

**DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DE CARBONO
ORGÂNICO EM LATOSSOLO SOB
DIFERENTES USOS**

EUZELINA DOS SANTOS BORGES INÁCIO

2009

EUZELINA DOS SANTOS BORGES INÁCIO

**DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DE CARBONO ORGÂNICO EM
LATOSSOLO SOB DIFERENTES USOS**

Tese apresenta à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para obtenção do título de “Doutor”.

Orientador
Prof. Carlos Alberto Silva

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2009

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

Inácio, Euzelina dos Santos Borges.

Distribuição vertical de carbono orgânico em latossolo sob diferentes usos / Euzelina dos Santos Borges Inácio. – Lavras : UFLA, 2009.

86 p. : il.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

Orientador: Carlos Alberto Silva.

Bibliografia.

1. Estoque de carbono. 2. Manejo do solo. 3. Perfil do solo. 4. Matéria orgânica. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.41

EUZELINA DOS SANTOS BORGES INÁCIO

**DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DE CARBONO ORGÂNICO EM
LATOSSOLO SOB DIFERENTES USOS**

Tese apresenta a Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA em 07 de Abril de 2009

Prof. Ivo Ribeiro da Silva	UFV/DCS
Prof. Mario César Guerreiro	UFLA/DQI
Prof. Otacílio José Passos Rangel	IFES/DCS
Prof. Yuri Lopes Zinn	UFLA/DCS

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

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

Aos meus pais Edite dos Santos Inácio (*in memoriam*) e Manoel Domingos
Borges Inácio, por tudo e por tanto.

DEDICO

“Muitos pensam que pesquisa científica é uma atividade puramente racional, na qual o objetivismo lógico é o único mecanismo capaz de gerar conhecimento. Como resultado, os cientistas são vistos como insensíveis e limitados, um grupo de pessoas que corrompe a beleza da Natureza ao analisá-la matematicamente. Essa generalização, como a maioria das generalizações, me parece profundamente injusta, já que ela não incorpora a motivação mais importante do cientista, o seu fascínio pela Natureza e seus mistérios. Que outro motivo justificaria a dedicação de toda uma vida ao estudo dos fenômenos naturais, senão uma profunda veneração pela sua beleza? A ciência vai muito além da sua mera prática. Por trás das fórmulas complicadas, das tabelas de dados experimentais e da linguagem técnica, encontra-se uma pessoa tentando transcender as barreiras imediatas da vida diária, guiada por um insaciável desejo de adquirir um nível mais profundo de conhecimento e de realização própria. Sob esse prisma, o processo criativo científico não é assim tão diferente do processo criativo nas artes, isto é, um veículo de autodescoberta que se manifesta ao tentarmos capturar a nossa essência e lugar no Universo”.

MARCELO GLEISER (*in*: A dança do Universo)

“Sou pequeno, mas fito os Andes”. CASTRO ALVES

BIOGRAFIA

EUZELINA DOS SANTOS BORGES INÁCIO, filha de Edite dos Santos Inácio e Manoel Domingos Borges Inácio, nasceu no dia 01 de Fevereiro do verão de 1979 em Camaçari-BA. Em Agosto de 1997, ingressou no curso de Engenharia Agrônômica pela Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia, que se tornou berço de sua vida acadêmica e palco de grandes alegrias em sua vida. Nesta instituição, participou de programas de pesquisa, sendo bolsista do Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura da EMBRAPA, por dois anos e, em seguida, do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do CNPq. Ao longo do curso participou de diversos outros programas de pesquisa e extensão, entre eles, em assentamentos do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA, no estado da Bahia e em áreas de colonização na Amazônia Brasileira. Em Maio de 2003 recebeu o título de Engenheiro Agrônomo, ingressando no mesmo ano no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, onde, em 18 de Fevereiro de 2005, tornou-se Mestre em Ciência do Solo. Em seguida, exerceu atividade como Engenheira Agrônoma em mineração do semi-árido baiano até Dezembro de 2005. Mas, movida pelo fascínio a Natureza e seus mistérios, decidiu voltar a academia no ano seguinte iniciando o curso de doutorado nesta instituição onde desenvolveu a presente pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Ao programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade do curso e por fornecer infraestrutura necessária para o desenvolvimento da pesquisa.

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

Ao Professor Carlos Alberto Silva, meu orientador, pelo exemplo de rigor e seriedade com o qual conduz seus trabalhos, competência na arte de ensinar, e por sua peculiar suavidade no trato com as pessoas.

Otacílio José Passos Rangel, pela atenção em todos os momentos de elaboração dessa pesquisa e pelas valiosas críticas e sugestões apresentadas para o enriquecimento deste trabalho.

Aos professores da UFLA: Antonio Ricardo Evangelista (DZO), José Roberto Soares Scolforo (DCF) e Soraya Alvarenga Botelho (DCF), por permitirem a coleta de amostras de solo em áreas cultivadas e em florestas da Universidade Federal de Lavras.

A Daniela, pela competência, atenção e gentileza de sempre.

A Roberto, João Gualberto, Leninha e Eliane funcionários atenciosos e prestativos que estavam sempre disponíveis a ajudar.

A Hilton, muito obrigada! Por todo esforço, competência e pela boa vontade de sempre para ajudar com um sorriso no rosto.

A Thalita Abbruzzine pela ajuda nas análises e amizade.

Aos colegas do Departamento de Estatística Gerson, João Marlos e Verônica Ayumi que colaboraram com análises estatísticas sempre tão solícitos e dispostos a ajudar.

Aos queridos Sandro Hurtado e Tiago Bernatti, que foram fundamentais no início desse trabalho, colaborando com a escolha das áreas experimentais e contribuindo com seus conhecimentos científicos e com uma grande amizade.

Agradeço aos tantos queridos colegas e amigos construídos ao longo do curso, que estiveram sempre harmoniosamente presentes, seja nos grupos de estudo, na companhia no laboratório, nos lanches da cantina, nas caronas ou nos almoços dos domingos: Adriana Monteiro, Lucélia Cabral, Anna Hoffmann, Gláucia, Eduardo Severiano, Ana Luiza, Mauricio Vicente, Regimeire, Fábio Satoshi, Geila Carvalho, Krisle, Amanda Neves, Cândido, Michelle, Elen Alvarenga, Josinaldo Lopes e José Zilton.

A Gabriela Pinheiro, querida amizade construída. Obrigada pela ótima companhia no laboratório e pela amizade.

Enio Costa, grande amigo novo, parceiro novo, pela amizade construída e ótima convivência.

Aos amigos da comunidade alegre comunidade Baiana em Lavras: Jucilayne Fernandes, Cleilton Vasconcelos, Elma, Tânia e Patrícia.

As queridas Waldete Japiassu e Vitória Oliveira pelo carinho, amizade e por tantas alegrias no convívio.

Aos grandes e queridos amigos de longe e de sempre, que se fizeram presentes através dos incentivos constantes: Arlete Côrtes, Mercês Bento, Rita de Cássia e Ritaumária Pereira.

A Bruno Dias e Évio Eduardo, amigos-irmãos, pela ótima convivência e amizade bonita, verdadeira. Agradeço aos dois pela companhia, solidariedade, por tantas conversas de incentivo e exemplo de determinação, além de dividir momentos de dificuldades, mas também de grandes alegrias.

A Jair Wyzykowski, pela ajuda na diagramação da tese, por toda a sua doçura e por tanto amor.

A minha família, em especial meus irmãos: Daniel, Elzirênia, Rangel, Elzineia, Hélia e Eduardo, ao meu pai Manoel Domingos Inácio e a minha querida mãe Edite dos Santos Inácio que se faz presente sempre a iluminar o meu caminho.

A Deus, por me mostrar o caminho. As vezes, ele é não o mais fácil, mas é exatamente o que precisamos naquele momento.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO GERAL	i
GENERAL ABSTRACT	iii
CAPÍTULO 1	1
1 Introdução geral.....	1
2 Referências bibliográficas	8
CAPÍTULO 2	13
Estoque e distribuição vertical de carbono e nitrogênio em latossolo sob diferentes sistemas de uso	13
1 Resumo	13
2 Abstract	14
3 Introdução.....	15
4 Material e métodos	18
4.1 Característica da área de estudo	18
4.2 Amostragem de solo	20
4.3 Carbono orgânico do solo.....	20
4.4 Nitrogênio total do solo.....	22
4.5 Análise estatística	22
5 Resultados e discussão	23
5.1 Padrões de distribuição de teores de carbono e nitrogênio no perfil do solo	23
5.2 Estoques de carbono.....	26
5.3 Estoques de Nitrogênio	33
6 Conclusões.....	33
7 Referências bibliográficas	34
CAPÍTULO 3	40
Influência de sistemas de uso de latossolo sobre os teores e distribuição vertical de carbono lábil	40
1 Resumo	40
2 Abstract	41
3 Introdução.....	42
4 Material e métodos	46
4.1 Carbono Lábil.....	46
4.2 Análise Estatística	47
5 Resultados e discussão	48
6 Conclusões.....	58

7 Referências bibliográficas	59
CAPÍTULO 4	63
Carbono solúvel em água em perfil de latossolo sob diferentes sistemas de uso.....	63
1 Resumo	63
2 Abstract	65
3 Introdução.....	66
4 Material e métodos	69
4.1 Carbono solúvel em água	69
4.2 Análise Estatística	70
5 Resultados e discussão	71
6 Conclusões.....	79
7 Referências bibliográficas	79
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	84

RESUMO GERAL

INÁCIO, Euzelina dos Santos Borges. **Distribuição vertical de carbono orgânico em Latossolo sob diferentes usos.** 86p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG¹.

Os ecossistemas terrestres desempenham um importante papel no ciclo global de carbono, sendo o solo um de seus principais reservatórios. Dessa maneira, o conhecimento sobre a matéria orgânica do solo (MOS) e suas frações, bem como seu padrão de distribuição no perfil do solo, em diferentes sistemas de uso da terra, contribuem para melhorar a avaliação de sua dinâmica e para a maior precisão no inventário do carbono orgânico (CO) armazenado no subsolo, auxiliando, assim, na tomada de decisão quanto ao melhor uso e manejo do solo. Este estudo teve como objetivo quantificar os teores e estoques de carbono e suas frações e de nitrogênio total (NT) armazenados no perfil de um Latossolo Vermelho distroférico típico, até 1 m de profundidade, em áreas sob diferentes sistemas de uso do solo, em Lavras-MG. Em uma faixa homogênea de solo, foram selecionadas quatro subáreas de acordo com o sistema de uso do solo, as quais foram classificadas como: mata nativa (MTN), eucalipto (EUC), pinus (PIN) e pastagem (PAS). Foram retiradas amostras nas profundidades de solo de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm, para avaliação dos teores e estoques de CO e NT, e dos teores de carbono lábil (CL) e carbono solúvel água (CSA). Foram correlacionados os teores de CO, CSA, CL, fração leve (FL) e de C-biomassa microbiana (BM). Os impactos do sistema de uso do solo sobre os estoques de carbono (CO) e de nitrogênio total (NT) variaram de acordo com cada profundidade de solo avaliada. Para a maioria das camadas de solo analisadas, o maior estoque de CO foi observado na área de mata, o que demonstra que, sob sistema natural, o conteúdo de CO é superior aos verificados nos sistemas cultivados. Além disso, comprovou-se que, apesar da redução dos teores de CO nas camadas mais profundas do solo, as quantidades armazenadas de C no subsolo são significativas, uma vez que, considerando todos os sistemas de uso avaliados nesse estudo, o CO armazenado de 40-100 cm representa de 37 a 53% do CO do perfil. Verificou-se que o sistema de uso do solo exerceu influência sobre o compartimento lábil do carbono orgânico, tanto em camadas superficiais como no subsolo. Os teores de CL são, em geral, maiores na área de mata, em todas as camadas de solo estudadas, com exceção da camada 10-20 cm, onde há mais frações lábeis de carbono na área sob cultivo de eucalipto. Os teores de carbono lábil são maiores em superfície, diminuindo com o aumento

¹ Comitê orientador: Carlos Alberto Silva – UFLA (Orientador), Otacilio José Passos Rangel – IFES/ES (Co-orientador)

da profundidade no perfil do Latossolo. Verifica-se também que o CL é mais sensível às alterações provocadas pelo uso do solo do que o CO, apresentando, assim, maior potencial que esse, e que o carbono não lábil, em avaliar o impacto de diferentes sistemas de uso da terra sobre as transformações associadas à MOS. Os índices de manejo de carbono, de modo geral, apontaram impacto negativo da conversão da MTN sobre os teores de matéria orgânica e, por conseguinte, sobre a qualidade do solo. Os teores de carbono solúvel em água foram influenciados pelos sistemas de uso do solo, obedecendo a seguinte ordem, para a camada superficial (0-10 cm): $MTN > PAS > EUC > PIN$. Os sistemas de uso alteraram os teores de CSA significativamente nas camadas estudadas, até 40 cm de profundidade, entretanto, para as camadas a partir dessa profundidade, não houve diferenças entre as áreas avaliadas. Os resultados desse estudo comprovaram que ocorre um decréscimo nos teores de CSA à medida que se aumenta a profundidade do solo. Pode-se também verificar que existe uma correlação positiva entre o CSA e o CO, CL, BM e FL, suportando a hipótese de que o CSA está relacionado com os teores de CO e, além disso, é componente e subproduto das reações no solo ligadas à decomposição de frações lábeis de carbono.

GENERAL ABSTRACT

INÁCIO, Euzelina dos Santos Borges. **Vertical distribution of organic carbon in an Hapludox under different use.** 2009. 86p. Thesis (Doctorate in Soil Science) – Federal University of Lavras, Lavras, MG².

Terrestrial ecosystems play an important role in the global carbon cycle, and the soil is one of the largest C reservoirs in the planet. Thus, knowledge of the vertical distribution pattern in the soil profile of organic matter and its fractions, in different land use systems, contribute to increase the knowledge about its dynamics; the precision in accounting the organic carbon (OC) stored in the subsoil is also increased. Decisions on the best soil use and management system to be adopted may be sounder and easier when OC and its fractions are well known. This study aimed to quantify the levels and stocks of CO and its fractions, and total nitrogen (TN), stored in the profile (0-100 cm) of a Hapludox (according to Soil Taxonomy), in areas under different land use systems, in Lavras-Minas Gerais State, Brazil. In a homogeneous soil strip, four areas were selected according to the land use system, which were classified as forest (NF), eucalyptus (EUC), pine (PIN) and pasture (PAS). Samples were taken at the soil depths of 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm, in order to assess levels of OC, and TN and the contents of labile carbon (LC) and water soluble carbon (WSC). Significant correlations were observed for the levels of OC, WSC, LC, C-light fraction (LF) and microbial biomass (MB). The impacts of the land use system on the stock of carbon (OC) and total nitrogen (TN) varied according to the soil depth evaluated, but to most soil layers, the highest OC stock were observed for the forest area. The results of this study confirm the hypothesis that, in an undisturbed systems, the carbon content is higher than in the cultivated system counterpart. Despite the decreasing levels of OC in the deeper soil layers, the C stored below 0-40 cm soil layer represents 37 to 53% of TOC in the whole soil profile (0-100 cm). It was also found that the land use system influences the labile organic carbon levels in both surface and subsoil layers. The LC levels are higher in the NF in all soil layers, except for the 10-20 cm, where there is more LC in the eucalyptus area. CL levels decrease as soil depth increases. The labile compartment was more sensitive to land use change than OC and thus has a good potential to assess the impact of different land use systems on the organic matter dynamics and pools. In general, all organic C indicators showed negative impact of NF conversion to other land use and on the levels of organic matter and soil quality. The levels of WSC were influenced by

² Advisor committee: Carlos Alberto Silva – UFLA (Advisor), Otacilio José Passos Rangel – IFES/ES (Co-advisor)

the land use system, in the following order in the 0-10 cm layer: MTN> PAS> EUC> PIN. In the 0-40 cm soil depth, the land use systems changed significantly the WSC levels; however, below 40 cm, land use had no effect on WSC. The results also showed a decrease in WSC levels as soil depth increases. Positive correlations between WSC and OC, LC, MB and LF were observed, supporting the hypothesis that WSC is directly related to the OC levels and it is probably also part and residue of the soil reactions involved in the decomposition of labile carbon fractions.

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO GERAL

O aumento das concentrações de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera causa o chamado efeito estufa antrópico, o qual, entre outras conseqüências, implica no aumento da temperatura da terra e na intensificação do aquecimento global. Globalmente, a agricultura é responsável por 23% das emissões antropogênicas de GEE, sendo essas oriundas de práticas agrícolas (15%) e das mudanças do uso da terra (8%), principalmente do desmatamento e queimada posterior de resíduos vegetais. Entretanto, o cenário brasileiro é bastante diferente, dado que, aproximadamente, 75% do CO₂ e mais de 90% da emissão anual de CH₄ e N₂O são produzidos em áreas agrícolas. (Costa et al., 2008). Atualmente, grande esforço tem sido feito no sentido de elaborar formas e meios de cultivo que possam contribuir para a mitigação dessas emissões.

Neste sentido, é consenso que os ecossistemas terrestres desempenham um importante papel no ciclo global de carbono, sendo o solo o seu maior reservatório (Silva & Mendonça, 2007). De acordo com Rattan (2004), o potencial de seqüestro de carbono nos solos de todo o mundo seria de $0,9 \pm 0,3$ Gt C ano⁻¹, ou entre 30 e 60 Gt nos próximos 50 anos. O potencial de seqüestro de carbono de um solo depende entre outros fatores, do seu estoque de carbono, da cobertura vegetal, das práticas de manejo adotadas, do aporte de resíduos e da classe de solo estudada (Sleutel et al., 2006). Um melhor entendimento do papel desses condicionantes tem motivado estudos em todos os ecossistemas, os quais, entre outros objetivos, procuram identificar usos e/ou desenvolver práticas de manejo que aumentem o estoque de carbono orgânico do solo (CO) e reduzam a emissão de C-CO₂ do solo para a atmosfera.

Espera-se que, sob vegetação natural, o conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS) encontre-se em equilíbrio dinâmico. Nesta situação, a preservação da matéria orgânica tende a ser máxima, pois o revolvimento do solo é mínimo, sendo o aporte de CO nas florestas mais elevado do que em áreas cultivadas (Nobre & Gash, 1997). Os solos florestais, assim, favorecem o armazenamento de CO, em razão do seu incremento na produção de biomassa, que é adicionada ao solo na forma de raízes e de serrapilheira. A vegetação florestal proporciona maior agregação do solo e, ao mesmo tempo, transfere CO aos horizontes mais profundos do solo (Blanco-Canqui & Lal, 2004).

Após a conversão de floresta nativa em sistemas agrícolas, ocorre um declínio nos estoques de matéria orgânica (Houghton et al., 1991). Em estudo conduzido em floresta tropical por Davidson & Ackerman (1993), foram observadas reduções de 40 a 50% nos estoques de CO do solo após o desmatamento, em menos de cinco anos de retirada da vegetação. Essa redução é acentuada quando são utilizados métodos de preparo com intenso revolvimento do solo e sistemas de cultura com baixo aporte de resíduos vegetais (Bayer & Mielniczuk, 2008). Essa redução pode ser atribuída ao aumento da erosão do solo, aos processos mais acelerados de mineralização da MOS e ao menor aporte de materiais orgânicos em sistemas manejados, comparativamente às florestas nativas (Leite et al., 2003). Segundo Salati (1994), 25% do CO existente na camada de um metro de solo sob floresta tropical são perdidos para a atmosfera em caso de cultivo do solo, enquanto 12% são perdidos quando a vegetação natural é retirada e a área é convertida em pastagens.

No Brasil, diversas pesquisas têm sido desenvolvidas como o objetivo de avaliar as quantidades de carbono armazenadas no solo e as alterações devido à conversão de vegetação natural para culturas agrícolas. Pode-se citar a pesquisa desenvolvida por Rangel & Silva (2007), em um Latossolo Vermelho do estado de Minas Gerais, onde os estoques de CO em diferentes sistemas de

uso do solo, na camada de 0-10 cm, foram: 34,0 (mata nativa), 29,5 (eucalipto) 27,3 (pastagem) e 20,4 t ha⁻¹ (pinus). Portugal et al. (2008), estudando um Argissolo Vermelho-Amarelo, também em Minas Gerais, encontrou valores de 20,7 t ha⁻¹ para mata, 20,7 no sistema seringal, 21,1 sob plantio de citrus e o menor valor para a pastagem, cerca de 19,5 t ha⁻¹.

Para melhor entendimento da dinâmica dos diversos compartimentos da MOS, além de quantificar os estoques do carbono, os estudos devem focar também a avaliação dos compartimentos lábeis e estáveis da MOS (Portugal et al., 2008). As formas de carbono lábil (CL) podem incluir desde a matéria macrorrgânica, CO associado aos organismos do solo, substâncias não-humificadas, em compostos orgânicos não estabilizados e o carbono solúvel em água (CSA) (Silva & Mendonça, 2007). O CL é considerado um indicador da qualidade do CO (Silveira et al., 2008), além disso, espera-se que possa responder mais rapidamente às mudanças ambientais (Khanna et al., 2001), tornando-se uma alternativa interessante para avaliar ações antrópicas sobre agroecossistemas, devido à alta sensibilidade desse compartimento às mudanças causadas pelo uso e manejo do solo (Rosa et al., 2003; Rangel & Silva, 2007).

Pressupõe-se que culturas agrícolas e/ou, sistemas de manejo que favoreçam adições freqüentes de material orgânico ao solo tendam a apresentar maior proporção de CO na fração lábil, em detrimento das frações mais resistentes (Blair et al., 1995; Chan et al., 2001). De acordo com Zech et al. (1997), os constituintes lábeis diminuem rapidamente após a substituição da vegetação natural pelas espécies cultivadas, e novos níveis de equilíbrio são atingidos com o enriquecimento relativo das frações de CO menos biodisponíveis.

Diversos trabalhos têm proposto avaliar as quantidades de CL no solo, entretanto, os valores encontrados têm variado consideravelmente, tanto em função da metodologia utilizada, como devido ao sistema de uso do solo

estudado. Nos estudos conduzidos por Freitas et al. (2004), com a metodologia de Chan et al. (2001), que se baseia na separação de quatro frações com graus decrescentes de oxidação por ácido sulfúrico, encontraram valores de CL correspondentes a 28% do CO do solo. Enquanto isso, Andrade et al. (2005), utilizando a mesma metodologia, verificaram que 50% do CO encontrava-se na forma de CL em solos cultivados com eucalipto, e Rangel et al. (2008), avaliando o teor de CL na entrelinha do cafeeiro, encontraram um valor médio de 43% do CO na forma de CL. No estudo de Portugal et al. (2008), utilizando a metodologia de Blair et al. (1995), que se baseia na oxidação do CO por uma solução de KMnO_4 $0,333 \text{ mol L}^{-1}$, em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico latossólico, encontraram proporções de carbono lábil de 9,8, 7,0 e 7,0 e 5,9% para mata, seringal, citros e pastagem, respectivamente. No estudo de Silveira et al. (2008), utilizando o procedimento da hidrólise ácida, o CL representou de 18 a 32% do CO. Esses resultados evidenciam a variação dos resultados obtidos em diferentes classes de solo, sistemas de uso e por diferentes métodos analíticos.

Entre as formas de CL, destaca-se o carbono solúvel em água (CSA), sendo esse o compartimento lábil da MOS que mais é afetado pela retirada de vegetação nativa (Tiessen et al., 2002). O aumento do CSA está diretamente ligado ao incremento no teor total de CO (Ciotta et al., 2004), de modo que se espera que o CSA também seja influenciado pelas alterações no sistema de uso do solo e, sendo assim, que os sistemas que depositam maiores quantidades de material orgânico no solo também possuam maiores teores de CSA. Portugal et al. (2008), estudando um Argissolo Vermelho-Amarelo, encontraram teores de CSA variando de 202,5 (mata nativa) a 74,3 mg kg^{-1} (pastagem), o que corresponde a 1 e 0,6%, respectivamente, do CO e denota a variação desse compartimento de CO em função da cobertura vegetal do solo.

Os estudos de estoques de CO e seus compartimentos no solo têm, geralmente, focado apenas na camada superficial, ignorando as camadas mais profundas, apesar de que, ali, estão tipicamente estocados 59% do CO (Jobbagy & Jackson, 2000). Globalmente, estimativas mais recentes indicam que cerca de 1.500 Pg (Pg = 10^{15} g) de CO estejam armazenados na MOS até 1 m de profundidade (Janzen, 2006). A distribuição vertical do CO aponta para a importância do subsolo como reservatório desse elemento químico (Schöning et al., 2006). Além disso, o armazenamento de CO em profundidade no perfil do solo poderia proporcionar benefícios em longo prazo, devido a menor susceptibilidade do C às perdas por decomposição e erosão e por ser esperados futuros distúrbios ou condições mais favoráveis à decomposição da MO na superfície do solo (Franzluebbers & Stuedemann, 2009). Esse fato exerce considerável impacto no armazenamento de CO no solo, motivo que tem direcionado diversos estudos visando quantificar a distribuição do CO ao longo do perfil e, desse modo, obter reais avanços no conhecimento dos estoques de carbono em solo. Dessa maneira, existe a necessidade de se conhecer melhor os padrões de distribuição de C no perfil do solo, uma vez que isso contribui para melhorar as estimativas da contabilização do CO armazenado no subsolo, cujas quantidades são significativas (Lorenz & Lal, 2005).

De acordo com estudos que vem sendo desenvolvidos recentemente, o padrão de distribuição do CO e das frações da MOS, como o CL e o CSA, podem variar de acordo com o tipo de solo, sistema de uso e manejo, mas, em geral, ocorre um decréscimo nos teores de C em maiores profundidade de solo. Corazza et al. (1999), analisando a distribuição do CO em perfis do solo, verificaram que o conteúdo de CO decresceu progressivamente com a profundidade do solo, sendo o acúmulo maior notado na camada superficial. Além disso, em sistemas sem perturbação antrópica do solo, há maior diferença no teor de CO em profundidade, enquanto que nos sistemas com cultivos anuais,

os teores de CO são mais uniformes, até a profundidade de atuação do equipamento de preparo do solo. Isto mostra que as alterações mais importantes na dinâmica do CO, no que se refere às adições e perdas, ocorrem nas camadas superficiais. Neves et al. (2004), comparando a distribuição de CO no perfil em solo sob Cerrado nativo, sistema agrossilvipastoril, pastagem e eucalipto, verificaram uma tendência geral de diminuição nos teores de carbono totais com o aumento da profundidade, sendo as quantidades maiores verificadas na superfície (0-5 cm), o que se explica pelo fato da camada superficial do solo ser a zona onde a deposição de materiais orgânicos ocorre com maior intensidade.

Em relação ao CL, pesquisas recentes têm demonstrado que, em solo não perturbado, esse diminui progressivamente com o aumento da profundidade (Sá & Lal, 2009). Os resultados dos estudos desenvolvidos por Andrade et al. (2005) e Rangel et al. (2008) reafirmaram a tendência de redução dos teores de CL com o aumento da profundidade do solo. Em pesquisa desenvolvida por O'Brien et al. (2003), o CSA representou menos de 1% do CO, com um padrão de distribuição em profundidade oposto para solos argilosos e arenosos. Para os solos argilosos, ocorreu um decréscimo com a profundidade, enquanto nos solos arenosos, verificou-se um incremento nos teores de CSA. Dou et al. (2007) estudaram a distribuição do CSA em solos cultivados em sistemas de rotação de cultura com sorgo/trigo/soja, trigo/soja e soja sob plantio convencional e plantio direto. Os autores verificaram que, nos sistemas manejados de modo convencional, o CSA foi maior na superfície e decresceu significativamente em até 30 cm de profundidade, mantendo-se constantes até 105 cm. Entretanto, sob plantio direto, verificou-se decréscimo do CSA até 105 cm para sorgo/trigo/soja, trigo/soja e, apenas até 30 cm, para soja. As médias entre os tratamentos variaram de 219 mg kg⁻¹ a 58 mg kg⁻¹ nas profundidades de 0-5 cm e 105 cm, respectivamente.

Países como o Brasil, que possuem grande extensão territorial e clima favorável à produção de biomassa vegetal, tem significativo potencial para atuarem como drenos biológicos de CO₂ atmosférico. Mundialmente, estima-se que o setor agrícola possa compensar aproximadamente 11% das emissões atuais de GEE, enquanto que, no Brasil, este potencial pode alcançar 20 a 30% das emissões (Bayer, 2007; United State Environmental Protection Agency - USEPA, 2008). Desse modo, embora as pesquisas relacionadas ao tema ainda sejam recentes no país, as ações devem ser intensificadas visando quantificar de forma mais eficiente a contribuição dos diferentes agroecossistemas para as emissões de GEE, bem como avaliar a real contribuição do subsolo no armazenamento de CO₂ e, conseqüentemente, o seu potencial de mitigação das emissões de C-CO₂. A redução das emissões de gases de efeito estufa no Brasil passa pela melhoria dos processos relacionados às práticas de manejo das lavouras, apesar da necessidade da contribuição complementar de todos os setores. Além disso, embora as práticas de mitigação de GEE pela agricultura sejam consideradas de curta duração, os efeitos na qualidade do solo proporcionados pelo incremento da matéria orgânica podem ter longa duração, contribuindo para a sustentabilidade agrícola (Rice & Reed, 2007).

Buscando entender como os padrões de distribuição do CO₂ no solo bem como a qualidade da MOS podem contribuir para a acurácia na quantificação dos estoques de CO₂ em solo, além de auxiliar na tomada de decisões relacionadas ao uso e à adoção de boas práticas de manejo do solo, este estudo teve como objetivos: i) quantificar os teores e estoques de carbono e de nitrogênio armazenados em no perfil do solo até 1 m de profundidade, em áreas sob influência de diferentes sistemas de uso do solo, no Sul de Minas Gerais; ii) quantificar o carbono lábil armazenado no perfil do solo; iii) avaliar a distribuição vertical dos teores de carbono solúvel em água em solo sob diferentes sistemas de uso.

Este estudo foi organizado em capítulos, que foram editados na forma de artigos científicos que serão submetidos a periódicos especializados. As áreas-objeto de estudo estão localizadas no Campus da Universidade Federal de Lavras, município de Lavras, no Sul do Estado de Minas Gerais. Foram selecionados quatro sistemas de uso da terra, de forma a avaliar o impacto desses sistemas sobre os estoques de carbono e nitrogênio e sobre os compartimentos da MOS.

2 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 biossólido e cultivado com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 803-816, set./out. 2005.

BAYER, C. Desafios do manejo da material orgânica do solo e seqüestro de C na agricultura conservacionista. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: SBCS, 2007. Disponível em: <<http://www6.ufrgs.br/cbcs/palestras/cimeliobayer.pdf>>. Acesso em: 4 jan. 2009.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos de matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 7-18.

BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 46, n. 7, p. 1450-1459, July 1995.

BLANCO-CAQUI, H.; LAL, R. Mechanisms of carbon sequestration in soil aggregates. **Critical Review in Plant Science**, Boca Raton, v. 23, n. 6, p. 481-504, Nov./Dec. 2004.

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

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C.; ALBUQUERQUE, J. A. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo Bruno em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 317-326, abr. 2004.

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

COSTA, F. S.; ZANNATA, J. A.; BAYER, C. Emissões de gases de efeito estufa em agroecossistemas e potencial de mitigação. In: SANTOS, G. A.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos de matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 545-559.

DAVIDSON, E. A.; ACKERMAN, I. L. Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 20, n. 3, p. 161-193, Sept. 1993.

DOU, F.; WRIGTH, A. L.; HONS, F. M. Depth distribution of soil organic C and N after long-term soybean cropping in Texas. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, n. 2, p. 530-536, June 2007.

FRANZLUEBBERS, J. A.; STUEDEMANN, J. A. Soil-profile organic carbon and total nitrogen during 12 years of pasture management in the Southern Piedmont USA. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 129, n. 1/3, p. 28-36, Jan. 2009.

FREITAS, A. G.; MATOS, E. S.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica e estabilidade de agregados em diferentes sistemas de adubação. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE E BIOLOGIA DO SOLO, 25., 2004, Lages. **Anais...** Lages: UDESC/SBCS, 2004. 1 CD-ROM.

HOUGHTON, R. A.; SKOLE, D. L.; LEFKOWITZ, D. S. Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985: II net release of CO₂ to the atmosphere. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 38, n. 2/4, p. 173-199, Feb. 1991.

- JANZEN, H. H. The soil carbon dilemma: shall we hoard it or use it? **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 38, n. 3, p. 419-424, Mar. 2006.
- JOBBAGY, E. G.; JACKSON, R. B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. **Ecological Applications**, Tempe, v. 10, n. 2, p. 423-436, Apr. 2000.
- KHANNA, P. K.; LUDWIG, B.; BAUHUS, J.; O'HARA, C. Assessment and significance of labile organic C pools in forest soils. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLET, R. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Assessment methods for soil carbon**. Boca Raton: Lewis, 2001. p. 167-182.
- 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, MG, v. 27, n. 5, p. 821-832, Oct. 2003.
- LORENZ, L.; LAL, R. The depth distribution of soil organic carbon in relation of land use and management and the potential of carbon sequestration in subsoil horizons. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 88, p. 35-66, Nov. 2005.
- NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; MACEDO, R. L. G.; TOKURA, A. M. Estoque de carbono em sistemas agrossilvopastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo convencional na região noroeste do estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 1038-1046, set./out. 2004.
- NOBRE, C. A.; GASH, J. Desmatamento muda clima da Amazônia. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 128, p. 33-42, 1997.
- O'BRIEN, N. D.; ATTIWILL, P. M.; WESTON, C. J. Stability of soil organic matter in *Eucalyptus regnas* forests and *pinus radiata* plantations in south eastern Australia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 185, n. 3, p. 249-261, Nov. 2003.
- PORTUGAL, A. F.; JUCKSCH, I.; SCHAEFER, C. E. G. R.; WENDLING, B. A. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 2091-2100, Oct. 2008.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1609-1623, dez. 2007.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; MELO, L. C. A.; OLIVEIRA JUNIOR, A. C. Carbono orgânico e nitrogênio total do solo e suas relações com os espaçamentos de plantio do cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 2051-2059, out. 2008.

RATTHAN, L. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, Amsterdam, v. 123, n. 1/2, p. 1-22, Nov. 2004.

RICE, C. W.; REES, D. **Soil carbon sequestration and greenhouse gas mitigation**: a role for American agriculture. Kansas: Kansas State University, 2007. 35 p. Disponível em: <21stcentury.org/ht/d/contents>. Acesso em: 4 jan. 2009.

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

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

SALATI, E. **Emissão x seqüestro de CO₂**: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994. 76 p.

SCHÖNING, I.; TOTSCHKE, K. U.; KÖGEL-KNABNER, I. Small scale spatial variability of organic carbon stocks in litter and solum of a forested Luvisol. **Geoderma**, Amsterdam, v. 136, n. 3/4, p. 631-642, Dec. 2006.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-375.

SILVEIRA, M. L.; COMERFORD, N. B.; REDDY, K. R.; COOPER, W. T.; EL-RIFAI, H. Characterization of soil organic carbon pools by acid hydrolysis. **Geoderma**, Amsterdam, v. 144, n. 1/2, p. 405-414, Mar. 2008.

SLEUTEL, S.; NEVES, S. de; HOFMAN, G. Estimates of carbon stock changes in Belgian cropland. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 19, n. 2, p. 166-171, Jan. 2006.

TIESSEN, H.; CUEVAS, E.; CHACON, P. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. **Nature**, London, v. 371, n. 27, p. 783-785, Oct. 2002.

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY.
Greenhouse gas inventory reports. Washington, DC, 2008. Disponível em: <<http://www.epa.gov/climatechange/emissions/co2.html>>. Acesso em: 4 jan. 2009.

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

CAPÍTULO II

ESTOQUE E DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DE CARBONO E NITROGÊNIO EM LATOSSOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO

1 RESUMO

O aumento das emissões de gases causadores do efeito estufa intensifica o aquecimento global e condiciona os estudos que visam a identificação de fontes e drenos de carbono nos agroecossistemas. O solo é um dos maiores reservatórios terrestres de carbono, entretanto, o potencial de armazenamento pode variar de acordo o clima, tipo de solo, de vegetação, bem como com a profundidade de amostragem de solo que é considerada. Este estudo teve por objetivo avaliar o impacto de diferentes sistemas de uso do solo (mata nativa - MTN, eucalipto - EUC, pinus - PIN, pastagem – PAS) nos estoques de carbono orgânico total (CO) e nitrogênio total (NT), até 100 cm de profundidade, em um Latossolo Vermelho distroférico típico de Lavras, Sul de Minas Gerais. A amostragem foi realizada em Julho de 2008, visando a avaliação dos teores de carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT) nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm. Para a camada de 0-10 os estoques de CO foram influenciados pelos sistemas de uso do solo e revelaram a seguinte seqüência, em ordem decrescente, de acordo com o sistema de uso: MTN - EUC - PAS - PIN. Para a camada 0-40 cm, observou-se a seqüência de CO: EUC > MTN > PIN > PAS. Considerando todos os sistemas de uso, o CO armazenado abaixo de 40 cm representa 37 a 53% do CO de 0-100 cm. De modo geral, os estoques de NT do solo variaram pouco entre os sistemas de uso. Para a profundidade de 0-10 cm, os estoques variaram de 2,08 (PIN) a 3,0 t ha⁻¹ (MTN). Os resultados mais expressivos para os estoques de N, entre os sistemas de uso, foram observados na camada 20-40 cm, onde houve diferença significativa entre todos os sistemas de uso do solo.

Palavras-chave: uso da terra, carbono orgânico do solo, perfil do solo, reflorestamento.

2 ABSTRACT

The increasing emissions of greenhouse gases causing the global warming has directed attention to the identification of sources and sink of carbon in agroecosystems. The soil is one of the largest reservoir of C in the planet, but the potential to storage may vary due to the type of vegetation and the depth of soil sampling which is considered. This study aimed to evaluate the impact of land use systems (native forest -MTN, eucalyptus - EUC, pine - PIN, pasture - PAS) on the contents and stocks of organic total carbon (OC), and total nitrogen (NT), in soil layers from 0-10 cm, in a Hapludox (according to soil taxonomy) of Lavras, Brazil. Soil samples were collected in July 2008 for the evaluation of total OC and TN, in the following soil depths: 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 and 80-100 cm. OC stocks were influenced by the land use systems, in the following order, for the surface soil layer: MTN- EUC – PAS- PIN. Meanwhile, for the soil layer of 0-40 cm, the following sequence in decreasing order was observed for soil carbon stocks: EUC> MTN> PIN> PAS. Considering all the use system, the OC stored below 40 cm is 37 to 53% of the COT quantified in the whole soil profile (0-100 cm). Generally, the soil NT stocks changed little between the use systems. For the depth of 0-10 cm, NT stocks ranged from 2.08 (PIN) to 3.0 t ha⁻¹ (MTN). The most significant results of the use systems were observed in the 20-40 cm soil layer, where there was significant difference between all use systems.

Keywords: land use, soil organic carbon, soil profile, forestry.

3 INTRODUÇÃO

Os ecossistemas terrestres desempenham um importante papel no ciclo global de carbono, sendo o solo, depois dos oceanos, o sistema que mais armazena esse nutriente (Silva & Mendonça, 2007). O potencial de armazenamento de carbono orgânico (CO) de um solo depende do estoque presente nele originalmente, clima, cobertura vegetal, práticas de manejo do solo, aporte de resíduos, tipo de solo, textura etc., e também das taxas de entrada e saída de carbono do sistema solo-planta (Sleutel et al., 2003, Zinn et al., 2005, 2007).

Espera-se que, sob vegetação natural, o conteúdo de matéria orgânica do solo encontre-se estável. Nobre e Gash (1997) afirmam que, em solos sob vegetação natural, a preservação da matéria orgânica do solo (MOS) tende a ser máxima, pois o revolvimento do solo é mínimo, sendo o aporte de carbono nas florestas mais elevado do que em áreas cultivadas. Entretanto, o uso agrícola altera esse conteúdo, uma vez que envolve uma série de atividades que afetam as taxas de adição e decomposição da MOS (Zinn et al., 2005), conseqüentemente, ocorre um declínio no conteúdo de CO do solo (Rosa et al., 2003). Essa redução pode ser atribuída ao aumento da erosão do solo, aos processos mais acelerados de mineralização da matéria orgânica e ao menor aporte de resíduos orgânicos em sistemas manejados, comparativamente às florestas nativas (Houghton et al., 1991). A maior aeração do solo, a aplicação de fertilizantes e a correção da acidez do solo e o declínio da agregação do solo são outros fatores que contribuem para acelerar a decomposição da MOS. Desse modo, existe a necessidade de serem desenvolvidos estudos e estimativas sobre a contribuição de diferentes usos do solo para o aumento do estoque de CO e redução da emissão de CO₂ do solo.

A maioria dos estudos sobre a MOS tem sido realizada nos 30 cm superficiais. Horizontes subsuperficiais tem sido objeto de intensa pesquisa apenas em anos recentes, isso porque tem-se reconhecido que o subsolo pode contribuir grandemente para o armazenamento de carbono (Batjes, 1996; Rumpel et al., 2002; Schöning et al., 2006). Jobbagy & Jackson (2000) verificaram que, em pastagens de clima temperado, 59% do CO está localizado entre 0,2 e 1 m de profundidade. Estudos recentes indicam que cerca de 1.500 Pg de CO estão armazenados na MOS, entre 0,1 a 1m de profundidade (Janzen, 2006).

A sensibilidade do compartimento CO do subsolo ao clima e mudanças no uso da terra é largamente desconhecida (Don et al., 2007), principalmente devido ao fato de os processos que conduzem ao acúmulo de MOS estável em maiores profundidades do solo ainda não são bem entendidos. Recentes pesquisas têm mostrado que: 1) O carbono no subsolo é estabilizado por interações minerais (Eusterhues et al., 2005); 2) sua composição química é fortemente influenciada por processos pedológicos (Rumpel et al., 2002; Schmidt & Kögel-Knaber, 2002; Spielvogel et al., 2008); 3) sua estabilidade pode ser devido à escassez de entrada de resíduo de plantas frescas, o que conduz a uma limitação na energia da biomassa microbiana do solo (Fontaine et al., 2007) e/ou 4) dificuldade dos microrganismos em acessar e processar a matéria orgânica em profundidade no solo (Xiang et al., 2008). Embora o subsolo seja reconhecidamente estável e pouco influenciado por atividades de manejo, incluir o CO de horizontes profundos do solo em estudos de estoques de CO sob diferentes sistemas de uso pode ser de grande relevância, por fornecer uma idéia mais completa da dinâmica de carbono e a resposta geral do solo aos sistemas de uso a que foi submetido, exercendo considerável impacto no balanço de carbono do solo.

Estudar a dinâmica da MOS e sua distribuição em horizontes mais profundos do solo também se torna importante para compreender os padrões de distribuição do CO e do NT no perfil do solo, e seus graus de correlação. Além disso, em sistemas sob diferentes usos, é possível distinguir as diferenças entre espécies vegetais em termos de aporte de CO e de NT, e a mobilidade desses nutrientes no solo e subsolo, sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo. Em geral, há uma associação direta entre os teores e estoques de CO em solo, ou seja, o aumento de um implica no acréscimo do outro, mas isso pode variar em função da densidade do solo e do efeito de práticas de manejo sobre o grau de compactação do solo. Entender esses padrões de distribuição e suas correlações se caracteriza como aspecto importante no estudo da dinâmica da matéria orgânica em solos brasileiros (Zinn et al. 2005, 2007).

O NT total do solo está associado com o COS, uma vez que a MOS representa um importante reservatório de formas de NT potencialmente disponíveis para as culturas, e, desse modo, desempenha um papel chave na construção da fertilidade do solo e aumento da produtividade. (Andrea et al., 2004). Portanto, os solos degradados pelo cultivo e com baixos teores de carbono são deficientes em NT, o que limita a recuperação dos estoques de CO no solo, principalmente em sistemas constituídos por gramíneas (Bayer et al., 2000; Dias et al., 2007). Os estoques de NT do solo são controlados especialmente pelas condições climáticas 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). De acordo com Rangel et al. (2008), os teores de NT, nas diferentes profundidades do solo, apresentam o mesmo padrão de distribuição dos teores CO, com os maiores valores observados em camadas mais superficiais do solo, onde há maior acúmulo de MO.

Incluir o carbono de horizontes profundos do solo em estudos de estoques de CO propicia uma mais completa idéia da dinâmica de carbono no solo, e das respostas do solo às atividade de manejo de modo geral. Além disso, os impactos do sistema de uso no armazenamento de CO e NT em regiões tropicais do Brasil podem indicar o potencial desses solos para mitigar os gases do efeito estufa. Assim, este estudo teve por objetivo determinar o impacto de sistemas de uso do solo na distribuição de vertical de teores e estoques do CO e NT até 100 cm de profundidade, para um Latossolo Vermelho distroférico típico em Minas Gerais-Brasil.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Característica da área de estudo

Os sistemas de uso do solo estudados estão localizados 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). O clima da região é classificado como Cwa, no sistema de Köppen, com inverno seco e médias anuais de precipitação e temperatura de 1.530 mm e 19,4°C, respectivamente. O solo, nos diferentes sistemas de uso, foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico, textura muito argilosa.

Em uma faixa homogênea de solo, foram selecionadas 4 sub-áreas de acordo com o sistema de uso do solo (mata nativa, eucalipto, pinus e pastagem). As principais características dos sistemas estudados são apresentadas na Tabela 1. As características químicas e texturais do solo sob os quatro sistemas, efetuada com base em amostras de solo coletadas na profundidade de 0-20 e 20-40 cm, são apresentados na Tabela 2. O método utilizado para avaliação dos atributos químicos está descrito em Silva (1999), enquanto a análise

granulométrica foi efetuada pelo método da pipeta (Day, 1965), após dispersão da amostra com NaOH 1 mol L⁻¹ e agitação rápida (6.000 rpm) por 15 min.

TABELA 1 Características dos sistemas de uso do solo instalados em Latossolo Vermelho distroférico típico, no município de Lavras (MG).

Sistemas de uso	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 café, onde, em 1975, foi instalado um estudo de Teste de procedência com diversas espécies de <i>Eucalyptus</i> oriundas da Austrália e Indonésia. O plantio foi realizado no espaçamento 3 x 2 m, com adubação de plantio recomendada para a cultura e preparo convencional do solo (aração + gradagem). Não foi realizado nenhum corte de árvores ou desbaste até o presente.
Pinus	PIN	Povoamento de Pinus sp. implantado em 1975, em área antes cultivadas com café, utilizando-se o espaçamento 3 x 3 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 ou desbaste até o presente.
Pastagem	PAS	Pastagem de <i>Brachiaria decumbens</i> implantada em 1992, conduzida sob pastejo contínuo de bovinos em regime semi-intensivo e com uso de calcário e aplicação esporádica de fertilizantes contendo N, P e K.

4.2 Amostragem de solo

As amostragens de solo foram realizadas em Julho de 2008, selecionando-se em cada sistema três parcelas retangulares com dimensões individuais de 15 x 20 m (300 m²). Foram retiradas amostras nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40, 60-80, 80-100 cm, para avaliação dos teores e estoques de CO e NT. Em cada parcela foram retiradas três amostras compostas por profundidade, oriundas de 10 subamostras coletadas ao acaso, cada uma constituindo uma repetição. As amostras foram secas ao ar, destorroadas, trituradas em almofariz e passadas em peneira de malha de 0,21 mm. Para avaliação da densidade do solo, coletaram-se três amostras indeformadas em cada sistema e profundidade, com auxílio de um anel volumétrico de 100 cm³.

4.3 Carbono orgânico do solo

O CO do solo foi determinado pelo método descrito em Yeomans & Bremner (1988), após digestão de 0,3 g de solo em 5 mL de K₂Cr₂O₇ 0,167 mol L⁻¹ e 10 mL de H₂SO₄ p.a., por 30 min, a 170 °C, em bloco digestor de 40 provas. Após resfriamento em temperatura ambiente, os extratos foram transferidos quantitativamente para frascos de erlenmeyers de 125 mL, utilizando-se água destilada suficiente para obter volume final de aproximadamente 75 mL. Em seguida, foram adicionados 5 mL de H₂PO₄ p.a., procedendo-se a titulação com solução de Fe(NH₄)₂(SO₄)₂.6H₂O 0,4 mol L⁻¹ (sal de Mohr), com indicador Difenilamina 1%. Paralelamente, foram realizadas provas em branco, com e sem aquecimento.

TABELA 2 Caracterização química e textura de Latossolo Vermelho distroférico típico submetido a diferentes sistemas de uso em Lavras, MG (média de três repetições).

Sistema de uso	Atributo químico						Granulometria		
	pH H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	P	K (Mehlich-1)	Areia	Silte	Argila
	— cmol _c dm ⁻³ —				— mg dm ⁻³ —		— g kg ⁻¹ —		
					0-20 cm				
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
					20-40 cm				
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

MTN: mata nativa; EUC: eucalipto; PIN: Pinus; PAS: pastagem.

4.4 Nitrogênio total do solo

Nesta determinação, foi utilizado o método descrito em Bremner (1996), que envolve o uso de uma mistura digestora à base de K_2SO_4 , $CuSO_4$ e selênio. A cada amostra de 0,1 g de solo, foram adicionados 1,1g da mistura digestora e 3,0 mL de H_2SO_4 p.a. A digestão foi feita a 350 °C em bloco digestor de 40 provas, com posterior destilação do N em destilador de arraste de vapores. O destilado foi recolhido em solução de H_3BO_3 (20 g L^{-1}), e, posteriormente, titulado com solução de HCl 0,01 mol L^{-1} .

Calculou-se, após a realização das análises de CO e NT, a relação CO/NT.

O estoque de CO e NT foi calculado para cada camada de solo amostrada, a partir da seguinte expressão (Freixo et al., 2002):

$$EstCO = (CO \times Ds \times e) / 10$$

onde: EstC é o estoque de CO orgânico em determinada profundidade (Mg ha^{-1}); CO é o teor de carbono orgânico total do solo (g kg^{-1}); Ds é a densidade do solo média da profundidade ($kg\ dm^{-3}$); e é a espessura da camada de solo considerada (cm).

4.5 Análise Estatística

Os efeitos dos sistemas de uso do solo sobre os teores e estoques de CO e NT foram testados por meio de análise de variância (ANOVA). Analisaram-se os efeitos dos tratamentos em cada profundidade, separadamente. Quando as variáveis foram estatisticamente diferentes, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o aplicativo computacional SISVAR (Ferreira, 2000).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Padrões de distribuição de teores de carbono e nitrogênio no perfil do solo

A distribuição dos teores de CO e NT nas diferentes camadas de solo foi influenciada pelo sistema de uso, de modo que, foram verificados padrões de distribuição no perfil do solo diferenciados entre as coberturas vegetais avaliadas (Figura 1). De modo geral, verificou-se uma tendência de decréscimo nos teores de CO e NT à medida que se aumentou a profundidade do solo, conforme observado na maioria dos solos agrícolas e florestais brasileiros. Os teores de CO variaram entre os sistemas de uso de 38,50 g kg⁻¹ (MTN), na camada de 0-10 cm, a 10,43 g kg⁻¹ (EUC), na camada de 80-100 cm de profundidade. Essa variação provavelmente, deve-se a maior deposição de resíduos em superfície, comparada com as menores taxas de entrada de CO em camadas subsuperficiais.

Nos estudos de Zinn et al. (2002), em um Latossolo do Cerrado com 58% de argila, cultivado com *Pinus*, os teores de CO variaram de 19,3 g kg⁻¹ na camada de 0-5 cm, a 11,3 g kg⁻¹, na camada de 40-60 cm. No mesmo estudo, o autor encontrou valores de carbono variando de 9,3 a 4,9 g kg⁻¹, nas camadas de 0-5 e 40-60 cm, respectivamente.

Os teores de NT apresentaram variação de 3,4 g kg⁻¹ na camada 0-10 do sistema de MTN para 1,12 g kg⁻¹ na camada 80-100 cm do sistema EUC. De maneira geral, a distribuição do NT com o aumento da profundidade do solo não apresentou um padrão similar ao do CO, em relação à distribuição vertical (Figura 1). Diversos estudos têm verificado padrões de distribuição do NT semelhante aos de CO (Dou et al., 2007; Sá & Lal, 2009). Os resultados contrastantes encontrados neste estudo podem ser atribuídos a diversos fatores, como o histórico de manejo em geral, níveis de adubação nitrogenada nas

camadas superficiais ou aos processos de proteção física da MOS em profundidade, que ainda não estão bem elucidados.

Omonode & Vyn (2006) estudaram a distribuição vertical de NT em solos com culturas anuais e verificaram que os maiores teores ocorreram nos intervalos de 0-15 cm e 60-10 cm de profundidade. Segundo os autores, esse comportamento pode ser atribuído às entradas de NT através de aplicação de fertilizantes, altas taxas de mineralização e subsequente lixiviação para camadas mais profundas e menor absorção radicular de N pelas culturas anuais em maiores profundidades de solo. Em geral, existe no perfil de solo uma correlação positiva entre os teores de CO e NT, o que se aplica mais a solos sob vegetação natural, de modo que, por se tratar de áreas sob floresta plantada e pastagem de uso pouco intensivo, esse conceito pode ser aplicado. A distribuição de raízes no perfil, o padrão de extrusão de compostos contendo CO e NT pelas raízes e as taxas diferenciadas de lixiviação de compostos com CO e NT no perfil do solo podem também explicar os resultados obtidos neste estudo.

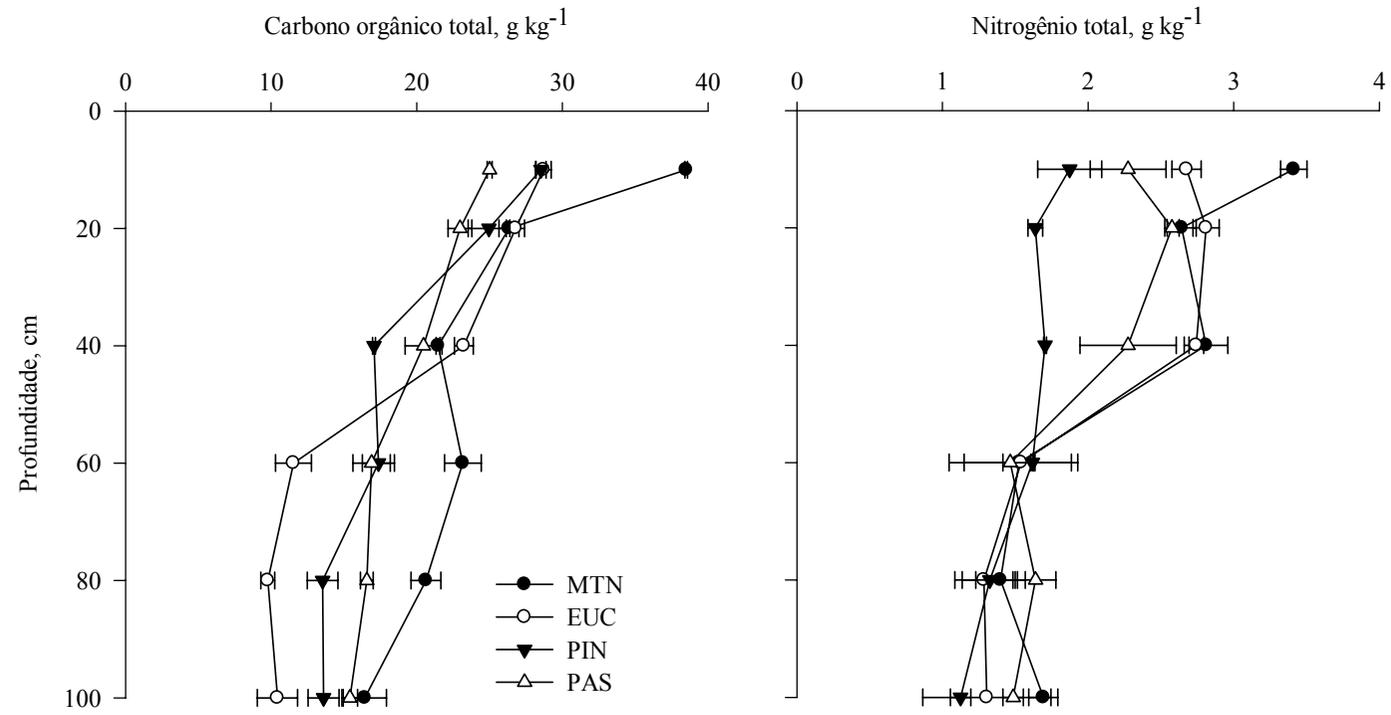


FIGURA 1 Teores de CO e NT no perfil de Latossolo Vermelho em Lavras (MG)

5.2 Estoques de carbono

Os estoques de CO nos diferentes sistemas de uso e manejo do solo são apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 Estoques de carbono orgânico total (CO), nitrogênio total (NT), relação CO/NT e densidade de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso no município de Lavras, sul de Minas Gerais (MG).

Profundidade (cm)	Sistemas de uso			
	Mata	Eucalipto	Pinus	Pastagem
Estoque de CO (t ha ⁻¹)				
0-10	33,80a	29,27bc	31,67ab	27,50c
10-20	27,91ab	28,39a	28,70a	24,57b
20-40	40,36b	49,72a	36,52c	42,16b
40-60	43,55a	23,30d	31,61b	31,43b
60-80	40,44a	20,31d	26,25c	29,82b
80-100	31,55a	19,82d	25,02c	28,95b
Estoque de NT (t ha ⁻¹)				
0-10	3,00a	2,73ab	2,08c	2,48bc
10-20	2,80a	2,98a	1,89b	2,75a
20-40	5,28b	5,87a	3,65d	4,68c
40-60	2,87a	3,11a	2,94a	2,73a
60-80	2,74a	2,67a	2,57a	2,95a
80-100	3,25a	2,48bc	2,07c	2,79ab
Relação CO/NT				
0-10	11,28	10,73	15,23	11,09
10-20	9,97	9,53	15,18	8,94
20-40	7,66	8,47	10,01	9,16
40-60	15,29	7,83	10,74	12,42
60-80	14,86	7,78	10,36	10,19
80-100	9,74	8,63	12,15	10,38
Densidade do solo (kg dm ⁻³)				
0-10	0,88	1,02	1,11	1,09
10-20	1,06	1,06	1,15	1,07
20-40	0,94	1,07	1,07	1,03
40-60	0,94	1,01	0,91	0,93
60-80	0,98	1,04	0,97	0,90
80-100	0,96	0,95	0,92	0,94

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

MTN: mata nativa; EUC: eucalipto; PIN: pinus; PAS: pastagem.

O estoque de CO foi influenciado de modo significativo pelos usos do solo em todas as profundidades avaliadas (Tabela 3). Entretanto, os impactos do uso do solo sob o estoque de CO variaram de acordo com cada profundidade avaliada. Na camada de 0-10 cm, o maior estoque de CO foi observado no sistema de MTN, atingindo 33,8 t ha⁻¹, enquanto que para PIN, EUC e PAS os valores obtidos foram 31,7, 29,3 e 27,5 t ha⁻¹, respectivamente. Para todas as outras camadas, exceto as de 10-20 e 20-40 cm, o maior estoque de CO foi observado também nos sistemas de MTN. Esses resultados demonstram que, em solo sob vegetação natural o conteúdo de carbono é superior aos submetidos à retirada da vegetação natural e cultivados. Sob vegetação nativa, a preservação da MOS tende a ser máxima, pois o revolvimento do solo é mínimo, além de o aporte de CO nas florestas ser mais elevado do que em áreas cultivadas (Zech et al., 1997). Após a conversão de floresta nativa em sistemas agrícolas, ocorre um declínio nos estoques de matéria orgânica (Houghton et al., 1991). Essa redução pode ser atribuída ao aumento da erosão do solo, aos processos mais acelerados de mineralização, devido a exposição da MOS protegida dentro dos agregados aos microrganismos decompositores e, finalmente, ao menor aporte de materiais orgânicos em sistemas manejados, comparativamente às florestas nativas (Zinn et al., 2002; Leite et al., 2003; Lal, 2005).

Para a camada 10-20 cm, os maiores estoques de CO foram notados no PIN e na MTN, com valores de 28,70 e 27,91 g kg⁻¹ respectivamente. Esses resultados contrastam com os encontrados por Rangel & Silva (2007) que, avaliando estoques de CO da camada de 10-20 cm, na mesma área do presente estudo, encontraram valores de 30,60 t ha⁻¹ para PIN e 16,20 t ha⁻¹ para a MTN. As diferenças encontradas podem ser atribuídas à época e às técnicas utilizadas para amostragem do solo.

Em relação ao estoque de CO na PAS, verificou-se que, em todas as camadas a partir de 20 cm, esse uso apresentou a segunda maior média de CO,

sendo inferior apenas à MTN. Esses resultados estão de acordo aos verificados em diversos estudos, os quais mostram que os estoques de CO em pastagem podem ser muito próximos do que se encontra em áreas de vegetação nativa, ou mesmo superiores, quando as pastagens são bem manejadas (Tarré et al., 2001; Silva et al., 2004). Esses resultados podem ser atribuídos ao sistema radicular mais desenvolvido das gramíneas, o que favorece a elevada deposição de carbono ao solo na forma de raízes (Rangel & Silva, 2007). Segundo Teixeira & Bastos (1989), as pastagens, em geral, apresentam distribuição regular do sistema radicular até 1 metro de profundidade, com distribuição de 46% das raízes na camada superficial do solo (0-10 cm), 18,6% na camada de 10-20 cm, 22,8% na de 20-40 cm e 12,4% na de 40-60 cm. Assim, a elevada produção de raízes em profundidade pode explicar o fato de o estoque de CO continuar bastante expressivo, mesmo em camadas mais profundas do solo, e o alto potencial das pastagens em manter altos níveis de MOS.

Os resultados verificados para as áreas de PAS são de grande importância para o Brasil, uma vez que, em termos de distribuição geográfica, representam a principal atividade agrícola do País, contando com quase 100 milhões de hectares de gramíneas forrageiras cultivadas, contra pouco mais de 50 milhões de hectares destinados a outras culturas (Boddey et al., 2003).

O sistema EUC apresentou os menores estoques de CO, quando comparados com os outros sistemas de uso, em todas as camadas a partir de 40 cm, contudo, foi o que apresentou a maior média nas camadas 10-20 e 20-40 cm, com incremento até mesmo em relação ao sistema de MTN. Esses resultados contrastam com os dados da literatura, onde os autores relatam redução nos estoques de CO em áreas de eucalipto e pinus (Madeira et al., 1989), entretanto, concordam com os resultados de Rangel & Silva (2007) que, estudando os teores de CO em área de reflorestamento com eucalipto também encontraram valores de CO na camada de 20-40 superiores ao sistema de mata nativa. Esses

resultados contraditórios podem ser atribuídos a 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).

Os resultados de estoque de CO representados na Figura 2 para a camada 0-40 cm revelam a seguinte seqüência, em ordem decrescente, para os estoques de carbono: EUC > MTN > PIN > PAS. Entretanto, verifica-se a seqüência: MTN > PAS > PIN > EUC, quando se considera todo o CO armazenado até 1 m de profundidade (Figura 3). Zinn et al. (2005) também verificaram que as amostragens superficiais não foram suficientes para mostrar a capacidade das pastagens em acumular CO até níveis semelhantes ou mesmo superiores ao sistema de mata nativa.

Os valores estocados de CO até 1 m de profundidade, em cada um dos sistemas analisados, comprovam a importância do subsolo no armazenamento de carbono, uma vez que se verificou que, para todos os sistemas de uso, o CO armazenado abaixo de 40 cm representa de 37 a 53% do CO do perfil. Os resultados estão de acordo com os de Jobbagy & Jackson (2000), que afirmam que cerca de 50% do carbono total do solo estão estocados em camadas mais profundas. Diversos outros autores também chamaram a atenção para a importância do subsolo no armazenamento de CO (Lorenz & Lal, 2005; Janzen, 2006; Schöning et al., 2006). Esse fato exerce considerável impacto no balanço de carbono no solo e aponta para uma alternativa no sentido de aumentar a precisão na contabilização do carbono armazenado em subsolo, uma vez que as quantidades encontradas são significativas. Desse modo, para uma estimativa mais precisa em estudos que avaliam diferentes sistemas de uso do solo, é importante considerar camadas mais profundas, a fim de indicar mais precisamente sistemas capazes de preservar e, ou, aumentar os estoques de CO do solo.

É válido ressaltar a importância de analisar além dos valores absolutos de estoques de CO, a variação destes em relação ao sistema referência (Figura 2), sendo esses valores uma estimativa do incremento ou do decréscimo do estoques de CO do solo. Todos os sistemas de uso resultaram em redução nos estoques de CO na profundidade de 0-10 cm, em relação ao sistema MTN, o que está de acordo com Rangel & Silva (2007), indicando a suscetibilidade à oxidação do CO das camadas superficiais dos solos, quando esses são submetidos a diferentes sistemas de uso e manejo, mesmo que não envolvam cultivo anual. As reduções nos estoques de CO na profundidade de 0-10 cm foram de 6, 13 e 19% para PIN, EUC e PAS, respectivamente.

Na profundidade de 10-20 cm, em todos os sistemas de uso do solo, exceto a PAS, foram verificadas variações positivas nos estoques de CO (Figura 2). O mesmo comportamento foi observado para o EUC e PAS, na camada de 20-40 cm. Entretanto, para todas as camadas a partir de 40 cm, os valores de Δ Est CO foram negativos.

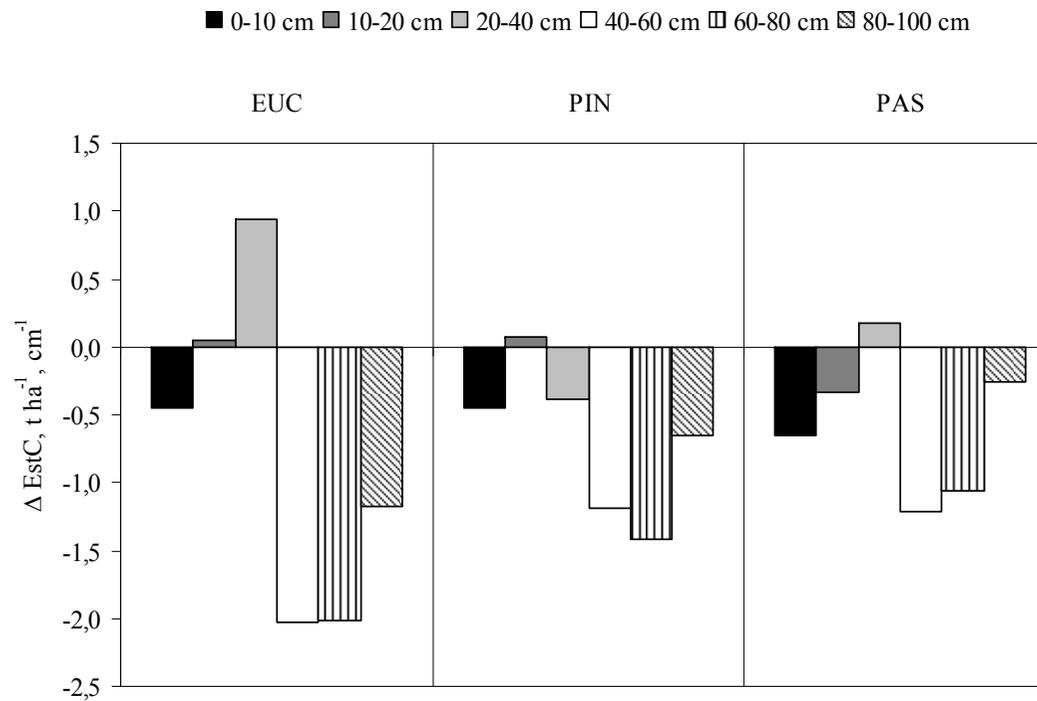


FIGURA 2 Variação do estoque de carbono orgânico (Δ EstCO) nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm em relação ao sistema de mata nativa (MTN), em Latossolo Vermelho distroférico submetido a diferentes sistemas de uso: EUC- eucalypto; PIN-pinus; PAS- pastagem. Valores positivos indicam aumento no estoque de CO em relação ao sistema MTN.

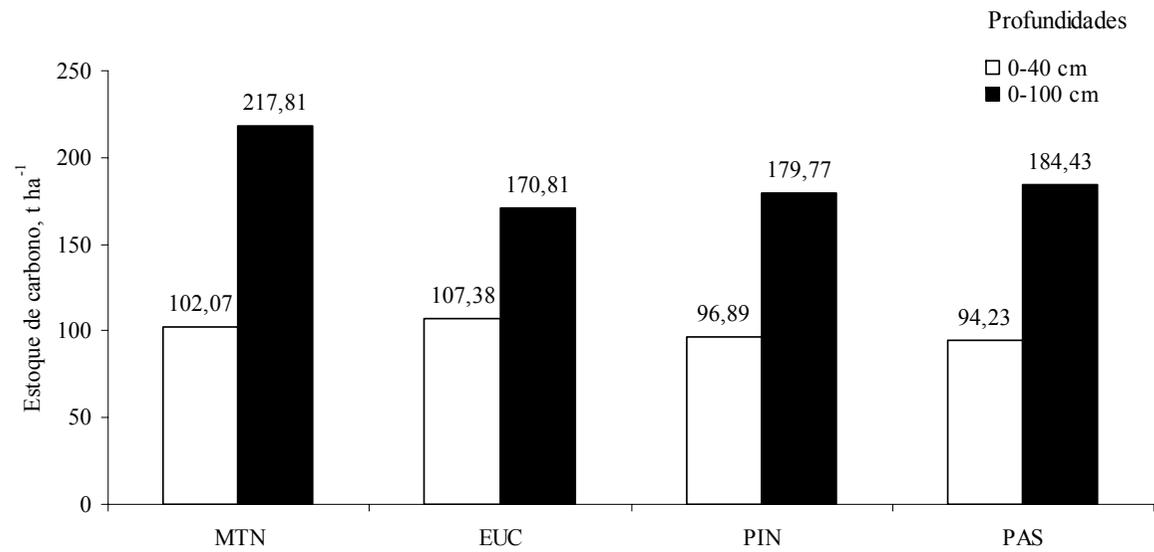


FIGURA 3 Estoque de CO nas camadas de solo de 0-40 cm e de 0-100 cm de profundidade, nos sistemas de uso de mata (MTN), pastagem (PAS), pinus (PIN) e eucalipto (EUC) (eucalipto), em um Latossolo Vermelho distroférico.

5.3 Estoques de Nitrogênio

Os estoques de NT do solo, em geral, alteraram pouco entre os sistemas de uso (Tabela 3). Para a profundidade de 0-10 cm, os estoques de N em solo variaram de 2,1 (PIN) a 3,0 t ha⁻¹ (MTN). O sistema PIN armazenou menos N que os outros sistemas de cultivo, com 1,9 t ha⁻¹ de N na camada 10-20 cm, enquanto que os demais sistemas não apresentaram diferença entre si. Os resultados mais expressivos entre os sistemas de uso foram observados na camada 20-40 cm, onde houve diferença significativa entre todos os usos, com o menor estoque sendo verificado no sistema de PIN (3,7) e o maior, no sistema de EUC (5,9). O maior estoque de NT no sistema EUC, nessa camada de solo, pode estar associado ao elevado volume de resíduos vegetais retornados ao solo e, também, aos maiores estoques de CO nesses sistemas, uma vez que o maior armazenamento de CO implica em maior disponibilidade de NT, em razão de mais de 95% do NT se encontrarem associados à fração orgânica (Stevenson, 1994; Camargo et al., 1999). Para as camadas de 40-60 e 60-80 cm, não houve alteração nos estoques de NT em função do tipo de uso do solo, enquanto que, na camada de 80-100 cm, houve diferença significativa entre os usos, com as menores médias observadas no sistema PIN (2,1) e as maiores, nos sistemas de MTN (3,3) e PAS (2,8), seguidos pelo EUC (2,48 t ha⁻¹).

6 CONCLUSÕES

O padrão de distribuição dos teores de carbono e nitrogênio foi diferente para os sistemas de uso do solo avaliados; há, em geral, um decréscimo dos teores de carbono e nitrogênio com o aumento da profundidade do solo.

Os estoques carbono orgânico foram influenciados pelos sistemas de uso do solo, obedecendo a seguinte ordem para a camada superficial (0-10 cm): mata - eucalipto - pastagem - pinus. Os estoques de carbono orgânico total, para a camada 0-40 cm, revelam a seguinte seqüência em ordem decrescente: eucalipto > mata > pinus > pastagem. Entretanto, considerando-se o carbono armazenado até 1 m de profundidade, encontra-se a seguinte seqüência: mata > pastagem > pinus > eucalipto, o que atesta a importância de se avaliar também o C em subsolo.

Considerando todos os sistemas de uso do solo, o carbono orgânico armazenado abaixo de 40 cm representou de 37 a 53% do carbono orgânico presente no perfil do solo.

Os estoques de NT variaram entre os sistemas de uso do solo; Na profundidade de solo de 0-10 cm, os estoques de N em solo se encontram dentro da faixa de 2,08 (pinus) a 3,0 t ha⁻¹ (mata).

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BATJE, N. H. **Management options for reducing CO₂-concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil**. Netherlands: ISRIC, 1999. 114 p.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 3, p. 599-607, maio/jun. 2000.

BODDEY, R. M.; XAVEIR, D.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Brazilian agriculture: the transition to sustainability. **Journal of Crop Production**, New York, v. 9, n. 1/2, p. 593-621, 2003.

BREMNER, J. M. Total Nitrogen. 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.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 117-137.

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

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

DON, A.; SCHUMACHER, J.; SCHERER-LORENZEN, M.; SCHOLTEN, T.; SCHULZE, E. D. Spatial and vertical variation of soil carbon at two grassland sites: implications for measuring soil carbon stocks. **Geoderma**, Amsterdam, v. 141, n. 3/4, p. 272-282, Oct. 2007.

DOU, F.; WRIGTH, A. L.; HONS, F. M. Depth distribution of soil organic C and N after long-term soybean cropping in Texas. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, n. 2, p. 530-536, June 2007.

EUSTERHUES, K.; RUMPEL, C.; KÖGEL-KNABNER, I. Stabilization of soil organic matter isolated by oxidative degradation. **Organic Geochemistry**, Oxford, v. 36, n. 11, p. 1567-1575, Nov. 2005.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FONTAINE, S.; BAROT, S.; BARRÉ, P.; DSIQUI, N.; MARY, B.; RUMPEL, C. Stability of carbon in depth soil layers controlled by fresh carbon supply. **Nature**, London, v. 450, n. 7167, p. 277-281, Nov. 2007.

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, MG, v. 26, n. 6, p. 425-434, dez. 2002.

HOUGHTON, R. A.; SKOLE, D. L.; LEFKOWITZ, D. S. Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985: II net release of CO₂ to the atmosphere. **Forest Ecology Management**, Amsterdam, v. 38, n. 3/4, p. 173-199, Feb. 1991.

JANZEN, H. H. The soil carbon dilemma: shall we hoard it or use it? **Soil Biology and Chemistry**, Elmsford, v. 38, n. 3, p. 419-424, Mar. 2006.

JOBAGY, E. G.; JACKSON, R. B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. **Ecological Applications**, Tempe, v. 10, n. 2, p. 423-436, Apr. 2000.

LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 220, n. 1/3, p. 242-258, Dec. 2005.

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, MG, v. 27, n. 5, p. 821-832, out. 2003.

LORENZ, K.; LAL, R. The depth distribution of soil organic carbon in relation to land use and management and the potential of carbon sequestration in subsoil horizons. **Advanced in Agronomy**, San Diego, v. 88, n. 8, p. 35-66, Nov. 2005.

MADEIRA, M. A. V.; ANDREUX, 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, 1989.

NOBRE, C. A.; GASH, J. Desmatamento muda clima da Amazônia. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 128, p. 33-42, 1997.

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

OMONODE, R. A.; VYN, T. J. Vertical distribution of soil organic carbon and nitrogen under warm-season native grasses relative to croplands. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 17, n. 2/3, p. 159-170, Nov. 2006.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1609-1623, dez. 2007.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; MELO, L. C. A.; OLIVEIRA JUNIOR, A. C. Carbono orgânico e nitrogênio total do solo e suas relações com os espaçamentos de plantio do cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 6, p. 2051-2059, dez. 2008.

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

RUMPEL, C.; KÖGEL-KNABNER, I.; BRUHN, F. Vertical distribution, age, and chemical composition of organic carbon in two forest soils of different pedogenes. **Organic Geochemistry**, Oxford, v. 33, n. 10, p. 1131-1142, Oct. 2002.

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

SCHMIDT, M. W. I.; KÖGEL-KNABNER, I. Organic matter particle-size fraction from A and B horizons of a Haplic Alisol. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 53, n. 3, p. 383-391, Sept. 2002.

SCHÖNING, I.; TOTSCHE, K. U.; KÖGEL-KNABNER, I. Small scale spatial variability of organic carbon stocks in litter and solum of a forested Luvisol. **Geoderma**, Amsterdam, v. 136, n. 3/4, p. 631-642, Dec. 2006.

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

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-375.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; CORAZZA, E. J.; VIVALDI, L. Carbon storage in clay Oxisol cultivated pastures in the “Cerrado” region, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 103, n. 4, p. 357-363, July 2004.

SLEUTEL, S.; NEVES, S.; HOFMAN, G. Estimates of carbon stock changes in Belgian cropland. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 19, n. 2, p. 166-171, Jan. 2003.

SPIELVOGEL, S.; PRIETZEL, J.; KÖGEL-KNABNER, I. Soil organic matter stabilization in acidic forest soil is preferential and soil type-specific. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 59, n. 4, p. 674-692, Aug. 2008.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry**: genesis, composition, reaction. 2. ed. New York: J. Wiley, 1994. 496 p.

TARRÉ, R. M.; MACEDO, R.; CANTARUTTI, R. B.; RESENDE, C. P.; PEREIRA, J. M.; FERREIRA, E.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. The effect of the presence of a forage legume on nitrogen and carbon levels in soils under Brachiaria pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 234, n. 1, p. 15-26, July 2001.

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

XIANG, S. R.; DOYLE, A.; HODEN, P. A.; SCHIMEL, J. P. Drying and rewetting effect on C and N mineralization and microbial activity in surface and subsurface California grassland soils. **Soil Biology and Chemistry**, Elmsford, v. 40, n. 9, p. 2281-2289, Sept. 2008.

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 Analyses**, 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, n. 1/4, p. 117-161, Sept. 1997.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; BIGHAM, J. M.; RESCK, D. V. S. Edaphic controls on soil organic carbon retention in the Brazilian cerrado: texture and Mineralogy. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 71, n. 4, p. 1204-1214, June 2007.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 84, n. 1, p. 28-40, Nov. 2005.

ZINN, Y. L.; RESK, D.; SILVA, J. E. Soil organic as affected by afforestation with Eucalyptus and Pinus in the Cerrado region of Brazil. **Forest Ecology e Management**, Amsterdam, v. 166, n. 1/3, p. 285-294, Aug. 2002.

CAPÍTULO III

INFLUÊNCIA DE SISTEMAS DE USO DE LATOSSOLO SOBRE OS TEORES E DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DE CARBONO LÁBIL

1 RESUMO

O compartimento lábil do carbono orgânico do solo (CO) pode ser um bom indicador da permanência do CO no sistema e, também, sobre as alterações na matéria orgânica do solo causadas pelas mudanças no uso da terra, desse modo, desempenha um importante papel nos estudos ligados à avaliação do armazenamento e biodisponibilidade do CO em solo. Além disso, pode ser uma alternativa interessante para avaliar os efeitos de ações antrópicas sobre os agroecossistemas, devido à sua alta suscetibilidade às mudanças no uso e manejo do solo. O objetivo deste estudo foi avaliar os teores lábeis de carbono por meio do ataque das amostras de solo com solução de HCl 6 mol L⁻¹, em diferentes sistemas de uso do solo, a saber: mata nativa (MTN), eucalipto (EUC), pinus (PIN), pastagem (PAS), bem como a sua distribuição no perfil de Latossolo Vermelho distroférico, em Lavras, MG, nos sistemas de uso ora mencionados. As amostras de solo foram coletadas visando a avaliação dos teores de CO e carbono lábil (CL) nas profundidades de solo de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm. Os sistemas de uso do solo exerceram influência sobre o CL, tanto em camadas superficiais, como no subsolo. Os teores de carbono lábil são, em geral, maiores para o sistema MTN, em todas as camadas de solo estudadas, com exceção da camada de 10-20 cm, onde o maior teor de CL foi encontrado para o sistema EUC. Os teores de CL são maiores em superfície, verificando-se uma tendência ao decréscimo à medida que se aprofunda no perfil. Em todas as profundidades de solo, excetuando-se a camada de 10-20 cm, os índices de manejo de carbono (IMC) foram inferiores a 100, nos diferentes sistemas de uso do solo, indicando o impacto negativo do uso e práticas de manejo sobre os teores de matéria orgânica e qualidade do solo, em relação à área sob mata nativa.

Palavras-chave: hidrólise ácida, carbono orgânico do solo, uso da terra, carbono lábil

2 ABSTRACT

The labile organic carbon can be useful to infer the permanence of the OC in the soil system and also to evaluate the modifications caused land changes. Thus, it is considered an interesting alternative to evaluate human actions on the agro-ecosystems due to its high sensitivity to changes in use and soil management. The objective of this study was to evaluate the compartment of labile C through hydrolysis of soil samples with HCl 6 M in four different systems of land use: native forest (MTN), eucalyptus (EUC), pinnus (PIN), pasture (PAS), and the distribution of labile C in the soil profile in each of use systems tested, in an Hapludox (according to Soil Taxonomy), in Lavras, Minas Gerais State, Brazil. Soil samples were collected for evaluation of organic carbon (OC), and labile carbon (CL), in the following soil depths: 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 and 80-100 cm. Land use systems affected the labile compartment of CO, in both surface and subsoil layers. The levels of labile carbon are generally higher for the MTN system in all soil layers studied, except for the 10-20 cm, where the highest value of CL was found under EUC. The levels of CL were higher in surface soil, decreasing in the deeper soil layers. The labile carbon was more sensitive, compared to CO and CNL, to assess the impact of different systems of land use on SOM.

Keywords: acid hydrolysis, soil organic carbon, land use, labile carbon

3 INTRODUÇÃO

O aumento das emissões de gases do efeito estufa que ocasionam mudanças climáticas e alterações em diversos processos naturais sinaliza para a necessidade do melhor entendimento do ciclo do carbono, em ecossistemas terrestres e em áreas agrícolas. Isto porque, no Brasil, e na maioria dos países tropicais, a retirada da floresta e atividade agrícola respondem pelo maior parte das emissões de CO₂. Em anos recentes, os estudos têm comprovado que a matéria orgânica do solo (MOS) é um importante reservatório e um dos principais compartimentos do ciclo global de carbono (C), já que as moléculas orgânicas do solo desempenham um papel-chave na ciclagem de C e de outros nutrientes. Entretanto, um simples incremento nos estoques de carbono orgânico (CO) do solo não é sinônimo de seqüestro; para ser seqüestrado, deve ocorrer um fluxo de CO de compartimentos ativos para menos reativos, intermediários ou compartimentos passivos e, conseqüentemente, ser mantido no sistema por décadas ou mais tempo (Wang e Hsieh, 2002). Do ponto de vista de armazenamento de CO no solo, maiores quantidades de CO inerte ou pouco reativo são importantes. O solo desempenha uma série de serviços ambientais, quase sempre, regulados pela qualidade e biodisponibilidade da MOS. Por tudo isso, a preservação e o aumento do carbono lábil (CL) no solo constitui-se em estratégia importante quando se visa a melhoria da qualidade do solo. Além disso, a fração lábil do carbono tem sido, também, considerada um atributo mais sensível que o CO para se avaliar alterações causadas pelas mudanças no uso solo.

A MOS é composta por constituintes lábeis e estáveis, ou, em outros termos, de materiais ativos ou de baixa reatividade. Essa divisão, baseada na taxa de decomposição das frações orgânicas, permite um melhor entendimento da dinâmica dos estoques e composição química das frações da MOS. Os

constituintes lábeis, genericamente denominados matéria orgânica lábil ou carbono orgânico lábil (CL), incluem resíduos de plantas em decomposição, substâncias não-humificadas e não ligadas aos constituintes minerais, formas solúveis em água, C associado aos macrorganismos (fauna) e à biomassa microbiana. (Theng et al., 1989). Frações lábeis do CO, como a biomassa microbiana, exibem relativamente altas taxas de transformação e, desse modo, podem não contribuir significativamente para sequestrar carbono no solo, uma vez que os compartimentos mais estáveis (humificados e protegidos) de carbono são as mais apropriadas e representativas frações do carbono sequestrado do solo (Cheng & Kimble, 2001). Entretanto, o CL, além de servir para inferir sobre a permanência do carbono no sistema é também considerado uma alternativa interessante para avaliar ações antrópicas sobre os agroecossistemas, devido à sua alta sensibilidade às mudanças causadas pelo uso e manejo do solo (Leite et al., 2003; Rosa et al., 2003; Rangel & Silva, 2007). Por englobar frações mais facilmente mineralizáveis, os compartimentos de carbono lábil se constituem em importantes reservas de energia e nutrientes para a comunidade microbiana, num curto espaço de tempo. De certo modo, a CL, que pode servir de substrato em curto prazo para os decompositores, pode representar importante fator de regulação da atividade e diversidade microbianas verificadas no solo.

Diversas pesquisas têm sido feitas visando avaliar as quantidades de carbono lábil no solo, entretanto, os teores de CO associado a essa fração têm variado consideravelmente, tanto em função da metodologia utilizada, como devido ao sistema de uso do solo. Para ilustrar isso, podem ser citadas as pesquisas desenvolvidas por Freitas et al. (2004), que, utilizando a metodologia descrita por Chan et al. (2001), a qual se baseia na separação de quatro frações com graus decrescentes de oxidação, por ácido sulfúrico, encontraram valores de CL correspondente, em média, a 28% do CO do solo. Andrade et al. (2005), utilizando a mesma metodologia, encontraram 50% do CO na forma lábil em

solos cultivados com eucalipto, e Rangel et al. (2008), avaliando o teor de carbono lábil na entrelinha do cafeeiro, encontraram um valor médio de 43%. Nos estudos conduzidos por Portugal et al. (2008), utilizando a metodologia de Blair et al. (1995) em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico latossólico, os valores encontrados foram de 9,8, 7,0 e 7,0 e 5,9% para mata, seringal, citros e pastagem, respectivamente. No estudo de Silveira et al. (2008), que utilizaram o procedimento da hidrólise ácida, o CL representou de 18 a 32% do CO do solo.

Em hipótese, o estudo de compartimentos mais ou menos lábeis da MOS permite identificar a cobertura vegetal e, ou sistemas de manejo que propiciam adições frequentes de material orgânico ao solo e que tendem, portanto, a apresentar maior proporção de CO na fração lábil, em relação às frações de CO mais resistentes à decomposição (Blair et al., 1995; Chan et al., 2001).

A sensibilidade dos compartimentos da MOS do subsolo ao clima e mudanças no uso da terra é largamente desconhecida (Don et al., 2007), uma vez que a composição e localização da MOS no subsolo tem sido objeto de intensiva pesquisa apenas em recentes anos. Isto ocorre, principalmente, devido ao fato de que não há, ainda, um entendimento dos processos que resultam em acúmulo de MOS estável em maiores profundidades do solo. Recentes pesquisas têm mostrado que: i) o carbono no subsolo é estabilizado por interações minerais (Eusterhues et al., 2005); ii) sua composição química é fortemente influenciada por processos pedológicos (Rumpel et al., 2002; Schmidt & Kögel-Knaber, 2002; Spielvogel et al., 2008); iii) sua estabilidade pode ser devido à escassez de entrada de resíduo de plantas frescas, o que conduz a uma limitação na energia da biomassa microbiana do solo (Fontaine et al., 2007) e; iv) dificuldade dos microrganismos para acessar fisicamente a matéria orgânica em camadas mais profundas do solo (Xiang et al., 2008).

Pesquisas recentes têm demonstrado que, em solo não perturbado, o CL diminui progressivamente com o aumento da profundidade (Sá e Lal, 2009),

enquanto que o carbono estável aumenta proporcionalmente nas camadas subsuperficiais. Essa inversão nos compartimentos está associada aos processos de transformação que ocorrem na camada superficial do solo, onde há deposição constante de serrapilheira e maior atividade da microbiota do solo. Dessa forma, cria-se um gradiente no perfil do solo, devido à liberação lenta e gradual de compostos orgânicos oriundos do processo de decomposição dos resíduos vegetais e animais (Sá et al., 2008). Os resultados dos estudos desenvolvidos por Andrade et al. (2005) e Rangel et al. (2008) também reafirmaram a hipótese de que ocorre uma redução dos teores de CL com o aumento da profundidade do solo.

Embora o CL seja um compartimento do carbono do solo de grande importância, ainda existe uma grande divergência entre os procedimentos usados na sua determinação. Dentre os procedimentos utilizados, são citadas a oxidação parcial do carbono com soluções de KMnO_4 (Blair et al., 1996; Shang & Tiessen, 1997), misturas de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}_2\text{SO}_4$ (Chan et al., 2001) e a hidrólise ácida com tratamento utilizando-se HCl, que também assegura a remoção de componentes mais lábeis da MOS (Rovira & Vallejo, 2000; Silveira et al., 2008).

A hidrólise ácida tem sido aplicada para distinguir as frações resistentes das ativas de carbono. A fração hidrolisável é composta por proteínas, ácidos nucléicos e polissacarídeos, segundo Rovira & Vallejo (2000). Silveira et al. (2008), estudando solos sob clima subtropical, caracterizaram o CO através de hidrólise ácida com solução 1 mol L^{-1} e 6 mol L^{-1} de HCl e verificaram que o método foi eficiente em remover os componentes lábeis (ex.: carboidratos e aminoácidos), e que o uso de solução de HCl 6 mol L^{-1} foi mais preciso para caracterizar a qualidade do CO do que a solução de HCl 1 mol L^{-1} . Os resultados desse estudo comprovaram que a hidrólise ácida com HCl pode prover significativos resultados quanto aos compartimentos de C presentes nos solos,

uma vez que a análise dos espectros da ressonância magnética nuclear do resíduo do solo, após o tratamento com HCl, indicou a remoção dos componentes lábeis (ex.: carboidratos e aminoácidos). Entretanto, ainda não existem pesquisas no Brasil quantificando o CL por esse método.

A ausência de estudos ligados ao efeito de sistemas de uso do solo sobre o CL utilizando a metodologia da hidrólise ácida são motivos que justificam este estudo. Além disso, a distribuição dos diversos compartimentos do CL e CNL no perfil do solo é um aspecto que ainda precisa ser elucidado. Análises deste tipo são fundamentais para avaliar o impacto dos sistemas de uso sobre o armazenamento e qualidade do CO₂ e, por conseguinte, sobre a qualidade do solo, que é fortemente regulada pela MOS. O objetivo deste estudo foi avaliar os teores de CL, por meio da hidrólise de amostras do solo com solução de HCl 6 mol L⁻¹, em solo sob diferentes sistemas de uso e manejo, como mata nativa (MTN), eucalipto (EUC), pinus (PIN) e pastagem (PAS), ao longo no perfil (0 a 100 cm) de um Latossolo Vermelho distroférico, localizado em Lavras, Minas Gerais.

4 MATERIAL E MÉTODOS

As informações referentes às características da área de estudo, aos métodos e técnicas de amostragem do solo, às análises químicas realizadas, à exceção do C lábil, e ao método de determinação do CO₂ são descritas no capítulo 2 desta tese.

4.1 Carbono Lábil

O carbono lábil (CL) foi determinado seguindo-se método descrito por Silveira et al. (2008), cujo protocolo analítico consiste na reação de 1 g de solo com soluções de HCl nas concentrações de 1 e 6 mol L⁻¹, na proporção de 1:25

(solo:solução), a 105°C em bloco digestor de 40 provas, com um tempo de aquecimento de 2 horas. Após a hidrólise, o resíduo foi separado do sobrenadante por centrifugação (10 min a 6.037 g), e lavado três vezes com água destilada, para remover o resíduo de cloro. O sobrenadante e o resíduo foram diluídos a volume final de 60 mL com água destilada e armazenados a 4°C, até análise de C hidrolisado, que foi, posteriormente, quantificado em analisador de carbono Dohrmnan TOC - DC 190. O carbono não lábil (CNL) foi determinado por diferença ($C_{NL} = CO - C_L$).

Foi proposto um índice de compartimento de carbono (ICC), calculado como: $ICC = CO_{cultivado} / CO_{mata}$. Com base nas mudanças da proporção de C_L (i.e. $L = CL / CNL$) no solo, um índice de labilidade (IL) foi determinado: $IL = L_{cultivado} / L_{mata}$. Esses dois índices foram usados para calcular o índice de manejo de carbono (IMC), obtido pela expressão: $IMC = ICC \times IL \times 100$, conforme Blair et al (1995).

4.2 Análise Estatística

Os efeitos dos sistemas de uso do solo sobre os atributos avaliados (CO , CL , CNL , relação CL/CO , ICC , L , IL e IMC) foram testados por meio de análise de variância (ANOVA). Analisaram-se os efeitos dos tratamentos sobre os teores de C, em cada profundidade, separadamente. Quando as variáveis foram estatisticamente diferentes, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa SISVAR (Ferreira, 2000). Foi feita análise de correlação de Pearson entre o CL e CO .

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados referentes aos teores de CL e CNL, obtidos por meio da hidrólise com solução de HCl 6 mol L⁻¹, nos diferentes sistemas de uso do solo, são apresentados na Tabela 2.

Os teores de CL foram afetados de modo significativo pelos sistemas de uso do solo, em todas as profundidades de solo avaliadas (Tabela 2), contudo, os impactos do sistema de uso do solo sob os teores de CL variaram de acordo com cada profundidade estudada. Para a camada de 0-10 cm, o maior teor de CL foi observado no sistema MTN (13,72 g kg⁻¹). Para as áreas de EUC, PAS, PIN, os valores de CL foram 8,45, 7,82 e 4,97 g kg⁻¹, respectivamente. Para todas as outras camadas estudadas (exceto a de 10-20 cm), os maiores teores de CL estiveram associados ao sistema MTN. Esses resultados estão de acordo com os obtidos nos estudos de Blair et al. (1995) e Chan et al. (2001), os quais verificaram que culturas agrícolas e ou sistemas de manejo que favorecem adições frequentes de material orgânico ao solo tendem a apresentar maior proporção de CO na fração lábil, em detrimento do CO presente em frações mais resistentes à decomposição.

TABELA 1 Teores de carbono lábil (CL), carbono não-lábil (CNL), carbono orgânico (CO) e relação CL/CO em um Latossolo Vermelho distroférico típico submetido a diferentes sistemas de uso, no sul de Minas Gerais.

Profundidade (cm)	Sistemas de uso			
	Mata	Eucalipto	Pinus	Pastagem
	CL (g kg ⁻¹)			
0-10	13,72a	8,45b	4,97d	7,82c
10-20	7,26b	8,85a	6,84b	6,72b
20-40	9,63a	7,38b	5,74c	5,95c
40-60	6,97a	4,09c	5,38b	2,53d
60-80	5,40a	3,08c	4,36b	2,95c
80-100	4,90a	3,0c	4,14b	2,31d
	CNL (g kg ⁻¹)			
0-10	24,78a	20,25b	13,43d	17,18c
10-20	7,91c	15,75b	19,76a	16,24b
20-40	11,84c	15,85a	11,33c	14,51b
40-60	16,20a	7,44d	12,00c	14,37b
60-80	15,23a	6,68d	9,17c	13,62b
80-100	11,54b	7,44d	9,46c	13,09a
	CO (g kg ⁻¹)			
0-10	38,50a	28,70b	28,53b	25,00c
10-20	26,33a	26,78a	24,96b	22,97c
20-40	21,47bc	23,23a	17,07d	20,47c
40-60	23,17a	11,53d	17,37b	16,90bc
60-80	20,63a	9,77d	13,53c	16,57b
80-100	16,43a	10,43d	13,60c	15,40ab
	CL/CO (%)			
0-10	35,6a	29,5b	17,4c	31,3b
10-20	27,57b	33,1a	27,5b	29,3b
20-40	44,8a	31,8bc	33,6b	29,2c
40-60	30,1b	35,8a	30,9b	15,5c
60-80	26,2b	31,5a	32,2a	17,8c
80-100	30,3a	29,4a	30,0a	15,1b

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Para a camada 10-20 cm, o sistema de EUC foi o que apresentou o maior teor de CL, sendo esse 18% maior que o da MTN. Para as camadas 10-20 e 20-40 cm, o sistema EUC apresentou o segundo maior teor dentre os sistemas de uso, alcançando valores de 8,45 e 7,38 g kg⁻¹, respectivamente, sendo os resultados inferiores apenas ao sistema de MTN. Isso indica que o cultivo nos

sistema de EUC contribuiu para aumentar os teores das formas de CL do solo nas camadas avaliadas, em comparação às áreas de PIN e PAS, possivelmente, por meio da manutenção e recuperação dos teores de CO, especialmente das frações lábeis, as quais são essenciais à melhoria da qualidade do solo e sustentabilidade dos sistemas de produção (Blair, 2000).

O sistema de PAS esteve entre os sistemas de uso que apresentou os menores teores de CL, em quase todas as camadas de solo, desde a superfície até 100 cm de profundidade. (Tabela 2). Na camada de 0-10 cm, o teor de CL na PAS foi de 7,8 g kg⁻¹, sendo o menor teor dentre os usos analisados. Em relação à percentagem de CO, o CL na pastagem representou 31% desse, enquanto que os sistemas de MTN, PIN, EUC apresentaram valores de 36, 17 e 29% do CO, respectivamente. Entretanto, Portugal et al. (2008), estudando um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico latossólico da Zona da Mata de Minas Gerais, encontraram, em pastagens, teor de CL de 2,0 g kg⁻¹, correspondente a 5,94% do COT. Esses resultados contrastantes podem ser atribuídos à variabilidade das condições experimentais entre os estudos, como clima, tipo e manejo do solo sob pastagens, os quais afetam a produção da biomassa das pastagens e a decomposição da matéria orgânica adicionada ao solo, dado que, de acordo com Jobbagy & Jackson (2001), a interação solo-planta é que determina a distribuição da disponibilidade de nutrientes no perfil do solo.

É importante ressaltar que foram encontradas diferenças estatísticas entre todos os sistemas de uso do solo, mesmo nas camadas mais profundas. Esse fato evidencia que os impactos dos diferentes sistemas de uso do solo sobre os teores de CL atingem até mesmo as camadas mais profundas. Esses resultados podem estar ligados a diferença na morfologia e profundidade efetiva do sistema radicular das diferentes espécies estudadas, os quais podem propiciar deposições diferenciadas de resíduos orgânicos ao solo, em profundidades de solo que não são coincidentes entre um sistema de uso e outro. Outra explicação seria à

composição do material vegetal, a qual determina a suscetibilidade à degradação dos resíduos orgânicos em diferentes níveis. Além disso, existe a possibilidade desse fato ser explicado pela interação dos fatores de planta e de solo, uma vez que as condicionantes que regulam a decomposição da MOS em profundidade ainda não foram completamente elucidadas.

A semelhança dos teores de CO, nota-se, em geral, um decréscimo dos teores de CL em todos os sistemas de uso, quando comparada a camada superficial (0-10 cm) com a camada mais profunda de solo avaliada (80-100 cm). Entretanto, a amplitude de variação para esse atributo foi diferente para cada sistema de uso analisado. Para o sistema MTN, o CL variou de 13,7 g kg⁻¹ (correspondendo a 28,6% do CL total do solo) na camada superficial para 4,9 g kg⁻¹ (correspondendo a 10,3% do CL total do solo), na profundidade de 80-100 cm do perfil do solo, com uma amplitude de variação de 8,8 g kg⁻¹. Nos sistemas sob floresta plantada e pastagem, essa amplitude foi menos acentuada, verificando-se variações de 5,5 para os sistemas de EUC e PAS. O sistema de PIN foi o que apresentou a menor variação entre a camada superficial e a camada 80-100 cm, com uma diferença de 0,8 g kg⁻¹.

O padrão de distribuição do CL ao longo do perfil diferenciou-se de acordo com o sistema de uso avaliado. Para o sistema de PAS, verificaram-se teores de CL maiores na camada superficial, com um decréscimo progressivo até a camada 60-80 cm, onde os teores tem um aumento de 16% em relação à camada suprajacente, e, tornando a diminuir na camada seguinte (80-100 cm). Enquanto isso, para os sistemas EUC e PIN ocorre um aumento nos teores de CL na camada 10-20 em relação a camada superficial (0-10) e para as camadas seguintes a tendência é de decréscimo nos teores a medida que aprofunda no perfil. Finalmente, para o sistema MTN, o padrão de distribuição do CL mostrou-se diferente dos sistemas cultivados avaliados. Sob condições naturais verificou-se que as maiores concentrações do CL ocorrem na camada superficial

com um teor de CL de 13,71 g kg⁻¹ e um decréscimo na camada seguinte (10-20) de 53%. Entretanto, os teores de CL voltam a aumentar na camada 20-40 e um decréscimo progressivo só é verificado a partir de 40 cm. Esses resultados diferenciados de acordo com o sistema de uso adotado denotam que um dos fatores determinantes do padrão distribuição do carbono lábil no perfil do solo é o tipo de cobertura vegetal.

De modo geral, as maiores proporções de CL/CO foram encontradas nos sistemas de MTN, nas camadas de solo avaliadas até 40 cm. Esse resultado, possivelmente, pode servir de base para a afirmação de que adições frequentes de material orgânico ao solo contribuem para aumentar o carbono na fração lábil, em detrimento das frações mais resistentes à decomposição, conforme já foi preconizado por Chan et al. (2001).

Comparando-se as proporções de CL/CO nos diversos sistemas de uso do solo, é possível notar que nas áreas de PAS e MTN as maiores proporções são verificadas para as camadas de solo localizadas até 40 cm, de modo que nesses sistemas, em profundidade, predominam as frações mais resistentes de carbono. Isso evidencia o acúmulo nesse local de compostos orgânicos de maior estabilidade química e, possivelmente, de alta massa molar, oriundos da decomposição e humificação da MOS (Stevenson, 1994). Enquanto isso, nos sistemas de PIN e EUC, os valores de CL/CO estão distribuídos de forma mais homogênea no perfil, ou seja, não há variação na razão CL/CO.

O índice de compartimento do carbono (ICC) representa uma medida sensível das mudanças na dinâmica do carbono no solo entre um sistema manejado e um sistema referência, sob condições estáveis (Rangel, 2006).

Os ICC, apresentados na Tabela 2 para cada sistema de uso estudado, em relação ao sistema MTN, que é o sistema-referência, apresentaram comportamento diferenciado de acordo com a profundidade de solo analisada. Para a camada de solo de 0-10 cm, o EUC e PIN apresentaram os menores

decréscimos relativos nos teores de CO₂, quando comparados com os outros sistemas de uso. Para as camadas 10-20 e 20-40 cm, apenas o EUC apresentou ICC em torno de 1, indicando acúmulo de carbono semelhante à mata. Entretanto, nas camadas mais profundas (abaixo de 40 cm), os índices foram todos abaixo de 1, com as maiores reduções sendo verificadas para o EUC, seguido pelo PIN. Na área de PAS, foram verificados os maiores teores de CO₂, em relação à mata, nas camadas mais profundas do solo.

Valores de IMC são indicativos do impacto do uso e práticas de manejo sobre os teores de matéria orgânica e qualidade do solo, de modo que valores de IMC abaixo de 100 indicam impactos negativos (Blair et al., 1995).

Neste estudo, verifica-se que em todas as profundidades de solo, excetuando-se a camada 10-20 cm no EUC, os índices de manejo de carbono (IMC) foram inferiores a 100 em todos os sistemas de uso do solo, indicando impacto negativo do uso e práticas de manejo sobre os teores de matéria orgânica e, por conseguinte, sobre a qualidade do solo (Blair et al., 1995).

Comparando-se os usos da terra na camada 0-10 cm, o IMC mostrou-se superior no EUC (46) e na PAS (37) e menor no PIN (27). Nos estudos desenvolvidos por Portugal et al. (2008), em áreas cultivadas com citros, seringueira e pastagem, o IMC desses sistemas foi de 70, 69 e 54 respectivamente. Segundo aos autores, nas áreas cultivadas com citros e seringueira, os maiores valores de IMC podem estar associados ao maior aporte de resíduos ao solo, proporcionado, assim, uma recuperação parcial do carbono perdido. O manejo inadequado foi o fator determinante, citado pelos autores, para o menor valor de IMC na área sob pastagem.

Na camada 10-20 cm, os valores de IMC foram de 124, 90 e 81 para os sistemas EUC, PIN e PAS respectivamente. O valor de IMC acima de 100, para o EUC, denota que, nesse caso, ocorreu maior aporte de resíduos vegetais, o que contribuiu para aumentar a capacidade de preservação e recuperação dos teores

e/ou da qualidade das frações orgânicas presentes nos solos sob esse sistema de uso da terra, em relação à mata. Esse comportamento possivelmente se explique devido à elevada deposição de raízes nessa camada de solo. O sistema MTN possui uma grande heterogeneidade de espécies vegetais e, conseqüentemente, de produção de biomassa tanto da parte aérea quanto de raízes, fato que torna a distribuição da deposição de material orgânico através das raízes um tanto irregular ao longo do perfil, podendo assim existir camadas com menores aportes de matéria orgânica, em relação aos outros tipos de cobertura vegetal.

TABELA 3 Índice de compartimento de carbono (ICC), labilidade (L), índice de labilidade (IL) e índice de manejo de carbono (IMC), em um Latossolo Vermelho distroférico típico submetido a diferentes sistemas de uso, em Lavras, Sul de Minas Gerais.

Profundidade (cm)	Sistemas de uso			
	Mata	Eucalipto	Pinus	Pastagem
	ICC			
0-10	-	0,75a	0,74a	0,65b
10-20	-	1,02a	0,95b	0,87c
20-40	-	1,08a	0,80c	0,95b
40-60	-	0,50b	0,75a	0,73a
60-80	-	0,48c	0,66b	0,81a
80-100	-	0,63c	0,83b	0,95a
	Labilidade (L)			
0-10	0,55a	0,42bc	0,37c	0,46b
10-20	0,92a	0,56b	0,35c	0,41c
20-40	0,81a	0,47bc	0,51b	0,41c
40-60	0,43b	0,56a	0,45b	0,18c
60-80	0,36b	0,46a	0,48a	0,22c
80-100	0,43a	0,42a	0,44a	0,18b
	IL			
0-10	-	0,62a	0,36a	0,57b
10-20	-	1,22a	0,95b	0,93b
20-40	-	0,77a	0,60b	0,62b
40-60	-	0,60b	0,79a	0,37c
60-80	-	0,57b	0,82a	0,55b
80-100	-	0,62b	0,86a	0,47c
	IMC			
0-10	-	45,92a	26,85c	37,03b
10-20	-	124,46a	89,51b	80,90c
20-40	-	83,05a	47,39c	58,99b
40-60	-	30,33b	59,95a	27,66b
60-80	-	27,18c	54,11a	44,33b
80-100	-	38,78b	70,96a	44,70b

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Na Figura 1 são apresentados os aumentos e reduções percentuais nos teores de carbono de diferentes frações das amostras coletadas nos diferentes sistemas de uso do solo, na camada de 0-10 cm. Os atributos do solo na área de

mata foram utilizados como referência. Dentre os atributos avaliados, as maiores alterações ocorreram no CL, comparativamente às alterações no CO e CNL. No sistema PAS as alterações no CL foram menos evidentes. De acordo com os resultados encontrados, pode-se apontar o CL como um indicador mais sensível para identificar alterações na MOS, antes mesmo que teores de CO presentes em compartimentos mais estáveis da MOS sejam alterados de maneira significativa. Resultados semelhantes foram encontrados por Rangel et al. (2008), que, estudando o efeito da adoção de diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro, concluíram que o CL foi um atributo mais sensível que o CO para avaliar as mudanças na MOS. Rangel & Silva (2007), avaliando diferentes sistemas de uso do solo, verificaram que as maiores alterações entre os atributos avaliados ocorreram nos teores de carbono da biomassa microbiana e carbono associado à fração leve, que também são frações que constituem o carbono lábil do solo (Silva & Mendonça, 2007).

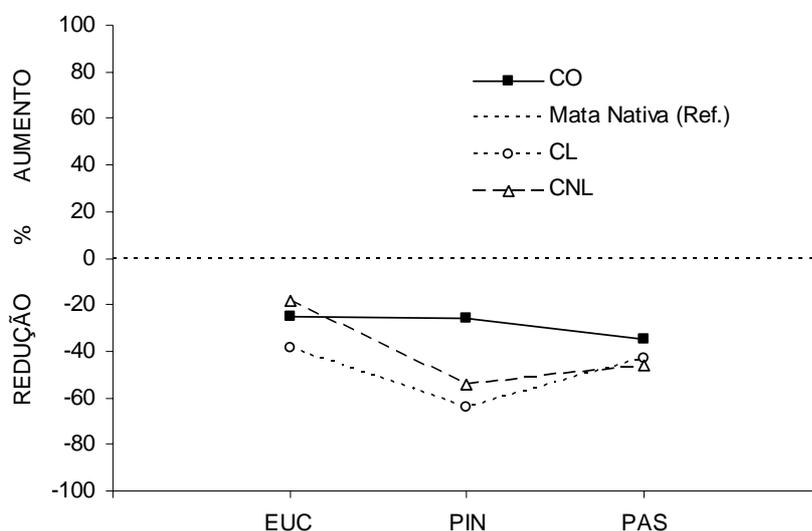


FIGURA 1 Reduções e aumentos nos teores de frações de carbono de Latossolo Vermelho distroférico típico nos sistemas eucalipto (EUC), pinus (PIN), pastagem (PAS), tendo a mata nativa com referência. CO: Carbono orgânico total do solo; CL: Carbono lábil; CNL: Carbono não-lábil.

Por meio da análise de correlação de Pearson, verificou-se que os valores de CL encontrados neste estudo, utilizando-se a metodologia descrita por Silveira et al., (2008), correlacionaram-se significativamente ($p < 0,01$) com os teores de CO ($r = 0,83$). Como os estudos acerca das frações oxidáveis do carbono em solos tropicais ainda são recentes, fica difícil a comparação de resultados. No estudo sobre frações oxidáveis conduzido por Rangel (2006), para os mesmos sistemas de uso aqui avaliados, utilizando-se a metodologia preconizada por Chan et al. (2001) (oxidação do carbono com dicromato de potássio e doses crescentes de ácido sulfúrico, nas concentrações de 3, 6, 9 e 12 mol L⁻¹), também foi observada correlação positiva e significativa ($p < 0,05$) entre os teores de CO e CL ($r = 0,85^{**}$). Embora o método utilizado neste estudo

tenha sido descrito para solos de clima temperado, pode-se afirmar que os resultados deste trabalho apresentaram resultados importantes para o solo tropical estudado, uma vez, que a correlação entre o CL e o CO foi altamente significativa.

6 CONCLUSÕES

1. O sistema de uso do solo exerceu influência sobre o compartimento lábil do carbono orgânico, tanto em camadas superficiais como no subsolo, de modo que os teores de carbono lábil são maiores em superfície, verificando-se uma tendência de decréscimo, à medida que aumenta a profundidade;
2. Os teores de carbono lábil são, em geral, maiores no sistema de mata, em todas as camadas estudadas, com exceção da camada 10-20 cm, onde há mais frações lábeis de carbono na área sob eucalipto;
3. O compartimento lábil é mais sensível às alterações provocadas pelo uso do solo do que o carbono orgânico, por ser o compartimento que mais perde C em relação à área de mata. Trata-se do compartimento de MOS que apresentou maior potencial em avaliar o impacto de diferentes sistemas de uso do solo sobre as transformações ocorridas na matéria orgânica.
4. Os índices de manejo de carbono, de modo geral, indicaram impacto negativo dos sistemas de uso sobre os teores de matéria orgânica, sendo o cultivo de pinus o sistema que mais compromete a quantidade e qualidade da matéria orgânica na superfície do solo.

7 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 biossólido e cultivado com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 803-816, set./out. 2005.
- BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 46, n. 7, p. 1450-1459, July 1995.
- BLAIR, N. Impacts of cultivation and sugar-cane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in Queensland, Australian. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 55, n. 3/4, p. 183-191, June 2000.
- CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fraction and soil quality changes in an paleustalf under different pasture leys. **Soil Science**, Baltimore, v. 166, n. 1, p. 61-67, Jan. 2001.
- CHENG, H. H.; KIMBLE, J. M. Characterization of soil organic carbon pools. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLET, R. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Assessment methods for soil carbon**. Boca Raton: Lewis, 2001. p. 117-129.
- DON, A.; SCHUMACHER, J.; SCHERER-LORENZEN, M.; SCHOLTEN, T.; SCHULZE, E. D. Spatial and vertical variation of soil carbon at two grassland sites: implications for measuring soil carbon stocks. **Geoderma**, Amsterdam, v. 141, n. 3/4, p. 272-282, Oct. 2007.
- EUSTERHUES, K.; RUMPEL, C.; KÖGEL-KNABNER, I. Stabilization of soil organic matter isolated by oxidative degradation. **Organic Geochemistry**, Oxford, v. 36, n. 11, p. 1567-1575, Nov. 2005.
- FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FONTAINE, S.; BAROT, S.; BARRÉ, P.; DSIQUI, N.; MARY, B.; RUMPEL, C. Stability of carbon in depth soil layers controlled by fresh carbon supply. **Nature**, London, v. 450, n. 7167, p. 277-281, Nov. 2007.

FREITAS, A. G.; MATOS, E. S.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica e estabilidade de agregados em diferentes sistemas de adubação. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE E BIOLOGIA DO SOLO, 25., 2004, Lages. **Anais...** Lages: UDESC/SBCS, 2004. 1 CD-ROM.

JOBAGY, E. G.; JACKSON, R. B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. **Ecological Applications**, Tempe, v. 10, n. 10, p. 423-436, Apr. 2001.

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, MG, v. 27, n. 5, p. 821-832, out. 2003.

PORTUGAL, A. F.; JUCKSCH, I.; SCHAEFER, C. E. G. R.; WENDLING, B. A. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 2091-2100, out. 2008.

RANGEL, O. J. P. **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.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1609-1623, dez. 2007.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; MELO, L. C. A.; OLIVEIRA JUNIOR, A. C. Carbono orgânico e nitrogênio total do solo e suas relações com os espaçamentos de plantio do cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 6, p. 2051-2059, dez. 2008.

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

ROVIRA, P.; VALLEJO, V. T. Examination of thermal and acid hydrolysis procedures in characterization of soil organic matter. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 31, n. 1, p. 81-100, Jan. 2000.

RUMPEL, C.; KÖGEL-KNABNER, I.; BRUHN, F. Vertical distribution, age, and chemical composition of organic carbon in two forest soils of different pedogênese. **Organic Geochemistry**, Oxford, v. 33, n. 10, p. 1131-1142, Oct. 2002.

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

SÁ, J. C. M.; SÁ, M. F. M.; SANTOS, J. B.; OLIVEIRA, A. Dinâmica da matéria orgânica nos Campos Gerais. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. D.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 443-461.

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.

SCHMIDT, M. W. I.; KÖGEL-KNABNER, I. Organic matter particle-size fraction from A and B horizons of a Haplic Alisol. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 53, n. 3, p. 383-391, Sept. 2002.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-375.

SILVEIRA, M. L.; COMERFORD, N. B.; REDDY, K. R.; COOPER, W. T.; EL-RIFAI, H. Characterization of soil organic carbon pools by acid hydrolysis. **Geoderma**, Amsterdam, v. 144, n. 1/2, p. 405-414, Mar. 2008.

SPIELVOGEL, S.; PRIETZEL, J.; KÖGEL-KNABNER, I. Soil organic matter stabilization in acidic forest soil is preferential and soil type-specific. **European Journal of soil Science**, Oxford, v. 59, n. 4, p. 674-692, Aug. 2008.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry**: genesis, composition, reaction. 2. ed. New York: J. Wiley, 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.; UEHARA, G. (Ed.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Hawaii: NIFTAL Projects, 1989. p. 5-32.

WANG, Y.; HSIEH, Y. P. Uncertainties and novel prospects in the study of soil carbon dynamics. **Chemosphere**, Oxford, v. 49, n. 8, p. 791-804, Dec. 2002.

XIANG, S. R.; DOYLE, A.; HODEN, P. A.; SCHIMEL, J. P. Drying and rewetting effect on C and N mineralization and microbial activity in surface and subsurface California Grassland Soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 40, n. 9, p. 2281-2289, Sept. 2008.

CAPÍTULO IV

CARBONO SOLÚVEL EM ÁGUA EM PERFIL DE LATOSSOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO

1 RESUMO

O carbono solúvel em água (CSA) é o compartimento lábil da matéria orgânica do solo (MOS) mais afetado pela retirada de vegetação nativa e posterior cultivo, de modo que diversos estudos têm sido realizados visando avaliar o impacto de diferentes sistemas de uso do solo sobre os teores do CSA. Além disso, a quantificação dos teores de CSA no perfil do solo é fundamental, uma vez que, no Brasil, é pouco estudada a distribuição vertical desse compartimento de carbono no solo. Este estudo teve por objetivo determinar o impacto de sistemas de uso do solo (mata natural, eucalipto, pastagem e pinus) sobre os teores e a distribuição vertical de CSA em camadas de até 100 cm de profundidade de um Latossolo Vermelho distroférico típico, no município de Lavras, Minas Gerais. As amostras de solo foram coletadas, para avaliação de carbono orgânico total (CO) e CSA, nas profundidades: 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm. Os teores de CSA foram influenciados pelos sistemas de uso do solo, obedecendo a seguinte ordem, para a camada superficial (0-10 cm): MTN > PAS > EUC > PIN. Os sistemas de uso alteraram os teores de CSA significativamente nas camadas estudadas até 40 cm de profundidade, entretanto, a partir dessa profundidade, não houve mais efeito significativo dos sistemas de uso do solo sobre o CSA. Em todos os sistemas de uso, o CSA decresceu à medida que se aumentou a profundidade do solo. Os teores de CSA correlacionaram-se positivamente com os teores de CO, bem como com outras

frações lábeis da MOS. O CSA, configurou-se como um indicador sensível para identificar alterações na dinâmica MOS, comparativamente ao CO e outras frações a ele associadas.

Palavras-chave: fração leve, biomassa microbiana, carbono lábil, uso do solo, carbono orgânico.

2 ABSTRACT

The water soluble carbon (WSC) is the compartment of soil organic matter more affected by the removal of native vegetation. Several studies have been conducted to evaluate the impact of systems of land use in the levels of WSC. The objective of this study was to determine the impact of systems of land use (natural forest, eucalyptus, pine and pasture) on the vertical distribution of WSC up to 100 cm soil depth, in a Hapludox of Lavras, Minas Gerais, Brazil. Soil samples were collected for evaluation of organic carbon (OC) and WSC in the following soil depths: 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 and 80-100 cm. The levels of WSC were influenced by the systems of land use, in the following order for the soil surface layer (0-10 cm): MTN> PAS> EUC> PIN. The systems use influenced the content of WSC, which changed significantly in the soil layers studied up to 40 cm depth, however, for the layers deeper than 40 cm, the land use had no significant effect on WSC. For the studied Oxisol, in all land use systems, the WSC reduced with increasing soil depth. Water soluble carbon presents high correlation with CO and with the organic matter labile pool. Water soluble carbon is a sensitive indicator to identify alterations in the soil organic matter, in the largest alterations provoked by land use systems for this SOM fraction, comparatively to the alterations verified for CO and other SOM pools.

Keywords: light fraction, microbial biomass, labile carbon, organic carbon.

3 INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo (MOS) é composta de constituintes lábeis e estáveis. Essa divisão baseada na taxa de decomposição permite uma melhor compreensão sobre a dinâmica da MOS. Os constituintes lábeis, genericamente denominados matéria orgânica lábil ou carbono orgânico lábil (CL), incluem resíduos de plantas em decomposição, substâncias não-humificadas não ligadas aos constituintes minerais, formas de carbono solúveis em água, carbono associado aos macrorganismos (fauna) e à biomassa microbiana (Theng et al., 1989).

Dentre as formas de CL, destaca-se o carbono orgânico solúvel em água (CSA), que pode ser definido como a fração do CO solúveis em água com partículas de diâmetro menor que 0,45 μm . O CSA pode ser oriundo da decomposição de resíduos orgânicos, serrapilheira (Don & Kalbitz, 2005), resíduos culturais (Ciotta et al., 2004; Ellerberock & Kaiser, 2005), de origem microbiana e originado a partir de exsudatos de raízes (Lu et al., 2003; Souza & Melo, 2003). O CSA é uma forma de C lábil facilmente perdida por lixiviação e sujeito ao ataque microbiano, e têm em sua constituição carboidratos, aminoácidos, proteínas, sideróforos, ácidos orgânicos de baixa massa molar e, dependendo da massa molar, uma pequena fração de ácidos fúlvicos (Stevenson, 1994).

Esses compostos orgânicos solúveis desempenham papéis importantes em diversos processos no solo, como na movimentação de Ca, adicionado ao solo via calagem superficial, de camadas superficiais para o subsolo. De acordo com Ciotta et al. (2004), o CSA forma complexos solúveis de carga neutra com cátions metálicos que facilmente são deslocados no perfil do solo, de modo que os cátions, como Ca^{2+} e Mg^{2+} , podem ser translocados para camadas mais profundas do solo e assim, a toxidez causada por Al^{3+} , em função da

movimentação desses complexos, pode ser diminuída em subsuperfície, alterando as reações e minimizando o efeito da acidez sobre as culturas. O fluxo vertical de radicais orgânicos dissolvidos propicia, ainda, a movimentação de Fe e Al na forma de complexos organo-metálicos, de horizontes superficiais para horizontes mais profundos, contribuindo para a gênese de horizontes espódicos (Janzen, 2006), e amenizando potenciais efeitos tóxicos desses elementos às plantas (Stevenson, 1994).

O CSA é o compartimento lábil da matéria orgânica mais influenciado pela retirada de vegetação nativa (Tiessen et al., 2002), o que justifica o seu uso para avaliar o impacto de diferentes sistemas de uso da terra. Nesse sentido, Portugal et al. (2008) afirmam que o CSA, comparativamente ao CO, é o compartimento da MOS mais sensível às mudanças provocadas pelo uso e manejo do solo, mostrando ser um importante indicador em estudos que avaliam o impacto de diferentes tipos de cultivo sobre os compostos orgânicos do solo.

Em solos sob floresta nativa, há um fluxo contínuo e uma ciclagem permanente de resíduos vegetais e da serrapilheira, o que assegura, na maioria dos casos, melhor qualidade da MOS. Entretanto, quando ocorre substituição de ecossistemas naturais por agroecossistemas, normalmente, ocorre um declínio do conteúdo de carbono do solo, decorrente da redução no aporte e do aumento da taxa de decomposição da matéria orgânica (Stevenson, 1994; Zech et al., 1997). Assim, uma vez que o aumento do CSA, entre outros fatores, está associado ao incremento no teor de CO (Ciotta et al., 2004), espera-se que o CSA também seja afetado pelas alterações no sistema de uso do solo, de modo que é bastante provável que sistemas que depositam maiores quantidades de material orgânico no solo, também, possuem maiores teores de CSA. Trabalhos têm sido realizados visando avaliar o efeito de sistemas de uso sobre frações da MOS, entre essas, o CSA. Portugal et al. (2008), estudando um Argissolo Vermelho-

Amarelo, encontraram teores de CSA variando de 202,6 (mata nativa) a 74,3 mg kg⁻¹ (pastagem), o que corresponde a 1,0 e 0,6%, respectivamente, do COS.

Além dos teores de CSA em diferentes sistemas de uso do solo, a distribuição no perfil do solo dessa fração da MOS tem sido objeto de intensiva pesquisa apenas em recentes anos. Alguns dados de pesquisa mostram que: i) o carbono no subsolo é estabilizado por interações minerais (Eusterhues et al., 2005); ii) - sua composição química é fortemente influenciada por processos pedológicos (Rumpel et al., 2002; Schmidt & Kögel-Knaber, 2002; Spielvogel et al., 2008); iii) - sua estabilidade pode ser devido à escassez de entrada de resíduo de plantas frescas, o que conduz a uma limitação na energia da biomassa microbiana do solo (Fontaine et al., 2007) e; iv) a inabilidade dos microrganismos para acessar fisicamente a matéria orgânica em profundidade do solo (Xiang et al., 2008). Dessa maneira, é fundamental conhecer a distribuição em camadas mais profundas, não só das quantidades totais de carbono, mas também dos compartimentos de assumida importância, como o CSA.

Dou et al. (2007) estudaram a distribuição do CSA em solos cultivados em sistemas de rotação de cultura com sorgo/trigo/soja, trigo/soja e soja sob manejo convencional e plantio direto. Os autores verificaram que, sob plantio convencional, o CSA foi maior na superfície e decresceu significativamente até as camadas de solo de 30 cm de profundidade; abaixo dessa profundidade de solo não ocorreu decréscimo no CSA. Entretanto, sob plantio direto, verificou-se decréscimo do CSA até 105 cm para sorgo/trigo/soja, trigo/soja, e apenas até 30 cm, para a soja. As médias entre os tratamentos variaram de 219 mg kg⁻¹ de C (na camada de 0-5 cm) e 58 mg kg⁻¹ (na profundidade de 105 cm).

Em pesquisa desenvolvida por O'Brien et al. (2003), o CSA representou menos de 1% do CO, com um padrão de distribuição em profundidade oposto para solos argilosos e arenosos. Para os solos argilosos, ocorreu um decréscimo

do CSA com o aumento da profundidade, enquanto nos solo arenosos, foi verificado um incremento nos teores de CSA.

Devido à importância que as frações solúveis da MOS exercem sobre a sustentabilidade de ecossistemas e em razão das alterações que diferentes sistemas de uso e manejo da terra exercem sobre a dinâmica do carbono, fertilidade e outros atributos do solo, torna-se necessário a realização de estudos visando avaliar como os sistemas de cultivo afetam o armazenamento de frações mais solúveis da MOS do solo. Além disso, estudar o CSA presente em camadas mais profundas do solo possibilita um melhor entendimento da dinâmica de carbono do solo e das respostas do solo às atividades de uso e manejo de modo geral. Assim, este estudo teve por objetivo determinar o impacto de sistemas de uso do solo (mata natural, eucalipto, pastagem e pinus) sobre os teores e a distribuição vertical de CSA, em camadas de solo de até 100 cm de profundidade, em um Latossolo Vermelho distroférico típico de Lavras, Minas Gerais.

4 MATERIAL E MÉTODOS

As informações referentes às características da área de estudo, aos métodos e técnicas de amostragem do solo, às análises químicas realizadas, à exceção do C lábil, e ao método de determinação do C orgânico são descritas no capítulo 2 desta tese.

4.1 Carbono solúvel em água

Para extração do CSA, foram realizados testes para definir o tempo e a quantidade de água suficiente para manter o solo na capacidade de campo. Sendo assim, foram definidas a quantidade de 10 g de solo e 5 mL de água

destilada, que foram acondicionados em tubos de centrifuga com fundo cônico, tipo falcon, de polipropileno, com capacidade para 50 mL, medindo 30 x 115 mm e acoplado com filtro interno de 45 µm de diâmetro de poro. A extração foi feita por um período de 72 horas, e os frascos permanecerem vedados, em repouso à temperatura ambiente, em local protegidos de luz e calor excessivo. A seguir, o resíduo foi separado do sobrenadante por centrifugação (10 min, a 9.000 rpm). Os extratos filtrados foram coletados e armazenados a 4°C, até serem, posteriormente, utilizados na quantificação do carbono em analisador de carbono Dohrman TOC - DC 190.

4.2 Análise Estatística

Os efeitos dos sistemas de uso do solo sobre os teores de CO e CSA e relação CSA/CO foram testados por meio de análise de variância (ANOVA). Analisaram-se os efeitos dos tratamentos em cada profundidade de solo, separadamente. Quando as variáveis foram estatisticamente diferentes, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando-se o aplicativo computacional SISVAR (Ferreira, 2000). Foram feitas análises de correlação de Pearson entre o CSA, CO, carbono lábil (CL), carbono da fração leve (CFL) e carbono da biomassa microbiana (CBM). Os dados utilizados referem-se à camada de 0-5 cm, para o CBM, e à de 0-10 cm, para os outros atributos. Os dados de CFL e CBM foram originados dos estudos de Rangel & Silva (2007). Para obtenção do CFL, os autores utilizaram procedimento analítico descrito em Sohi et al. (2001) e Machado (2002), enquanto que o CBM foi avaliado pelo método de fumigação-extração (Vance et al., 1987).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de CO nos diferentes sistemas de uso e manejo do solo são apresentados na Tabela 3. O CO foi afetado de modo significativo pelos sistemas de uso do solo, em todas as profundidades avaliadas, entretanto, os impactos do sistema de uso do solo sob os teores de CO variaram de acordo com cada profundidade estudada. Na camada de 0-10 cm, os teores de CO obedeceram a seguinte ordem decrescente: MTN > EUC ~ PIN > PAS, sendo o teor na MTN ($38,5 \text{ g kg}^{-1}$) 54% maior que o verificado na área de PAS ($25,0 \text{ g kg}^{-1}$). Em todas as profundidades de solos avaliadas, a partir de 40 cm, o maior teor de CO também foi observado no sistema MTN.

Esses resultados comprovam a hipótese de que, sob vegetação florestal natural, o teor de carbono é superior ao verificado em sistemas cultivados (Houghton et al., 1991; Nobre & Gash, 1997). Essa redução na quantidade de CO está associada a uma série de atividades que afetam as taxas de adição e decomposição da MOS (Zinn et al., 2005). Em sistemas cultivados, ocorre aumento da erosão do solo, aceleração dos processos envolvidos na mineralização da MOS, além de menores aportes no solo de materiais orgânicos, comparativamente às florestas nativas, de modo que, via de regra, as saídas suplantam a entrada de carbono nos solos cultivados (Houghton et al., 1991).

De modo geral, a tendência foi de decréscimo nos teores de CO nas camadas mais profundas do solo, em relação à superfície. Os teores de CO variaram entre os tratamentos de $38,5 \text{ g kg}^{-1}$ (MTN), na camada de 0-10 cm, a $10,4 \text{ g kg}^{-1}$ (EUC), na camada de 80-100 cm de profundidade. Essa variação, provavelmente, deve-se a maior deposição de resíduos em superfície, comparada com as taxas de entrada de CO em camadas subsuperficiais; além disso, os compostos orgânicos do solo são pouco solúveis, de modo que a mobilidade de radicais orgânicos no perfil de solo tende a ser limitada. Outro fato que afeta a

distribuição vertical de CO no solo é o associado à profundidade efetiva do sistema radicular, e as quantidades de materiais contendo CO exsudadas pelas raízes.

TABELA 1 Teores de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho distroférico típico submetido a diferentes sistemas de uso, em Lavras, Sul de Minas Gerais.

Profundidade (cm)	Uso do solo			
	Mata	Eucalipto	Pinus	Pastagem
	Teores de carbono, g kg ⁻¹			
0-10	38,5a	28,7b	28,5b	25,0c
10-20	26,33a	26,8a	25,0b	23,0c
20-40	21,5bc	23,2a	17,1d	20,5c
40-60	23,2a	11,5d	17,4b	16,9bc
60-80	20,6a	9,8d	13,5c	16,6b
80-100	16,4a	10,4d	13,6c	15,4ab

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os teores de CSA, nos diferentes sistemas de uso do solo, são apresentados na Tabela 4. Os sistemas de uso alteraram os teores de CSA significativamente nas camadas estudadas, até 40 cm de profundidade. As profundidades de 0-10 e 10-20 cm apresentaram o mesmo comportamento estatístico, com a seguinte ordem decrescente para os teores de CSA: MTN > PAS > EUC > PIN. Os maiores teores ocorreram no sistema MTN (601,7 e 191,6 mg kg⁻¹, para as camadas de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente), e os menores, no sistema PIN (61,8 e 42,9 mg kg⁻¹, 0-10 e 10-20 cm, respectivamente) (Tabela 4).

As percentagens de CSA, em relação ao CO, variaram de 0,2 a 1,56% entre os sistemas de uso, na camada de 0-10 cm, sendo os maiores valores encontrados para a MTN, e os menores, para os sistemas de EUC e PIN. Rosa et al. (2003) encontraram proporções CSA/CO de 0,09 a 0,23%, para os solos sob plantio direto e sob floresta nativa, respectivamente. Miranda et al. (2006), estudando a camada superficial de um Argissolo sob diferentes sistemas de uso, também encontrou os maiores valores de CSA para o sistema sob mata natural.

TABELA 2 Carbono solúvel em água de um Latossolo Vermelho distroférico típico submetido a diferentes sistemas de uso, no sul de Minas Gerais.

Profundidade (cm)	Uso do solo			
	Mata	Eucalipto	Pinus	Pastagem
	Teores de carbono, g kg ⁻¹			
0-10	38,5a	28,7b	28,5b	25,0c
10-20	26,33a	26,8a	25,0b	23,0c
20-40	21,5bc	23,2a	17,1d	20,5c
40-60	23,2a	11,5d	17,4b	16,9bc
60-80	20,6a	9,8d	13,5c	16,6b
80-100	16,4a	10,4d	13,6c	15,4ab

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Num ecossistema de mata, a fonte de substâncias orgânicas solúveis é a deposição natural de resíduos de plantas, que alcança o solo na forma de folhas, galhos e outros fragmentos orgânicos, bem como na forma de substâncias orgânicas oriundas da atividade microbiana e da decomposição e secreção de raízes. Assim, os maiores teores de CSA encontrados no solo sob floresta nativa

se devem, provavelmente, ao maior incremento e a qualidade das substâncias orgânicas presentes e exsudadas no ambiente natural (Pohlman & Mccoll, 1988), o que proporciona uma maior produção de moléculas diversificadas, como subproduto da atividade microbiana ou de processos de mineralização e decomposição da matéria orgânica ou de atividade das plantas e de suas raízes.

Para a camada de 20-40 cm, os teores de CSA, para a MTN e PAS, foram de 69,6 e 65,0 mg kg⁻¹, respectivamente, e não diferiram estatisticamente, entretanto, foram diferentes em relação aos demais sistemas. Esses resultados sugerem que os teores de CSA foram regulados pelo sistema de uso do solo, confirmando a hipótese de Chantigny (2003) de que, em longo prazo, o tipo de vegetação e a quantidade de resíduos orgânicos são os principais fatores que influenciam a quantidade e composição do CSA.

Para todas as camadas de solo, a partir de 40 cm profundidade, o sistema de uso do solo não exerceu efeito significativo sobre o CSA. Dou et al. (2007), estudando a distribuição de CSA no perfil do solo até 105 cm de profundidade, em sistemas de cultura de sorgo e soja, também verificaram pouca diferença no CSA entre os sistemas de culturas para as camadas abaixo de 30 cm de profundidade.

Embora não tenha sido realizada análise estatística, comparada a diferença entre as camadas dentro de cada sistema de uso, nota-se uma tendência de decréscimo acentuado dos valores de CSA à medida que se aumenta a profundidade do solo, o que está de acordo com os resultados observados por Ciotta et al. (2004). Entre os sistemas de uso do solo, os teores de CSA variaram entre 601,7 mg kg⁻¹, na camada de 0-10 cm, e 3,8 mg kg⁻¹, o que representa 1,56 e 0,04 % do carbono do solo nas camadas 0-10 e 80-100 cm de profundidade, respectivamente. Esses resultados estão de acordo aos observados por Dou et al. (2007), que verificaram, nos sistemas com maior aporte de resíduos vegetais, maiores teores de CSA na camada de 0-10 cm, ocorrendo decréscimo

significativo em camadas mais profundas que essa. Os autores encontraram uma média, entre os tratamentos estudados, de 219 mg kg⁻¹ de CSA (0-5 cm) e 58 mg kg⁻¹ de CSA a (80-105 cm).

As médias observadas neste estudo foram superiores aos dados encontrados na literatura, o que pode ser explicado pelo fato de que os solos tropicais têm, relativamente, uma maior proporção de matéria orgânica lábil e, além disso, esse compartimento do CO é mais afetado pela retirada da vegetação nativa (Tiessen et al., 1994). Esse comportamento pode ser atribuído às taxas mais altas de decomposição da MOS e, por conseguinte, a maior atividade microbiana em regiões de clima tropical.

As fontes potenciais de CSA em solo são a serrapilheira e os compartimentos da MOS (Kalbitz et al., 2000), como por exemplo, a biomassa microbiana e as raízes (Oliveira Junior et al., 2008). Os resíduos vegetais, raízes e exsudatos favorecem o desenvolvimento de uma população microbiana diversificada e a solubilização de compostos que contêm CO (Kanchikerimath & Singh, 2001). A ocorrência de uma população microbiana diversificada, associada a uma maior decomposição dos resíduos depositados em superfície do solo pode explicar os teores mais altos de CSA, encontrados na camada superficial em todos os sistemas de uso estudados. Entretanto, o CSA encontrado nas camadas mais profundas pode ser resultado tanto da translocação de carbono da superfície do solo, como da deposição através das raízes e seus exsudados.

Miranda et al. (2006), também verificaram ligeira redução do CSA em profundidade nos solos sob mata natural, pastagem e sem cobertura vegetal. Entretanto, resultados contrastantes foram encontrados no solo sob cafeeiro, onde houve ligeira elevação de carbono solúvel em profundidade, o que foi justificado, pelos autores, como uma possível translocação dessa forma de carbono para camadas mais profundas.

O CSA reflete o estágio inicial da degradação dos resíduos orgânicos incorporados ao solo, em que materiais insolúveis sofrem hidrólise, dando origem a compostos intermediários solúveis em água, como aminoácidos, mono e dissacarídeos, entre outros (Souza & Mello, 2003). Os baixos teores de CSA encontrados neste estudo para as camadas mais profundas do solo podem ter ocorrido, também, devido a dificuldade no ataque inicial de frações orgânicas por parte das enzimas produzidas pelos microrganismos (Portugal et al., 2008), ou à baixa atividade microbiana muito comum em camadas de subsolo. Entretanto, os mecanismos que operam em profundidade na decomposição dos materiais orgânicos ainda não foram completamente elucidados.

Na Figura 1 são apresentados os aumentos e reduções percentuais nos teores de diferentes frações de carbono das amostras coletadas nos diferentes sistemas de uso do solo, na camada de 0-10 cm. Os atributos do solo na área de mata foram utilizados como referência. As maiores alterações entre os atributos considerados ocorreram para o CSA, comparativamente às alterações no CL, CO e CNL. Esses resultados corroboram com os encontrados por Portugal et al. (2008), que afirmaram ser o CSA uma fração da MOS mais sensível a mudança no uso e manejo do solo, do que o CO, mostrando ser um importante compartimento a ser avaliado nos estudos que investigam o impacto de diferentes sistemas de uso do solo sobre a MOS.

Os resultados encontrados neste estudo apontam para o CSA como um indicador mais sensível para identificar alterações na MOS, antes mesmo que teores de CO presentes em compartimentos mais estáveis da MOS, e mesmo que outras formas lábeis, sejam alterados de maneira significativa. Assim, pode-se afirmar que o CSA poderia ser usado como indicador imediato para se avaliar as mudanças na MOS, em estudos que avaliam o impacto de diferentes sistemas de uso do solo. Além disso, esse fato é de grande relevância, devido a grande praticidade e rapidez na metodologia de determinação do CSA,

comparativamente determinação de outros compartimentos do CO citados na Figura 1

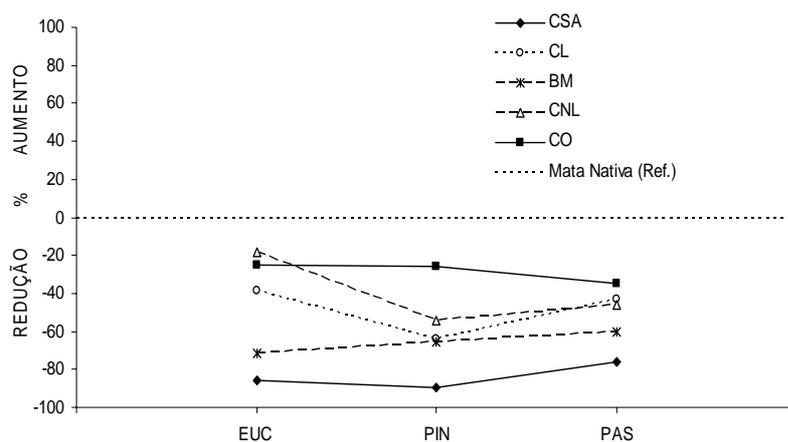


FIGURA 1 Atributos de Latossolo Vermelho distroférico típico nos sistemas eucalipto (EUC), pinus (PIN), pastagem (PAS). CSA: carbono solúvel em água; CL: carbono lábil; BM: biomassa microbiana; CNL: carbono não-lábil; CO: carbono orgânico total do solo.

Os coeficientes de correlação de Pearson entre o CO e os seus teores em compartimentos da matéria orgânica podem ser verificados na Tabela 5. A correlação ($r = 0,88$) positiva e significativa ($p < 0,05$) entre o CO e o CSA comprova o fato de que o aumento do CSA está diretamente ligado ao incremento no teor total de carbono do solo (Ciotta et al., 2004). Os estudos desenvolvidos por Miranda et al. (2006), também, encontraram correlação positiva e significativa entre o CSA e o CO.

TABELA 5 Coeficientes de correlação de Pearson entre compartimentos da matéria orgânica do solo.

Atributo	CO	CSA	C _{FL}	C _{mic}
CSA	0,91**			
C _{FL}	0,99***	0,90**		
C _{mic}	0,99***	0,94**	0,98***	
C _L	0,83***	0,94**	0,90*	0,91**

*, ** e ***: Significativos a 5%, 1% e 0,1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente. CSA: carbono solúvel em água, CFL: carbono associado à fração leve; C_{mic}: carbono da biomassa microbiana do solo; CL: carbono lábil. Dados de C_{mic} e CFL obtidos em Rangel e Silva (2007), em estudo realizado nos mesmos sistemas de uso do solo.

Os microrganismos, a fração leve e as formas de carbono solúveis em água são considerados componentes do carbono lábil do solo (Leite et al., 2004), de modo que se espera encontrar correlações positivas entre esses compartimentos. Com essas perspectivas, foi notado que o CSA também apresentou correlação positiva e significativa com o CFL e o C_{mic} ($r = 0,90$ e $0,94$, respectivamente, com $p < 0,05$), o que pode ser explicado pelo fato de que as fontes potenciais de CSA são a serrapilheira e os compartimentos da MOS (Kalbitz et al., 2000), como por exemplo, a biomassa microbiana e as raízes (Oliveira Junior et al., 2008).

A correlação positiva ($p < 0,01$) entre o CSA e o CL ($0,83$) é suportada pela afirmação de que o CSA é uma forma de CL (Don & Kalbitz, 2005; Silva & Mendonça, 2007), fato que é de grande importância, uma vez que as frações lábeis de carbono respondem mais rapidamente às mudanças ambientais (Khanna et al., 2001) e são indicadoras sensíveis da qualidade da MOS (Silveira et al., 2008).

6 CONCLUSÕES

Os teores de carbono solúvel em água foram influenciados pelos sistemas de uso do solo, obedecendo a seguinte ordem para a camada superficial de solo (0-10 cm): mata > pastagem > eucalipto > pinus;

Os usos do solo alteraram os teores de carbono solúvel em água significativamente em camadas de solo de até 40 cm de profundidade;

Em todos os sistemas de uso, o carbono solúvel em água decresceu à medida que se aumentou a profundidade do solo. Entre os usos, a maior variação ocorreu em solo sob mata, onde, na camada superficial, o teor de carbono solúvel em água foi cerca 70 vezes maior do que o observado na camada de solo de 80-100 cm.

Houve uma correlação positiva entre o carbono solúvel em água e o carbono orgânico total, bem como, com o carbono lábil, carbono da biomassa microbiana e carbono da fração leve;

Pode-se apontar o carbono solúvel em água como um indicador mais sensível para identificar alterações na matéria orgânica do solo, uma vez que nos solos sob diferentes usos, as maiores variações ocorreram para este compartimento, comparativamente às alterações verificadas para o carbono orgânico total e para as outras frações da matéria orgânica do solo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHANTIGNY, M. H. Dissolved and water-extractable organic matter in soil: a review on the influence of land and use and management practice. **Geoderma**, Amsterdam, v. 113, n. 3/4, p. 357-380, May 2003.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C.; ALBUQUERQUE, J. A. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo Bruno em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 317-326, abr. 2004.

DON A.; KALBITZ, K. Amounts and degradability of dissolved organic carbon from foliar litter at different decomposition stages. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 37, n. 3/4, p. 2171-2179, Oct. 2005.

DOU, F.; WRIGTH, A. L.; HONS, F. M. Depth distribution of soil organic C and N after long-term soybean cropping in Texas. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, n. 2, p. 530-536, June 2007.

ELLERBROCK, R. H.; KAISER, M. Stability and composition of different soluble soil organic matter fractions: evidence from $d^{13}C$ and FTIR signature. **Geoderma**, Amsterdam, v. 128, n. 1/2, p. 28-37, Sept. 2005.

EUSTERHUES, K.; RUMPEL, C.; KÖGEL-KNABNER, I. Stabilization of soil organic matter isolated by oxidative degradation. **Organic Geochemistry**, Oxford, v. 36, n. 11, p. 1567-1575, Nov. 2005.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FONTAINE, S.; BAROT, S.; BARRÉ, P.; DSIOUI, N.; MARY, B.; RUMPEL, C. Stability of carbon in depth soil layers controlled by fresh carbon supply. **Nature**, London, v. 450, n. 7167, p. 277-281, Nov. 2007.

HOUGHTON, R. A.; SKOLE, D. L.; LEFKOWITZ, D. S. Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985: II net release of CO_2 to the atmosphere. **Forest Ecology Management**, Amsterdam, v. 38, n. 3/4, p. 173-199, Feb. 1991.

JANZEN, H. H. The soil carbon dilemma: shall we hoard it or use it? **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 38, n. 3, p. 419-424, Mar. 2006.

KALBITZ, K.; SOLINGER, S.; PARK, J. F.; MICHALZIK, B.; MATZNER, E. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 165, n. 4, p. 277-304, Apr. 2000.

KANCHIKERIMATH, M.; SINGH, D. Soil organic matter and biological properties after 26 year of maize-wheat-cowpea cropping as affected by manure and fertilization in a Cambissol in semiarid region of India. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 86, n. 2, p. 155-162, June 2001.

KHANNA, P. K.; LUDWIG, B.; BAUHUS, J.; O'HARA, C. Assessment and significance of labile organic C pools in forest soils. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLET, R. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Assesment methods for soil carbon**. Boca Raton: Lewis, 2001. p. 167-182.

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, MG, v. 27, n. 5, p. 821-832, out. 2003.

LU, Y.; WATANABE, A.; KIMURA, M. Carbon dynamics of rhizodeposits, roots and shoot-residues in a rice soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 35, n. 9, p. 1223-1230, Sept. 2003.

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. (Comunicado técnico, 9).

MIRANDA, J.; COSTA, L. M.; RUIZ, H. A.; EINLOFT, R. Composição química da solução do solo sob diferentes coberturas vegetais e análise de carbono orgânico solúvel no deflúvio de pequenos cursos de água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 4, p. 633-647, ago. 2006.

NOBRE, C. A.; GASH, J. Desmatamento muda clima da Amazônia. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 128, p. 33-42, 1997.

O'BRIEN, N. D.; ATTIWILL, P. M.; WESTON, C. J. Stability of soil organic matter in *Eucalyptus regnas* forests and *pinus radiate* plantations in south eastern Australia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 185, n. 3, p. 249-261, Nov. 2003.

OLIVEIRA JUNIOR, A. C.; SILVA, C. A.; CURI, N.; LIMA, J. M.; RANGEL, O. P. Formas e quantidades de carbono em lixiviados de Latossolos Vermelhos sob influência de calcário e fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 3, p. 1261-1271, jun. 2008.

POHLMAN, A. A.; MCCOLL, J. G. Soluble organic from forest litter and their role in metal dissolution. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, n. 1, p. 265-271, Jan. 1988.

PORTUGAL, A. F.; JUCKSCH, I.; SCHAEFER, C. E. G. R.; WENDLING, B. A. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 2091-2100, out. 2008.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1609-1623, dez. 2007.

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

RUMPEL, C.; KÖGEL-KNABNER, I.; BRUHN, F. Vertical distribution, age, and chemical composition of organic carbon in two forest soils of different pedogenes. **Organic Geochemistry**, Oxford, v. 33, n. 10, p. 1131-1142, Oct. 2002.

SCHMIDT, M. W. I.; KÖGEL-KNABNER, I. Organic matter particle-size fraction from A and B horizons of a Haplic Alisol. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 53, n. 3, p. 383-391, Sept. 2002.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-375.

SILVEIRA, M. L.; COMERFORD, N. B.; REDDY, K. R.; COOPER, W. T.; EL-RIFAI, H. Characterization of soil organic carbon pools by acid hydrolysis. **Geoderma**, Amsterdam, v. 144, n. 1/2, p. 405-414, Mar. 2008.

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

SOUZA, W. J. O.; MELLO, W. J. Matéria orgânica em um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 1113-1122, dez. 2003.

SPIELVOGEL, S.; PRIETZEL, J.; KÖGEL-KNABNER, I. Soil organic matter stabilization in acidic forest soil is preferential and soil type-specific. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 59, n. 4, p. 674-692, Aug. 2008.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry**: genesis, composition, reaction. 2. ed. New York: J. Wiley, 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.; UEHARA, G. (Ed.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Hawaii: NifTAL Projects, 1989. p. 5-32.

TIESSEN, H.; CUEVAS, E.; CHACON, P. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. **Nature**, London, v. 371, n. 27, p. 783-785, Oct. 2002.

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

XIANG, S. R.; DOYLE, A.; HODEN, P. A.; SCHIMEL, J. P. Drying and rewetting effect on C and N mineralization and microbial activity in surface and subsurface California Grassland Soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 40, n. 9, p. 2281-2289, Sept. 2008.

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

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 84, n. 1, p. 28-40, Nov. 2005.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os impactos do sistema de uso do solo sobre o estoque de carbono (CO) e nitrogênio total (NT) variaram de acordo com as profundidades de solo avaliadas. Para a maioria das camadas de solo analisadas, os maiores estoques de CO foram observados na área sob mata nativa. Os resultados deste estudo comprovam a hipótese de que, sob sistema natural, o conteúdo de carbono em solo é superior aos verificados em sistemas cultivados. Verificou-se também que as quantidades de CO armazenadas em camadas mais profundas do solo são significativas, uma vez que, considerando todos os sistemas de uso avaliados neste estudo, o CO armazenado na camada de 40-100 cm representa de 37 a 53% do CO do total armazenado de a 0-100 cm. Esses resultados representam considerável impacto no balanço de carbono do solo e aponta para uma alternativa no sentido de aumentar a precisão na contabilização do carbono armazenado em subsolo. Assim, para uma estimativa mais precisa, em estudos que avaliam diferentes sistemas de uso do solo, é importante considerar o C estocado em camadas mais profundas de solo, a fim de se identificar com exatidão os sistemas capazes de preservar e, ou, aumentar os estoques de CO do solo.

Além das quantidades de C e N, é de fundamental importância avaliar a qualidade da matéria orgânica armazenada no solo, de modo que, nesse estudo, avaliaram-se a distribuição até 1 m de profundidade do carbono lábil e do carbono solúvel em água, nos diferentes sistemas de uso do solo. Para o carbono lábil (CL), verificou-se que o sistema de uso do solo exerceu influência sobre o compartimento lábil do carbono orgânico, tanto em camadas superficiais como no subsolo. Os teores de CL foram, em geral, maiores no sistema de mata, em todas as camadas de solo estudadas, com exceção da camada 10-20 cm, onde há mais frações lábeis de carbono na área sob cultivo de eucalipto. Esse fato aponta

para a necessidade de se conhecer a qualidade do material orgânico armazenado em profundidade para a tomada de decisões relacionada ao uso e manejo do solo. Os teores de carbono lábil são maiores em superfície, verificando-se uma tendência ao decréscimo à medida que se aprofunda no perfil do Latossolo. Através dos resultados deste estudo, verifica-se também que o compartimento lábil, em relação ao carbono orgânico, é mais sensível às alterações provocadas pelo uso do solo, em função da amplitude da faixa de variação desse atributo, o qual apresentou maior potencial que o carbono orgânico e carbono não lábil em avaliar o impacto de diferentes sistemas de uso do solo sobre as transformações e dinâmica da matéria orgânica. Os índices de manejo de carbono, de modo geral, indicaram impacto negativo dos sistemas de uso sobre os teores de matéria orgânica e qualidade do solo, tendo como referência a área sob vegetação natural (mata nativa).

Os teores de carbono solúvel em água (CSA) foram influenciados pelos sistemas de uso do solo, obedecendo a seguinte ordem para a camada superficial (0-10 cm): MTN > PAS > EUC > PIN. Os sistemas de uso alteraram os teores de CSA significativamente nas camadas estudadas, até 40 cm de profundidade, entretanto, para as camadas a partir dessa profundidade, o uso não exerceu efeito significativo sobre o CSA. Os resultados desse estudo comprovaram que ocorre um decréscimo nos teores de CSA à medida que aumenta a profundidade do solo. Pode-se também verificar que existe uma correlação positiva entre o CSA e o CO, bem como, com o CL, CBM e CFL, suportando a hipótese de que o CSA, bem como as outras frações, está relacionado com os teores de CO e, além disso, é componente e, ao mesmo tempo, reflete o aproveitamento pela comunidade microbiana das frações mais lábeis do carbono. Os resultados apontam o CSA como um indicador mais sensível para identificar alterações na MOS, uma vez que as maiores alterações, nos sistemas de uso avaliados, ocorreram para o CSA, comparativamente às alterações verificadas para o CO e para as outras frações.

A determinação dos teores de CSA exerce grande importância para as tomadas de decisões relacionadas ao uso e manejo do solo, uma vez que o CSA é o compartimento lábil da matéria orgânica que mais é influenciado pela retirada de vegetação nativa e pelas operações de cultivo do solo. Além disso, algumas frações do CSA desempenham papéis importantes em diversos processos no solo, como transporte de nutrientes, complexação de elementos químicos tóxicos, auxilia na mobilidade de cátions no perfil do solo, regula o crescimento e a atividade de raízes, atua na solubilização de fertilizantes e minora os processos de fixação de P.