre os sistemas EUC, PIN e PAS quanto ao teor de  $C_{mic}$ . Considerando-se os sistemas EUC e PIN com maior presença de gramíneas no sub-bosque, esperava-se que estes apresentassem maiores valores de  $C_{mic}$ . Os menores valores de  $C_{mic}$  no sistema EUC, em relação ao sistema MTN, devem-se, provavelmente, à presença de substâncias com atividade antimicrobiana encontradas na necromassa do eucalipto, além da ocorrência de compostos fenólicos que apresentam alta toxicidade microbiana (Siqueira et al., 1991).

Segundo Luizão et al. (1994), a redução nos teores de  $C_{mic}$  em solos sob pastagem pode ser explicada pelas modificações na estrutura física do solo, devido à compactação provocada pelo pisoteio da área pelo

rebanho bovino. Geraldles et al. (1995) observaram uma redução, em relação ao sistema referência (mata natural), de 41% no Cmic em pastagem implantadas há mais de 15 anos, valor semelhante ao encontrado neste trabalho (40%) para a pastagem de braquiária com 12 anos de implantação.

Quadro 4. Teores de carbono (C), carbono da biomassa microbiana (Cmic) e relações Cmic/C, carbono associado à fração leve (C<sub>FL</sub>) e C (C<sub>FL</sub>/C), Cmic/C<sub>FL</sub> e C e nitrogênio total (C/N), nas profundidades de 0-0,05 e 0-0,1 m de Latossolo Vermelho distroférico típico submetido a diferentes sistemas de uso e manejo.

Sistema <sup>1</sup>	C g kg <sup>-1</sup>	Cmic µg g <sup>-1</sup>	Cmic/C ----- % -----	C <sub>FL</sub> /C ----- % -----	Cmic/C <sub>FL</sub> ----- % -----	C/N ----- % -----
----- 0-0,05 m -----						
MTN	48,4 a	1029,5 a	2,12 a	7,3 b	0,29 c	13,4 b
EUC	42,4 b	735,3 b	1,73 a	12,0 a	0,14 d	13,2 b
PIN	41,4 b	672,5 b	1,64 a	11,1 a	0,15 d	15,5 a
PAS	34,9 bc	623,4 b	1,79 a	2,9 c	0,63 b	14,1 a
MCM	21,5 c	327,7 c	1,53 a	2,5 c	0,62 b	9,6 b c
MPC	15,1 c	348,3 c	2,29 a	2,3 c	1,01 a	8,5 c
----- 0-0,1 m -----						
MTN	38,9 a	-	-	14,8 a	-	12,2 a
EUC	29,0 b	-	-	7,8 b	-	11,7 a
PIN	19,0 c	-	-	13,4 a	-	7,7 c
PAS	25,0 b	-	-	4,0 c	-	10,7 b
MCM	16,6 d	-	-	1,1 d	-	8,6 c
MPC	14,6 d	-	-	2,3 cd	-	8,2 c

<sup>1</sup> MTN: mata nativa; EUC: eucalipto; PIN: pinus; PAS: pastagem; MCM: milho cultivado no sistema de cultivo mínimo; MPC: milho cultivado no sistema de plantio convencional. Médias seguidas da mesma letra, dentro de cada profundidade do solo e atributo ou relação avaliada, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (p≤0,05).

A percentagem de Cmic em relação ao C do solo (Cmic/C), ou quociente microbiano, variou de 1,53%, no MCM, até 2,29%, no MPC (Quadro 4). Estes valores estão na mesma ordem de magnitude daqueles

observados por Leite et al. (2003) para diferentes sistemas agrícolas (1 a 2%) localizados no estado de Minas Gerais. Jenkinson & Ladd (1981) consideram normal valores da relação  $C_{mic}/C$  entre 1 a 4%, sendo esses dependentes do clima, pH, sistemas de cultura, preparo do solo e quantidade e qualidade do aporte de resíduos ao solo (Lutzow et al., 2002). Por esse motivo, a relação  $C_{mic}/C$  não deve ser analisada isoladamente como um indicador da qualidade da MOS.

Os valores da relação  $C_{mic}/C_{FL}$  foram maiores nos sistemas MPC, PAS e MCM, o que indica um maior requerimento de substratos de rápida degradabilidade para a manutenção da microbiota do solo nessas áreas (Quadro 4).

A relação C/N do solo variou de 8,5% (MPC) a 13,4% (MTN) e de 7,7% (PAS) a 12,2% (MTN) para as amostras coletadas nas profundidades de 0-0,05 e 0-0,1 m, respectivamente (Quadro 4). Para solos de regiões tropicais não revolvidos existe um equilíbrio na relação C/N em torno de 10 a 15/1 (Stevenson, 1994). Os baixos valores dessa relação observados em MPC e MCM podem ser devido ao alto valor de pH e à ausência de alumínio no solo (Quadro 2), fatores que favorecem o aumento da decomposição da MOS (Stevenson, 1994).

Os teores de  $C_{mic}$  correlacionaram-se com os teores de C e com as frações C-silte e C-argila do solo (Quadro 5), com coeficientes de correlação ( $r$ ) acima de 0,85<sup>\*\*</sup>. A correlação negativa entre o  $C_{mic}$  e o  $C_{FL}$  pode ser explicada pela pequena percentagem do C presente nesta fração e, pela redução mais acentuada do  $C_{FL}$  em relação aos teores de C, C-silte e C-argila. A alta correlação obtida entre o C e o C-argila ( $r=0,99^{**}$ ) reafirma os resultados da Figura 2, em que se pode observar

que a maior parte do C do solo está presente na fração argila, sendo, por esse motivo, mais protegido química e fisicamente e menos sensível às alterações nos sistemas de uso e manejo do solo. O  $C_{FL}$  correlacionou-se com o C-areia. Gregorich & Ellert (1993) afirmam ser o material orgânico recuperado na fração areia, também chamado de matéria macrorrgânica ou matéria orgânica particulada, constituído basicamente de matéria orgânica não complexada ou livre, o que a assemelha à fração leve obtida pelo fracionamento físico.

Quadro 5. Coeficientes de correlação de Pearson entre compartimentos do carbono e nitrogênio total de Latossolo Vermelho distroférico típico do Sul do estado de Minas Gerais, na profundidade de 0-0,05 m.

	C	Cmic	$C_{FL}$	C-areia	C-silte	C-argila
Cmic	0,94**					
$C_{FL}$	0,84*	0,71 <sup>ns</sup>				
C-areia	0,83*	0,64 <sup>ns</sup>	0,83*			
C-silte	0,74 <sup>ns</sup>	0,85*	0,48 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>		
C-argila	0,99**	0,93**	0,85*	0,78*	0,67 <sup>ns</sup>	
NT	0,92**	0,92**	0,79*	0,59 <sup>ns</sup>	0,82*	0,93**

<sup>ns</sup> Não significativo. \* e \*\* significativo a 5% e a 1% de probabilidade, pelo teste t, respectivamente.

Na Figura 3, são apresentados alguns atributos do solo avaliados nas amostras coletadas nos diferentes sistemas de uso e manejo. Os atributos do solo em MTN foram utilizados como referência. Verifica-se que, nos sistemas com maior aporte de resíduos (entrada de carbono fotossintetizado) e menor revolvimento, o solo apresentou-se num estado mais próximo ao da referência, surgindo atributos emergentes como o aumento do carbono associado à fração leve ( $C_{FL}$ ). Os dados da Figura 3 também mostram que as maiores alterações entre os atributos avaliados

ocorreram para os teores de  $C_{mic}$  e  $C_{FL}$ , comparativamente às alterações nos teores de  $C$  e  $C_{FP}$  (carbono associado à fração pesada). Em modelos de simulação da dinâmica da MOS, como o Century (Parton et al., 1987), o  $C_{mic}$  e o  $C_{FL}$  correspondem, respectivamente, aos compartimentos ativo e lento, com tempo de ciclagem inferior ao  $C_{FP}$ , que representa o

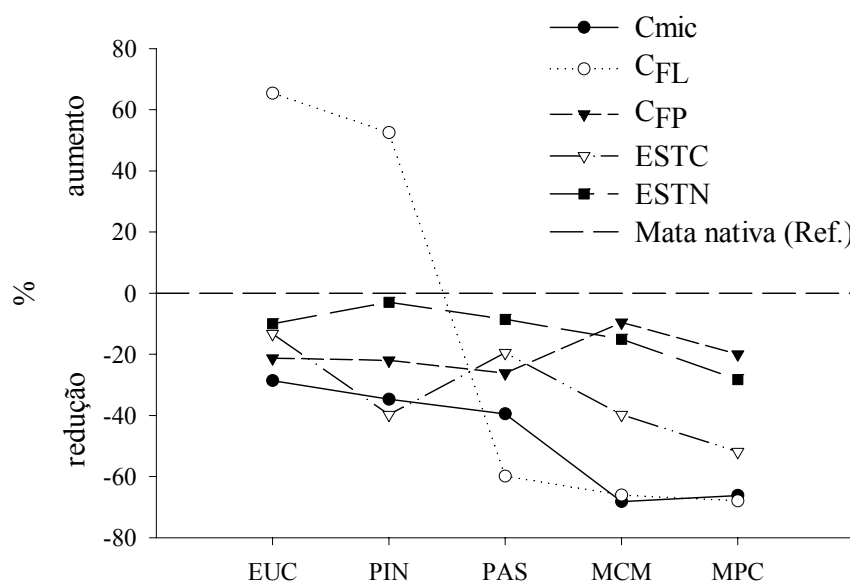


Figura 3. Redução e, ou, aumento nos teores de carbono em diferentes frações orgânicas de Latossolo Vermelho distroférico típico submetido aos sistemas eucalipto (EUC), pinus (PIN), pastagem (PAS), milho no sistema de cultivo mínimo (MCM) e milho no sistema de plantio convencional (MPC), em comparação à mata nativa (MTN).  $C_{mic}$ = carbono da biomassa microbiana,  $C_{FL}$ = carbono associado à fração leve;  $C_{FP}$  = carbono associado à fração pesada (C-areia + C-silte + C-argila); EstC = estoque de C; EstN= estoque de NT. Os dados de EstC e EstN foram obtidos das amostras coletadas na profundidade de 0-0,1 m; os dados dos demais atributos referem-se às amostras da profundidade de 0-0,05 m.

compartimento passivo (parte não viva e mais recalcitrante da MOS). Por essa razão, o  $C_{mic}$  e o  $C_{FL}$  podem ser apontados como indicadores mais sensíveis para detectar modificações na MOS, antes mesmo que os teores de C presentes em seus compartimentos mais estáveis sejam alterados de maneira significativa.

### CONCLUSÕES

1. Os estoques de C do solo, na camada de 0-0,4 m, seguiram a seguinte ordem decrescente: EUC~MTN~PAS>PIN~MCM>MPC. As áreas cultivadas com milho armazenam as menores quantidades de NT no solo.
2. Os teores de C da fração leve, em relação à área de mata, diminuíram nos sistemas cultivados com milho e representaram, nessas áreas, de 1,1 a 2,5% do C do solo.
3. O carbono na fração pesada (C-argila, C-silte e C-areia) representou mais de 90% do C presente no solo.
4. Em relação à área sob mata, o cultivo do solo reduziu (28 a 68%) os teores de  $C_{mic}$ , sendo as maiores alterações notadas nas áreas sob cultivo de milho.
5. O  $C_{mic}$  e o  $C_{FL}$  foram os compartimentos da matéria orgânica mais sensíveis às alterações decorrentes da adoção de diferentes sistemas de uso e manejo do Latossolo estudado, podendo ser utilizados como indicadores mais sensíveis de mudanças ocorridas na qualidade da MOS.

## LITERATURA CITADA

- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic matter in arable soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 21, p. 471-479, 1989.
- BATJES, N. H. **Management options for reducing CO<sub>2</sub> concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil.** Wageningen: ISRIC, 1999. 114 p.
- BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; OLIVEIRA, O. C. de; URGUIGA, S. Potencial para acumulação e seqüestro de carbono em pastagens de Brachiaria. In: LIMA, M. A. de; CABRAL, O. M. R.; MIGUEZ, J. D. G. (Ed.). **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. p. 213-229.
- BREMNER, J. M. Nitrogen total. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Methods of soil analysis.** Part 3. Madison: America Society of Agronomy, 1996. p. 1085-1121. (SSSA Book Series, 5).
- CHRISTENSEN, B. T. **Organic matter in soil:** structure, function and turnover. DIAS Report No. 30 Plant Production, Tjele. 2000. p. 95.
- CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Science**, v. 20, p. 1-90, 1992.
- COLLINS, H. P.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T. Characterization of soil organic carbon relative to its stability and turnover. In: PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T.; COLE, C. V. (Ed.). **Soil organic matter in temperate agroecosystems: long-term experiments in North America.** Boca Raton: CRC Press, 1997. p. 51-72.
- D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoques de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 179-186, 2004.



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

DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. pt. 1, p. 545-566.

ESTADOS UNIDOS. Department of energy. **Sequestration of carbon: state of the science**. Washington, 1999. n. p.

FEIGL, B. J.; SPARLING, G. P.; ROSS, D. J.; CERRI, C. C. Soil microbial biomass in Amazonian soils: evaluation of methods and estimates of pool sizes. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 27, n. 11, p. 1467-1472, Nov. 1995.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows 4. 0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., São Carlos, 2000. **Anais...** São Carlos: UFSCAR, 2000. p. 255-258.

FONSECA, S.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; LEAL, G. L.; LOURES, E. G.; MOURA FILHO, V. Alterações em Latossolo sob eucalipto, mata natural e pastagem: II-propriedades orgânicas e microbiológicas. **Árvore**, Viçosa, v. 17, p. 289-302, 1993.

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. de A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 26, p. 425-434, 2002.

GAVINELLI, E.; FELLER, C.; LARRÉ-LARROUY, M. C.; BACYE, B. A routine method to study soil organic matter by particle-size fractionation: examples for tropical soils. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 26, p. 1749-1760, 1995.

GERALDES, A. P. A.; CERRI, C. C.; FEIGL, B. J. Biomassa microbiana de solo sob pastagem na Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 55-60, 1995.

GOLCHIN, A.; BALDOCK, J. A.; OADES, J. M. A model linking organic matter decomposition, chemistry, and aggregate dynamics. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLETT, R. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Soil Processes and the Carbon Cycle**. Boca Raton: CRC Press, 1997. p. 245-266.

GOLCHIN, A.; OADES, J. M.; SKJEMSTAD, J. O.; CLARKE, P. Structural and dynamic properties of soil organic matter as reflected by <sup>13</sup>C natural abundance, pyrolysis mass spectrometry and solid-state <sup>13</sup>C NMR spectroscopy in density fractions of an Oxisol under forest and pasture. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 33, p. 59-76, 1995.

GREGORICH, E. G.; ELLERT, B. H. Light fraction and macroorganic matter in mineral soils. In: CARTER, M. R. (Ed.). **Soil sampling and methods of analysis**. Boca Raton: Lewis, 1993. p. 397-407.

GUGGENBERGER, G.; ZECH, W.; THOMAS, R. J. Lignin and carbohydrate alteration in particle-size separates of an Oxisol under tropical pastures following native savanna. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 27, p. 1629-1638, 1995.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Soil Biochemistry. In: PAUL, E. A.; LAAD, J. N. (Ed.). **Microbial biomass in soil: measurement and turnover**. New York: Dekker, 1981. p. 415-471.

LAL, R. The potential of soils of the tropics to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. **Advances in Agronomy**, London, v. 74, p. 155-192, 2002.

LAL, R.; BRUCE, J. P. The potential do world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect. **Environmental Science and Policy**, Oxford, v. 2, p. 177-185, 1999.

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

LIMA, V. C.; LIMA, J. M. J. C.; CERRI, C. C.; FRANZON, J. F. Efeito da substituição de campo natural por *Pinus* na dinâmica de carbono do solo. **Revista do Setor Ciência Agrárias**, Curitiba, v. 14, n. 1/2, p. 7-12, 1995.

LUIZÃO, R. C.; CAMPISTA, D.; COSTA, E. S. Efeito da idade e do manejo das pastagem na Amazônia Central sobre a biomassa microbiana e suas atividades no solo. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 2., 1994, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1994. p. 49.

LUTZOW, M. von; LEIFELD, J.; KAINZ, M.; KNABNER-KOGEL, I.; MUNCH, J. C. Indications for soil organic matter quality in soil under different management. **Geoderma**, Amsterdam, v. 105, p. 243-258, 2002.

MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo por densidade e granulometria para a quantificação de compartimentos da matéria orgânica do solo**: um procedimento para a estimativa pormenorizada do seqüestro de carbono pelo solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 6 p. (Embrapa Solos. Comunicado Técnico, 9).

MADEIRA, M. A. V.; ANDREUX, P. P.; PORTAL, J. M. Changes in soil organic matter characteristics due reforestation with *Eucalyptus globules*, in Portugal. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 81/82, p. 481-488, June 1989.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, p. 425-433, 2003.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F. F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3, p. 209-248.

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

PARFITT, R. L.; THENG, J. S.; WHITTON, J. S.; SHEPHERD, T. G. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. **Geoderma**, Amsterdam, v. 75, n. 1/2, p. 1-12, Jan. 1997.

PARTON, W. J.; SCHIMEL, D. S.; COLE, C. V.; OJIMS, D. S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 51, p. 1173-1179, 1987.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. San Diego: Academic Press, 1989. 272 p.

POWLSON, D. S.; BROOKS, P. C.; CHRISTENSEN, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of change in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 19, p. 159-164, 1987.

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

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. de A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 86 p.

SAUERBECK, D. R. CO<sub>2</sub> emissions and C sequestration by agriculture: perspectives and limitations. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 60, n. 1/3, p. 253-266, 2001.

SCHOLES, M. C.; POWLSON, D.; TIAN, G. Input control of organic matter dynamics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, p. 25-47, 1997.

SILVA, C. A.; MACHADO, P. L. O. 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, 19).

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.

SIQUEIRA, J. O.; NAIR, M. G.; HAMMERSCHMIDT, R.; SAFIR, G. R. Significance of phenolic compounds in plant-soil-microbial systems. **Critical Reviews and Plant Science**, Boca Raton, v. 10, p. 63-121, 1991.

SMITH, J. L.; PAUL, E. A. The significance of soil microbial biomass estimations. In: BOLLAG, J. M.; STOTSKY, G. (Ed.). **Soil Biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1990. p. 357-398.

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, p. 1121-1128, 2001.

SOUZA, W. J. O.; MELO, W. J. Matéria orgânica de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, p. 1113-1122, 2003.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry**: genesis, composition, reactions. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1994. 496 p.

TEIXEIRA, L. B.; BASTOS, J. B. **Matéria orgânica nos ecossistemas de floresta primária e pastagem na Amazônia central**. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1989. 26 p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de Pesquisa, 99).

TURNER, J.; LAMBERT, M. Changes in organic carbon in forest plantation soils in eastern Australia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 133, p. p. 231-247, 2000.

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, p. 703-707, 1987.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

ZINN, Y. L.; DIMAS, V. S.; SILVA, J. E. da. Soil organic carbon as affected by afforestation with *Eucalyptus* and *Pinus* in the Cerrado region of Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 66, p. 285-294, 2002.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil and Tillage Research**, Walingford, v. 84, p. 28-40, 2005.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os efeitos dos espaçamentos de plantio dos cafeeiros sobre os teores e estoques de carbono (C) e nitrogênio total (NT) ocorreram de maneira mais acentuada até a profundidade de 0-0,1 m do solo. O adensamento de plantio da lavoura cafeeira não foi eficiente em promover o incremento no armazenamento de matéria orgânica em solo, tendo, neste estudo, os maiores estoques de C e NT sido observados nos tratamentos referentes aos espaçamentos entre as linhas de plantio superiores a três metros. Os teores e os estoques de C e NT são indicadores pouco sensíveis das alterações provocadas pelos diferentes sistemas de uso e manejo dos Latossolos sobre a matéria orgânica do solo.

As características dos sistemas de uso e manejo avaliados no município de Lavras, MG conduziram a padrões de resposta diferentes para os teores e estoques de C e NT. O manejo menos conservacionista do solo, nas áreas cultivadas com milho, proporcionou um rápido declínio nos teores e estoques de C e NT. Entre os sistemas de uso e manejo avaliados, o eucalipto e a pastagem foram os mais eficientes em aumentar os estoques de C. Resultados dessa natureza confirmam a premissa de que o manejo conservacionista do solo, associado ao elevado aporte de resíduos vegetais e à ausência de revolvimento, é uma estratégia eficiente em aumentar os estoques de matéria orgânica em solos tropicais, tão dependentes dessa matriz orgânica para aumentar sua capacidade de retenção e fornecimento de nutrientes às plantas.

O cultivo do cafeeiro por 11 anos proporcionou um decréscimo nos teores de carbono da biomassa microbiana do solo (C<sub>mic</sub>), sendo esse efeito mais pronunciado no solo localizado na projeção das copas (PC) dos cafeeiros. Diferentemente do que foi observado para os teores de C, o adensamento de plantio foi eficiente em aumentar os teores de C<sub>mic</sub>, principalmente nas entrelinhas (EL), onde os maiores teores ocorreram nos tratamentos referentes aos espaçamentos de 2 e 2,5 metros entre as linhas de plantio dos cafeeiros. No

Latossolo localizado no município de Lavras, o cultivo afetou negativamente os teores de  $C_{mic}$ , com as reduções mais acentuadas (68 e 66% respectivamente, em relação ao solo de mata nativa) tendo sido observadas nas áreas de milho nos sistemas de cultivo mínimo e convencional.

Os resultados obtidos nas duas áreas que compõem este trabalho permitem concluir que a matéria orgânica presente nos Latossolos apresenta elevado potencial de oxidação, estando sua maior proporção associada às frações de oxidação  $F_1$  e  $F_2$ . No Latossolo cultivado com cafeeiros, o adensamento de plantio para um estande final de plantas superior a 4.000 plantas  $ha^{-1}$  proporcionou um acréscimo na proporção de carbono na fração  $F_1$  ( $CF_1$ ), que representou, em média, 44% do C do solo. Para o Latossolo do município de Lavras, o  $CF_1$  representou, em média, 33% do C do solo, com as maiores proporções ocorrendo nos sistemas cultivados com milho no cultivo mínimo (38%) e pinus (34,4%). Outra constatação importante, quanto ao grau de oxidação do C, é que esse diminuiu nos sistemas menos perturbados, nos quais se observou uma tendência ao predomínio do carbono de baixa biodisponibilidade (CBB).

O fracionamento físico da matéria orgânica revelou uma acentuada redução no carbono associado à fração leve ( $C_{FL}$ ) com o cultivo do solo, o qual representou, em média, menos de 4% do total do C presente nos dois Latossolos avaliados. Outra constatação deste estudo foi a redução nos teores de  $C_{FL}$  nas camadas mais profundas do solo, o que indica ser este compartimento da matéria orgânica bastante dependente do aporte e, ou, da presença de resíduos vegetais na superfície do solo.

Os resultados obtidos nos dois Latossolos em estudo permitem classificar o  $C_{mic}$ , o  $CF_1$  e o  $C_{FL}$  como os principais atributos a serem utilizados na avaliação das mudanças nas frações da matéria orgânica do solo, em função da adoção de diferentes sistemas de usos e manejo.



## **ANEXOS**

ANEXO (A)	Página
TABELA 1 A	Resumo da análise de variância para os teores de carbono (C), nitrogênio total (NT), relação C/N, carbono da biomassa microbiana (Cmic) e relação Cmic/C de Latossolo cultivado com cafeeiros, no Sul de Minas Gerais..... 165
TABELA 2 A	Resumo da análise de variância para os teores de carbono da biomassa microbiana das amostras coletadas em diferentes épocas (verão e inverno) em Latossolo cultivado com cafeeiros, no Sul de Minas Gerais..... 166
TABELA 3 A	Resumo da análise de variância para os teores de carbono nas frações de oxidação F <sub>1</sub> , F <sub>2</sub> , F <sub>3</sub> , F <sub>4</sub> e carbono de baixa biodisponibilidade (CBB) de Latossolo sob diferentes sistemas de uso e manejo, no Sul de Minas Gerais..... 166
TABELA 4 A	Resumo da análise de variância para a proporção do carbono na fração F <sub>1</sub> (CF <sub>1</sub> /C), índice de compartimento de carbono (ICC), grau de biodisponibilidade do carbono (GBC), índice de biodisponibilidade do carbono (IBC) e índice de carbono orgânico (ICO) de Latossolo sob diferentes sistemas de uso e manejo, no Sul de Minas Gerais.... 167
TABELA 5 A	Resumo da análise de variância para os teores de carbono nas frações de oxidação F <sub>1</sub> , F <sub>2</sub> , F <sub>3</sub> , F <sub>4</sub> e carbono de baixa biodisponibilidade (CBB) de Latossolo cultivado com cafeeiros, no Sul de Minas Gerais..... 167
TABELA 6 A	Resumo da análise de variância para a proporção do carbono na fração F <sub>1</sub> (CF <sub>1</sub> /C), índice de compartimento de carbono (ICC), grau de biodisponibilidade do carbono (GBC), índice de biodisponibilidade do carbono (IBC) e índice de carbono orgânico (ICO) de Latossolo cultivado com cafeeiros, no Sul de Minas Gerais..... 168

TABELA 7 A	Resumo da análise de variância para os resultados de estoque de carbono (EstC), estoque de nitrogênio (EstN), carbono associado à fração leve (C <sub>FL</sub> ), carbono associado à fração areia (C-areia) e carbono associado à fração silte (C-silte) de Latossolo cultivado com cafeeiros, no Sul de Minas Gerais.....	169
TABELA 8 A	Resumo da análise de variância para os teores de carbono associado à fração argila (C-argila) de Latossolo cultivado com cafeeiros, no Sul de Minas Gerais.....	170
TABELA 9 A	Resumo da análise de variância para os resultados de estoque de carbono (EstC), estoque de nitrogênio (EstN), teor carbono (C), teor de carbono da biomassa microbiana (C <sub>mic</sub> ) e relação entre carbono da biomassa microbiana e carbono (C <sub>mic</sub> /C) de Latossolo sob diferentes sistemas de uso e manejo, no Sul de Minas Gerais.....	170
TABELA 10 A	Resumo da análise de variância para os resultados das relações entre carbono da biomassa microbiana e carbono associado à fração leve (C <sub>mic</sub> /C <sub>FL</sub> ) e carbono e nitrogênio total (C/N) de Latossolo sob diferentes sistemas de uso e manejo, no Sul de Minas Gerais.....	171

TABELA 1 A. Resumo da análise de variância para os teores de carbono (C), nitrogênio total (NT), relação C/N, carbono da biomassa microbiana (Cmic) e relação Cmic/C de Latossolo cultivado com cafeeiros, no Sul de Minas Gerais.

F.V.	G.L.	Quadrado Médio				
		C	NT	C/N	Cmic	Cmic/C
----- 0 -0,05 m -----						
Bloco	2	11,22 <sup>ns</sup>	2,04 <sup>ns</sup>	1,44 <sup>ns</sup>	11776,83 <sup>ns</sup>	0,006 <sup>ns</sup>
Trat	11	25,33*	0,68 <sup>ns</sup>	4,71 <sup>ns</sup>	106412,11*	1,18*
Local	1	1579,96*	43,55*	6,56 <sup>ns</sup>	4630872,9*	30,51*
Trat x Local	11	35,11*	0,64 <sup>ns</sup>	2,89 <sup>ns</sup>	86393,82*	0,81*
Resíduo	46	5,52	0,85	2,41	19828,18	0,06
C.V. (%)		7,4	21,7	19,8	15,4	20,3
----- 0 -0,1 m -----						
Bloco	2	0,02 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>	-	-
Trat	11	0,17*	0,008*	9,51*	-	-
Local	1	2,53*	0,071*	7,81*	-	-
Trat x Local	11	0,07*	0,003 <sup>ns</sup>	1,35 <sup>ns</sup>	-	-
Resíduo	46	0,03	0,002	1,69	-	-
C.V. (%)		8,8	18,7	13,1	-	-
----- 0,1-0,2 m -----						
Bloco	2	0,16 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	-	-
Trat	11	0,17 <sup>ns</sup>	0,005 <sup>ns</sup>	12,62*	-	-
Local	1	0,57 <sup>ns</sup>	0,003 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	-	-
Trat x Local	11	0,14 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	2,92 <sup>ns</sup>	-	-
Resíduo	46	0,15	0,003	4,79	-	-
C.V. (%)		18,3	23,5	21,0	-	-
----- 0,2 - 0,4 m -----						
Bloco	2	0,09*	0,002*	5,80*	-	-
Trat	11	0,05*	0,0005 <sup>ns</sup>	1,21 <sup>ns</sup>	-	-
Local	1	0,61*	0,005*	0,30 <sup>ns</sup>	-	-
Trat x Local	11	0,08*	0,0006 <sup>ns</sup>	1,71 <sup>ns</sup>	-	-
Resíduo	46	0,02	0,0004	1,04	-	-
C.V. (%)		8,5	10,4	10,5	-	-

\* significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup> não significativo.

TABELA 2 A. Resumo da análise de variância para os teores de carbono da biomassa microbiana das amostras coletadas em diferentes épocas (verão e inverno) em Latossolo cultivado com cafeeiros, no Sul de Minas Gerais.

F.V.	G.L.	Quadrado Médio Cmic
Bloco	2	30695,81 <sup>ns</sup>
Época	1	462964,14*
BlocoxÉpoca	2	14843,42 <sup>ns</sup>
Trat	11	128980,86*
TratxÉpoca	11	189513,83*
Resíduo	44	27893,92
C.V. (%)		27,7

\* significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup> não significativo.

TABELA 3 A. Resumo da análise de variância para os teores de carbono nas frações de oxidação F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub>, F<sub>4</sub> e carbono de baixa biodisponibilidade (CBB) de Latossolo sob diferentes sistemas de uso e manejo, no Sul de Minas Gerais.

F.V.	G.L.	Quadrado Médio				
		F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	CBB
-----0-0,05 m-----						
Bloco	2	0,14 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	9,74 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	4,28 <sup>ns</sup>
Trat	5	38,22*	23,71*	38,89*	20,51 <sup>ns</sup>	293,22*
Resíduo	10	0,86	1,67	4,02	8,67	6,51
C.V. (%)		9,0	13,9	23,7	24,4	10,7
-----0-0,1 m-----						
Bloco	2	1,82 <sup>ns</sup>	2,54 <sup>ns</sup>	1,58 <sup>ns</sup>	2,94 <sup>ns</sup>	9,79 <sup>ns</sup>
Trat	5	63,05*	11,45*	39,48*	10,66*	113,17*
Resíduo	10	1,00	2,01	2,91	1,33	7,93
C.V. (%)		10,5	22,3	23,5	21,8	19,7

\* significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup> não significativo

TABELA 4 A. Resumo da análise de variância para a proporção do carbono na fração F<sub>1</sub> (CF<sub>1</sub>/C), índice de compartimento de carbono (ICC), grau de biodisponibilidade do carbono (GBC), índice de biodisponibilidade do carbono (IBC) e índice de carbono orgânico (ICO) de Latossolo sob diferentes sistemas de uso e manejo, no Sul de Minas Gerais.

F.V.	G.L.	CF <sub>1</sub> /C	ICC	Quadrado Médio			ICO
				GBC	IBC		
----- 0-0,05 m -----							
Bloco	2	1,53 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	49,72 <sup>ns</sup>	
Trat	5	69,71*	0,90*	0,03*	0,25 <sup>ns</sup>	4153,64*	
Resíduo	10	18,44	0,29	0,01	0,11	197,98	
C.V. (%)		13,8	17,2	22,2	22,9	14,8	
----- 0-0,1 m -----							
Bloco	2	48,33 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	184,75 <sup>ns</sup>	
Trat	5	608,41*	0,77*	0,54*	2,37*	9289,43*	
Resíduo	10	35,76	0,06	0,03	0,13	219,48	
C.V. (%)		15,2	25,2	23,7	23,7	17,3	

\* significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup> não significativo

TABELA 5 A. Resumo da análise de variância para os teores de carbono nas frações de oxidação F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub>, F<sub>4</sub> e carbono de baixa biodisponibilidade (CBB) de Latossolo cultivado com cafeeiros, no Sul de Minas Gerais.

F.V.	G.L.	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	Quadrado Médio			CBB
				F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>		
----- 0-0,05 m -----							
Bloco	2	14,95*	15,50 <sup>ns</sup>	9,71 <sup>ns</sup>	2,88 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	
Trat	11	17,69*	9,36 <sup>ns</sup>	5,53 <sup>ns</sup>	8,93*	44,78*	
Local	1	372,64*	94,76*	170,81*	56,71*	417,99*	
Trat x Local	11	9,24*	2,10 <sup>ns</sup>	10,80*	5,05 <sup>ns</sup>	22,83*	
Resíduo	46	3,06	5,63	3,26	2,69	5,32	
C.V. (%)		13,1	23,3	25,5	29,6	12,5	
----- 0-0,1 m -----							
Bloco	2	0,14 <sup>ns</sup>	1,71 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	4,24 <sup>ns</sup>	
Trat	11	7,65*	11,34*	7,01*	6,91*	21,95*	
Local	1	40,50*	8,82*	18,0*	0,02 <sup>ns</sup>	92,82*	
Trat x Local	11	6,22*	10,41*	4,33 <sup>ns</sup>	2,79 <sup>ns</sup>	6,75*	
Resíduo	46	0,96	1,17	2,58	1,85	3,27	
C.V. (%)		10,1	20,2	28,5	27,2	15,2	

\* significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup> não significativo

TABELA 6 A. Resumo da análise de variância para proporção do carbono na fração F<sub>1</sub> (CF<sub>1</sub>/C), índice de compartimento de carbono (ICC), grau de biodisponibilidade do carbono (GBC), índice de biodisponibilidade do carbono (IBC) e índice de carbono orgânico (ICO) de Latossolo cultivado com cafeeiros, no Sul de Minas Gerais.

F.V.	G.L.	CF <sub>1</sub> /C	Quadrado Médio			
			ICC	GBC	IBC	ICO
-----0-0,05 m-----						
Bloco	2	27,91 <sup>ns</sup>	0,005 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	2417,56*
Trat	11	171,92*	0,01*	0,16*	1,08*	5022,36*
Local	1	28,64 <sup>ns</sup>	0,76*	0,03 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	41583,43*
Trat x Local	11	61,20*	0,01*	0,06*	0,48*	3308,29*
Resíduo	46	19,82	0,003	0,02	0,15	687,04
C.V. (%)		10,7	7,4	18,7	19,8	18,7
-----0-0,1 m-----						
Bloco	2	42,68 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	0,88 <sup>ns</sup>	0,47*	564,06 <sup>ns</sup>
Trat	11	205,87*	0,01*	0,23*	0,82*	2850,80*
Local	1	15,77 <sup>ns</sup>	0,21*	0,01 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	4608,48*
Trat x Local	11	94,17*	0,006*	0,15*	0,46*	2613,20*
Resíduo	46	26,63	0,003	0,49	0,12	523,59
C.V. (%)		11,4	8,7	25,3	19,6	20,3

\* significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup> não significativo

TABELA 7 A. Resumo da análise de variância para os resultados de estoque de carbono (EstC), estoque de nitrogênio (EstN), carbono associado à fração leve (C<sub>FL</sub>), carbono associado à fração areia (C-areia) e carbono associado à fração silte (C-silte) de Latossolo cultivado com cafeeiros, no Sul de Minas Gerais.

F.V.	G.L.	EstC	EstN	Quadrado Médio		
				C <sub>FL</sub>	C-areia	C-silte
----- 0-0,05 m -----						
Bloco	2	-	-	0,30 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	7,62 <sup>ns</sup>
Trat	11	-	-	2,19*	1,47*	34,55*
Local	1	-	-	98,81*	46,19*	224,37*
Trat x Local	11	-	-	3,80*	0,92*	62,85*
Resíduo	46	-	-	0,21	0,17	8,86
C.V. (%)		-	-	19,89	15,2	21,2
----- 0-0,1 m -----						
Bloco	2	2,85 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>
Trat	11	44,20*	1,24*	1,95*	0,81*	11,12*
Local	1	284,57*	7,93*	11,44*	3,24*	3,54 <sup>ns</sup>
Trat x Local	11	9,21*	0,37 <sup>ns</sup>	1,68*	0,30*	5,83*
Resíduo	46	4,08	0,22	0,10	0,06	1,15
C.V. (%)		8,8	19,5	28,3	19,7	21,7
----- 0,1-0,2 m -----						
Bloco	2	19,05 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	-	-	-
Trat	11	45,20*	0,74*	-	-	-
Local	1	64,26 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	-	-	-
Trat x Local	11	18,31 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	-	-	-
Resíduo	46	18,73	0,31	-	-	-
C.V. (%)		17,8	23,2	-	-	-
----- 0,2-0,4 m -----						
Bloco	2	41,17*	1,19*	-	-	-
Trat	11	34,46*	0,58*	-	-	-
Local	1	308,35*	2,47*	-	-	-
Trat x Local	11	39,01*	0,30 <sup>ns</sup>	-	-	-
Resíduo	46	12,15	0,19	-	-	-
C.V. (%)		8,5	10,4	-	-	-
----- 0-0,4 m -----						
Bloco	2	111,16 <sup>ns</sup>	3,41*	-	-	-
Trat	11	117,32*	1,47*	-	-	-
Local	1	1797,50*	22,52*	-	-	-
Trat x Local	11	94,40*	0,39 <sup>ns</sup>	-	-	-
Resíduo	46	39,19	0,44	-	-	-
C.V. (%)		7,10	7,3	-	-	-

\* significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup> não significativo



TABELA 8 A. Resumo da análise de variância para os teores de carbono associado à fração argila (C-argila) de Latossolo cultivado com cafeeiros, no Sul de Minas Gerais.

F.V.	G.L.	Quadrado Médio	
		C-argila	
Bloco	2	2,77 <sup>ns</sup>	
Trat	11	27,89*	
Local	1	270,82*	
Trat x Local	11	10,02 <sup>ns</sup>	
Resíduo	46	6,07	
C.V. (%)		19,9	

\* significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup> não significativo.

TABELA 9 A. Resumo da análise de variância para os resultados de estoque de carbono (EstC), estoque de nitrogênio (EstN), teor de carbono (C), teor de carbono da biomassa microbiana (Cmic) e relação entre carbono da biomassa microbiana e carbono (Cmic/C) de Latossolo sob diferentes sistemas de uso e manejo, no Sul de Minas Gerais.

F.V.	G.L.	Quadrado Médio				
		EstC	EstN	C	Cmic	Cmic/C
----- 0-0,05 m -----						
Bloco	2	-	-	5,89 <sup>ns</sup>	3869,67 <sup>ns</sup>	0,008 <sup>ns</sup>
Trat	5	-	-	506,65*	189417,91*	0,26 <sup>ns</sup>
Resíduo	10	-	-	7,56	18577,66	0,10
C.V. (%)		-	-	8,1	20,1	17,2
----- 0-0,1 m -----						
Bloco	2	3,91 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	4,83 <sup>ns</sup>	-	-
Trat	5	132,88*	0,23 <sup>ns</sup>	248,62*	-	-
Resíduo	10	6,89	0,12	5,49	-	-
C.V. (%)		10,6	13,9	9,8	-	-
----- 0,1-0,2 m -----						
Bloco	2	36,59 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	29,94 <sup>ns</sup>	-	-
Trat	5	127,46*	0,17 <sup>ns</sup>	96,40*	-	-
Resíduo	10	197,44	0,07	19,26	-	-
C.V. (%)		18,5	14,5	17,7	-	-
----- 0,2-0,4 m -----						
Bloco	2	25,01 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	5,55 <sup>ns</sup>	-	-
Trat	5	133,52*	0,39*	49,02*	-	-
Resíduo	10	11,01	0,11	3,66	-	-
C.V. (%)		8,5	8,6	10,3	-	-
----- 0-0,4 m -----						
Bloco	2	57,69 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	-	-	-
Trat	5	612,76*	0,68*	-	-	-
Resíduo	10	24,57	0,13	-	-	-
C.V. (%)		5,6	4,4	-	-	-

\* significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup> não significativo

TABELA 10 A. Resumo da análise de variância para os resultados das relações entre carbono da biomassa microbiana e carbono associado à fração leve ( $C_{mic}/C_{FL}$ ) e carbono e nitrogênio total (C/N) de Latossolo sob diferentes sistemas de uso e manejo, no Sul de Minas Gerais.

F.V.	G.L.	Quadrado Médio	
		$C_{mic}/C_{FL}$	C/N
----- 0-0,05 m -----			
Bloco	2	0,04 <sup>ns</sup>	4,03 <sup>ns</sup>
Trat	5	0,32*	22,36*
Resíduo	10	0,01	2,28
C.V. (%)		24,9	12,2
----- 0-0,1 m -----			
Bloco	2	-	1,33 <sup>ns</sup>
Trat	5	-	11,09*
Resíduo	10	-	0,78
C.V. (%)		-	8,9

\* significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F; <sup>ns</sup> não significativo