

DISTRIBUIÇÃO DE FRAÇÕES ORGÂNICAS E CONTEÚDO DE C E
N EM SOLOS SOB EUCALIPTO DE DIFERENTES IDADES E
SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE CACAU

PATRÍCIA ANJOS BITTENCOURT BARRETO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO - UENF
CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
JULHO – 2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

DISTRIBUIÇÃO DE FRAÇÕES ORGÂNICAS E CONTEÚDO DE C E
N EM SOLOS SOB EUCALIPTO DE DIFERENTES IDADES E
SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE CACAU

PATRÍCIA ANJOS BITTENCOURT BARRETO

Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientadora: Prof^a Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
JULHO – 2009

DISTRIBUIÇÃO DE FRAÇÕES ORGÂNICAS E CONTEÚDO DE C E
N EM SOLOS SOB EUCALIPTO DE DIFERENTES IDADES E
SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE CACAU

PATRÍCIA ANJOS BITTENCOURT BARRETO

Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Aprovada em 16 de julho de 2009.

Comissão Examinadora:

Prof. José Carlos Polidoro (D.Sc., Ciência do Solo) – EMBRAPA Solos

Prof. Antonio Carlos da Gama-Rodrigues (D.Sc., Ciência do Solo) - UENF

Prof^a Leda Mathias (D.Sc., Química Prod. Naturais) - UENF

Prof^a Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues (Ph.D., Ciência do Solo) - UENF
Orientadora

Eu sou aquela mulher
a quem o tempo muito ensinou.
Ensinou a amar a vida.
Não desistir da luta.
Recomeçar na derrota.
Renunciar a palavras e pensamentos negativos.
Acreditar nos valores humanos.
Ser otimista.

Creio numa força imanente
que vai ligando a família humana
numa corrente luminosa
de fraternidade universal.
Creio na solidariedade humana.
Creio na superação dos erros
e angústias do presente.

Acredito nos moços.
Exalto sua confiança,
generosidade e idealismo.
Creio nos milagres da ciência
e na descoberta de uma profilaxia
futura dos erros e violências do presente.
Aprendi que mais vale lutar
do que recolher dinheiro fácil.
Antes acreditar do que duvidar.

(Cora Coralina, em Vintém de Cobre –
Meias Confissões de Aninha, p. 156, 8ªed.1996)

A Deus,
que rege o universo e todas as coisas,
pela certeza de que o Senhor estás comigo sempre.

AGRADEÇO

Com amor DEDICO e OFEREÇO

Aos meus pais, Maria Rosa e Hildebrando (*In memoriam*),
mulher e homem inigualáveis, por todo amor e por me
oferecerem como herança um maravilhoso bem:
um grande espírito de luta;

A Francisco, meu grande amor e companheiro,
por todo amor, incentivo e, sobretudo, pelo presente
mais precioso que já recebi, nossos filhos;

A Hanna e Airam, minha filha e meu filho,
luzes na minha vida, que me fazem rever conceitos
e dão mais firmeza aos meus passos;

À minha 2ª mãe, Conceição, por seu amor, carinho e
dedicação;

Aos meus queridos irmãos: Wilson, Barretinho, Tília, Rita,
Kleber e Graça (*In memoriam*), pela certeza do amor imenso
de cada um e por todo incentivo;

Aos meus sobrinhos: Wilson Júnior, Grazy, Neto,
Marcinho, João Marcos e João Maurício, para que sirva de
motivação no próspero futuro que desejo a cada um.

AGRADECIMENTOS

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, o meu carinho e reconhecimento. Em especial agradeço:

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, pela oportunidade de realização desse curso e bolsa de estudo concedida (UENF-FAPERJ);

A Aracruz Celulose Ltda., pela oportunidade de realização deste trabalho;

À professora Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues, pela orientação criteriosa e pelo dom de motivar. Deixo registrado o meu carinho e admiração;

Ao prof. Nairam Félix de Barros, pelo exemplo de profissional que representa, pelo incentivo, sugestões valiosas e apoio;

Ao prof. Antonio Carlos da Gama-Rodrigues pela inestimável contribuição em cada um dos trabalhos que compõem esta tese;

Ao Engenheiro Florestal Sebastião Fonseca, pela disponibilidade e sugestões na etapa de campo;

Ao pesquisador José Carlos Polidoro, pela atenção, disponibilidade e valiosas sugestões;

À técnica do laboratório de Solos, Kátia Regina, pela importante contribuição na etapa de laboratório e por todo carinho e amizade;

Ao colega Alexandre Fontes, pela disponibilização imediata de parte de suas amostras de solos, que acabaram sendo incorporadas em um dos estudos deste trabalho;

À amiga Maria Kellen, pela amizade, carinho e por ter se tornado a melhor procuradora que eu poderia ter no período que estive distante de Campos, minha eterna gratidão;

Ao casal de amigos: Thaís e Marlon, pelo privilégio de ter carinho e amizade em dose dupla e, além disso, pela bela estória de vida que temos em comum. Em especial a amiga Thaís, por ter se tornado minha irmã do coração e pelo forte laço afetivo que nos une e que vem ultrapassando distâncias;

Às cunhadas Jurene e Ana Cláudia, pela amizade, carinho e torcida;

Ao meu sogro e sogra, Arildo e Maria Flávia, e às minhas cunhadas Diana e Ramaiana, por todo carinho e incentivo;

Ao querido amigo João Paulo pela amizade, extrema paciência e apoio especial nos “abstracts”. Serei sempre grata!;

A Marcos Ferreira, Superintendente de Políticas Florestais, Biodiversidade e Conservação; por toda compreensão e incentivo durante a finalização desta etapa da minha formação;

A Zilda, por ter surgido na minha vida em um momento tão oportuno e por cuidar dos meus filhos com zelo e carinho;

A todos os colegas do laboratório de Solos, pelo agradável convívio e momentos de descontração.

Nesse momento, estes agradecimentos têm um significado ainda maior que o meu carinho e reconhecimento a todos que contribuíram para a realização deste trabalho, significam a concretização de algo que almejei desde os meus tempos de graduação, o reconhecimento da minha dedicação e a sensação do dever cumprido.

BIOGRAFIA DA AUTORA

Nascida em 27 de julho de 1975, na cidade de Jequié (BA), filha de Hildebrando Bittencourt Barreto e Maria Rosa dos Anjos Barreto. Em 1997 ingressou no curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (MG), tendo então se iniciado no mundo da pesquisa sob a orientação do prof. Nairam Félix de Barros. Ao terminar a graduação (maio de 2002), ingressou no curso de Mestrado em Produção Vegetal (Solos e Nutrição de Plantas) na Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos (RJ). Em agosto de 2004 concluiu o Mestrado, ingressando, em seguida, no Doutorado. Em 2008, antes de concluir o Doutorado, começou a trabalhar na Superintendência de Políticas Florestais, Biodiversidade e Conservação (SFC) da Secretaria de Meio Ambiente do Estado da Bahia (SEMA-BA), onde atua até o presente momento.

SUMÁRIO

RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
3. REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1. Sistemas florestais de produção	5
3.2. Sistemas agrolflorestais.....	6
3.3. Matéria orgânica do solo.....	7
3.4. C orgânico e sua relação com a qualidade do solo	9
3.5. C orgânico e outros indicadores de qualidade do solo	10
3.6. Fracionamento da matéria orgânica do solo	12
3.6.1. Fracionamento físico da matéria orgânica.....	13
3.6.2. Fracionamento do C orgânico baseado no grau de oxidação	16
4. ARTIGOS	18
4.1. Conteúdos de C e N e distribuição de frações orgânicas em solos sob plantações de Eucalipto, em uma seqüência de Idades	19
Resumo	19
Abstract.....	20

Introdução.....	20
Material e Métodos	23
Resultados e Discussão	26
Conclusões	31
Literatura citada	31
4.2. Distribuição de frações oxidáveis do C orgânico de solos sob plantações de Eucalipto, em uma seqüência de Idades	36
Resumo	36
Abstract.....	37
Introdução.....	38
Material e Métodos	40
Resultados e Discussão	43
Conclusões	46
Literatura citada	46
4.3. Distribuição de frações oxidáveis do C orgânico de solos sob sistemas agroflorestais de cacau no Sul da Bahia	50
Resumo	50
Abstract.....	51
Introdução.....	52
Material e Métodos	54
Resultados e Discussão	57
Conclusões	62
Literatura citada	62
5. RESUMOS E CONCLUSÕES.....	67
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

RESUMO

BARRETO, Patrícia Anjos Bittencourt, D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Julho de 2009. Distribuição de frações orgânicas e estoques de C e N de solos sob eucalipto e de solos sob sistemas agroflorestais. Orientadora: Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues. Conselheiros: Antonio Carlos da Gama-Rodrigues; Nairam Félix de Barros.

O aporte contínuo de material vegetal senescente proporciona aumento ou manutenção do C orgânico do solo que pode se acumular em frações lábeis ou estáveis da matéria orgânica do solo, o que expressa diferenças na sua qualidade, e, portanto, na permanência do C no solo. Neste trabalho foram realizados três estudos que tiveram como objetivos avaliar a distribuição de frações orgânicas da matéria orgânica e de frações oxidáveis do C orgânico de solos sob plantações de eucalipto com diferentes idades de cultivo (1, 3, 5 e 13 anos) e de solos com diferentes texturas sob sistemas agroflorestais (SAFs) de cacau. Nas áreas de eucalipto as amostras de solo foram coletadas da camada 0-10 cm e nas áreas de SAFs das camadas 0-5, 5-15, 15-30 e 30-50 cm. As frações orgânicas foram obtidas através do método de fracionamento físico, pelo qual se obteve as frações leves (leve livre e leve intra-agregado) e pesadas (argila, silte e areia) e do método químico de fracionamento do C baseado na sua suscetibilidade a oxidação, que separa o C em frações de maior ou menor labilidade (Fração 1: lábil; Fração 2: moderadamente lábil; Fração 3: pouco lábil; Fração 4: recalcitrante). Os teores de C da FLL e FLI foram menores na idade de 1 ano. A contribuição do C da fração argila para o COT tendeu a aumentar com a idade, o que sugere um acréscimo das formas mais estáveis de C ao longo do ciclo do eucalipto. Nos solos sob eucalipto verificou-se que os maiores acúmulos

de C oxidável foram observados na fração lábil (F_1), que representou 65% do C orgânico total do solo (COT) na idade de 1 ano e, em média, 52% do COT nas demais idades. As frações F_3 e F_4 em conjunto representaram 15% do COT na idade de 1 ano e cerca de 30% do COT nas demais idades. Houve influência da idade do eucalipto na distribuição das frações orgânicas. A fração de C lábil predominou no estoque de C orgânico dos solos. O estoque de C orgânico do solo está associado à qualidade de compostos orgânicos da serapilheira. Nas áreas de SAFs, houve diferenças significativas das frações 1, 2 e 4 entre os dois solos, mas a maioria das diferenças em todas as profundidades foi encontrada na fração 1 (F_1). Houve influência da textura e profundidade do solo nos estoques de C e N e na distribuição das frações oxidáveis. O C orgânico dos solos se apresentou predominantemente na forma de C mais lábil.

ABSTRACT

BARRETO, Patrícia Anjos Bittencourt, D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. July 2009. Distribution of organic fractions and carbon and nitrogen contents in soil under eucalyptus plantations in an age sequence. Adviser: Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues. Counselors: Antonio Carlos da Gama-Rodrigues; Nairam Félix de Barros.

The even deposition of vegetable residues makes a constant supply of accumulating and sustaining organic C in stable fractions of soil; that means there must be difference among fractions' quality, and carbon maintenance on soil. In this study three analyses were carried out in order to evaluate distribution of organic fractions from organic matter and also distribution of oxidizable organic C fractions in soils under eucalyptus plantations in different cultivating ages (1, 3, 5, and 13 years old cultures) and in soils with different texture under cacao agroforestry systems. In areas under eucalyptus samples were collected from 0-10 cm deep layer and in those under AFS samples came from 0-5, 5-15, 15-30, and 30-50cm layers. Organic fractions eucalyptus plantations under 1, 3, 5, and 13 years old. Organic matter fractionation was taken through physical method, which provided differentiation between light fractions (free light fraction-FLL and intra-aggregate light fraction-FLI) and heavy fractions (clay, sand and silt); soil organic carbon was fractionated according to its susceptibility to oxidation, obtaining higher or lower lability forms of carbon fractions (fraction 1: labile fraction; fraction 2: moderate labile fraction; fraction 3: low labile fraction and fraction 4: recalcitrant fraction). The lowest values for C in FLL and FLI were found in 1 year old cultivation. Contribution of C in clay fraction for total organic carbon (TOC) was higher with aging, suggesting increase of more stable forms of carbon along

eucalyptus cycle. In soils under eucalypt plantations we verified greater accumulation of organic oxidizable C in most labile fraction (F_1), which represented 65% of total organic C in soil 1 year old aged, and around 52% of TOC in other ages. The sum of fractions F_3 and F_4 represented approximately 15% of TOC in one year old age plantations and about 30% of TOC for other ages. The distribution of organic matter fractions were significantly different among ages. Organic C in soils was mostly found in higher lability fraction, in all depths. Amount of organic C in soil is associated to quality of organic compounds in litter. In areas under cacao AFS significant differences were found among fractions 1, 2, and 4, and between both types of soils, but most significant differences in all depths were found in fraction 1 (F_1). Texture of the soil and depth showed relevant influence on amounts of total N and total C and on oxidizable organic C distribution among fractions. Organic C in soils was mostly found in most labile form.

1. INTRODUÇÃO

O maior reservatório de C da superfície terrestre está na matéria orgânica do solo (MOS). A redução nos seus estoques constitui um dos principais fatores responsáveis pela emissão do gás carbônico para a atmosfera (Fitzsimmons et al., 2003). Estima-se que a quantidade de C armazenada nos solos seja duas vezes maior que a quantidade presente na atmosfera e na biomassa vegetal (Bruce et al., 1999; Swift, 2001), na faixa de 1.200 a 1.500 Pg (1 Pg = 10^{15} g = 1 bilhão de toneladas) (Anderson, 1995), sendo que quase um terço desse carbono é constituído de formas lábeis com altas taxas de ciclagem (Schimel, 1995).

O C orgânico do solo tem grande influência em praticamente todos os processos edáficos, da agregação ao suprimento de nutrientes para as plantas (Zinn et al., 2002, Stevenson, 1985, Reeves, 1997; Bayer e Mielniczuk, 1999), sendo de fundamental importância na manutenção da sustentabilidade, especialmente em solos tropicais, onde geralmente são encontradas condições químicas restritivas e baixa atividade da fração mineral (Nambiar, 1996; Zinn et al., 2002). O carbono participa do armazenamento e ciclagem de nutrientes, atua sobre a infiltração e armazenamento de água, formação e estabilidade de agregados (Reeves, 1997; Bayer e Mielniczuk, 1999), capacidade de troca de cátions (Bayer e Mielniczuk, 1999, 1997; Reeves, 1997; Longo & Espíndola, 2000), atividade microbiana e fauna do solo (Marin, 2002; Bayer & Mielniczuk, 1999, 1997).

A conservação do C orgânico do solo, além de representar um fator decisivo para a sustentabilidade de sistemas de uso da terra nos trópicos, também representa um caminho eficiente para a redução da emissão de CO₂

através da agricultura, e mesmo para absorver excessos atmosféricos antropogênicos deste gás (Lal, 2001). Existem evidências de que práticas conservacionistas, pastagens bem manejadas, florestas plantadas e sistemas agroflorestais, podem reduzir drasticamente as perdas de carbono, mantendo-se os níveis de matéria orgânica do solo (MOS) ou até mesmo aumentando-os (Freixo et al., 2002a; Siqueira Neto, 2003; D'Andréa et al., 2004; Barreto et al., 2006; Fontes, 2006). Assim, enquanto sistemas convencionais, com intenso revolvimento do solo, atuam como uma fonte de C para atmosfera, as florestas plantadas e os sistemas agroflorestais, pela manutenção dos resíduos no solo, atuam mais como um dreno de C atmosférico, o que pode representar uma importante contribuição para atenuar a concentração de dióxido de C na atmosfera e nas mudanças climáticas globais.

A redução dos estoques de C orgânico do solo ocorre em virtude não só da maior exposição das frações orgânicas aos microrganismos decompositores, principalmente em sistemas de manejo convencionais onde há constante revolvimento do solo (Silva et al., 1999; Tiessen et al., 1992; Parfitt et al., 1997), mas também do menor aporte de C e N nas áreas cultivadas, em relação à floresta (Silva et al., 1999), e da combinação entre alta temperatura e umidade nas regiões tropicais (Castro Filho et al., 1991).

Além da redução da quantidade de C orgânico, também podem ser verificadas alterações na sua qualidade, notadamente no grau de labilidade do C (Blair et al., 1995; Shang & Tiessen, 1997). O C pode acumular em frações lábeis ou estáveis da matéria orgânica do solo, o que expressa diferenças na sua qualidade, e, portanto, na permanência do C no solo (Bayer et al., 2004).

Diversas técnicas de fracionamento físico e químico têm sido utilizadas para separar e isolar frações da matéria orgânica e quantificar o C e N orgânico presente nos diferentes compartimentos. Os métodos de fracionamento físico vêm sendo amplamente utilizados em estudos de matéria orgânica do solo (MOS) (Feller e Beare, 1997; Christensen, 1992; 2000; Silva et al., 1999; Freitas et al., 2000; Freixo et al., 2002a e 2002b; Leite et al., 2003; Souza et al., 2006; Rangel et al., 2007; Rangel & Silva, 2007; Macedo et al., 2008). Da mesma forma, dentre os métodos químicos, o fracionamento do C baseando-se na sua suscetibilidade à oxidação também tem sido utilizado para verificar mudanças na qualidade da matéria orgânica e identificar em quais frações o C está acumulado no solo (Blair

et al., 1995; Shang & Tiessen, 1997; Blair et al., 1998; Blair, 2000; Chan et al., 2001; Chan et al., 2002; Rangel et al., 2008), embora sejam mais utilizados métodos baseados na solubilidade do material orgânico em meio ácido ou alcalino (Kononova, 1966; Stevenson & Elliot, 1989).

Estudos a respeito da distribuição de frações do C orgânico em solos sob plantações de eucalipto de diferentes idades podem fornecer subsídios importantes para avaliação da influência do tempo de cultivo na dinâmica do C orgânico, uma vez que há uma variação da contribuição de galhos, cascas e folhas das árvores na composição da serapilheira (Reis & Barros, 1990) e do *turnover* de raízes (Gonçalves et al., 2000) com o aumento da idade do eucalipto. Diante disso, nos dois primeiros artigos deste trabalho assume-se a hipótese de que a labilidade do C orgânico em solos sob plantações de eucalipto é reduzida com o aumento da idade das plantações como consequência da diminuição da qualidade da sua serapilheira.

No caso dos sistemas agroflorestais de cacau, por propiciarem aporte significativo de resíduo vegetal da parte aérea e do sistema radicular que se aprofunda no solo, especialmente pelo componente florestal, estes acumulam grande quantidade de C orgânico a superfície e subsuperfície do solo. Diante disso, a hipótese do terceiro artigo deste trabalho considera que o C orgânico acumulado nos solos sob SAFs apresentaria diferentes níveis de labilidade e que a distribuição e quantidade das frações do C orgânico varia de acordo com a profundidade e a textura do solo.

2. OBJETIVO

O presente trabalho teve como objetivo: avaliar a distribuição de frações orgânicas em solos sob eucalipto em diferentes idades de cultivo e em solos sob sistemas agroflorestais de cacau.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Sistemas florestais de produção

As plantações florestais com espécies exóticas de rápido crescimento têm aumentado nos últimos 20 anos, representando uma atividade econômica importante que vem exercendo papel de destaque tanto em nível nacional quanto internacional. Isto ocorre devido a fatores favoráveis à silvicultura no país, tais como a boa adaptação às condições climáticas e edáficas existentes em expressiva área do território brasileiro (Neves et al., 1990; Almeida, 1995), o emprego de tecnologias adequadas e a disponibilidade de áreas e de mão-de-obra para plantio. Dentre as essências florestais plantadas, o eucalipto é a mais utilizada (SBS, 2005), sendo uma árvore de grande importância no contexto nacional, pois seu crescimento é rápido, possui grande capacidade de adaptação, boa produtividade e pode ser aproveitado em inúmeros setores (LIMA, 1996), especialmente para a produção de madeira e celulose.

O cultivo comercial de eucalipto para celulose no Brasil envolve um ciclo de crescimento e corte com duração entre cinco e sete anos, permitindo um regime de até três rotações sucessivas (Novais, 2007), não sendo freqüente a condução da rebrota. O manejo pode interferir negativamente no sistema, principalmente, se a exportação de nutrientes for maior que a decomposição da serrapilheira.

Na atualidade é comum à maior parte das empresas do setor florestal a adoção de práticas conservacionistas associadas ao manejo em um sistema de cultivo mínimo do solo que se baseia em preparo de solo restrito às linhas ou covas de plantio e na manutenção dos resíduos culturais sobre o terreno

(Gonçalves, 2000), além da não adoção de queimadas, favorecendo, assim, a conservação do solo (Gonçalves et al., 2002; Martins et al., 2003; Pinheiro et al., 2004).

Em sistemas florestais com adoção de práticas conservacionistas, a permanência da serapilheira sobre o solo, além de reduzir os riscos de erosão, dada a permanente cobertura do solo, possibilita seu reaproveitamento com a ciclagem de nutrientes (Schumacher et al., 2003). No Brasil, a importância dessa ciclagem é evidenciada pelo fato da grande maioria das plantações florestais se encontrar estabelecida sobre solos de baixa fertilidade, normalmente terras esgotadas pelas culturas agrícolas e por pastagens degradadas (Mora & Garcia, 2000).

A quantidade e composição da serapilheira que é aportada ao solo pelo povoamento florestal influenciam aspectos físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo (Stevenson, 1985), já que determina o caráter lábil ou recalcitrante da matéria orgânica do solo (Potker & Tedesco, 1979; Mary et al., 1996) e interfere na ciclagem de nutrientes. Todavia, as interações entre as plantações florestais e os solos tropicais ainda não são completamente compreendidas e a literatura, freqüentemente, revela conclusões opostas a cerca dos processos e efeitos, especialmente sobre a dinâmica do carbono orgânico do solo (Zinn et al., 2002).

3.2. Sistemas agroflorestais

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são reconhecidamente modelos de exploração de solos que mais se aproximam ecologicamente da floresta natural, favorecendo a conservação do solo e, por isso, são considerados como importante alternativa de uso sustentado do ecossistema tropical (Almeida et al., 1995; Brandy et al., 1994; Canto et al., 1992; Huxley, 1983; Nair, 1993; Sena Gomes et al., 2000). Nesses sistemas, o maior equilíbrio do ecossistema manejado é obtido a partir do aumento da diversidade de espécies cultivadas, já que culturas tradicionais são consorciadas com componentes arbóreos e/ou animais, havendo um melhor aproveitamento dos componentes do agroecossistema, no tempo e no espaço (Nair, 1993).

A inclusão de componentes arbóreos aparece como uma estratégia para incrementar a entrada de matéria orgânica no solo, tanto pela parte aérea, quanto

pelo sistema radicular que explora maior volume de solo, o que beneficia as características químicas, físicas e biológicas do solo conduzindo o sistema a uma situação mais sustentável. A presença de sistemas radiculares diversos nos SAFs propicia contínuo aporte de matéria orgânica, o que condiciona favoravelmente o meio físico do solo, melhorando as condições de infiltração e retenção de água (FAO, 1995; Breman & Kessler, 1997). Além disso, a diversidade vegetal contribui para uma maior diversidade da comunidade microbológica e da fauna do solo que atuam como agentes de controle biológico e condicionadores do solo (Young, 1994).

A utilização de espécies leguminosas traz grandes benefícios ao agroecossistema devido à associação simbiótica entre plantas dessa família e bactérias diazotróficas que promovem a fixação biológica de nitrogênio atmosférico (De-Polli et al., 1996). A utilização de leguminosas arbóreas junto com culturas perenes como o cacau é comum nos trópicos, promovendo o sombreamento, diminuição da evapotranspiração, além de controlar a erosão e estimular a ciclagem de nutrientes. A região Sul da Bahia é a maior produtora de cacau baseada em sistemas agroflorestais do Brasil (Andrade et al., 2004).

Devido aos benefícios promovidos pelos sistemas agroflorestais no solo, essa prática é indicada para a recuperação de áreas degradadas e para a preservação da área de entorno de reservas ambientais (Reinert, 1998; Mendonça et al., 2001). Além da recuperação de funções ecológicas que garantem a sustentabilidade do sistema, os sistemas agroflorestais apresentam grande potencial para o seqüestro de carbono atmosférico em tecido vegetal e matéria orgânica do solo (Albrecht & Kandji, 2003).

3.3. Matéria orgânica do solo

A matéria orgânica do solo (MOS) é o produto de resíduos da biota, principalmente dos vegetais, parcialmente decompostos e sintetizados, em vários estágios de complexidade e diversidade estrutural (Silva e Resck, 1997). Este componente exerce importante função na manutenção da qualidade do solo, uma vez que influencia os principais processos químicos, físicos e biológicos dos solos (Chan et al., 2002; Coleman et al., 1989), determinando, muitas vezes, seu comportamento químico e fertilidade (Coleman et al., 1989).

Em solos tropicais altamente intemperizados, a matéria orgânica tem grande importância para o fornecimento de nutrientes às culturas, à retenção de cátions, à complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, à estabilidade da estrutura, à infiltração e retenção de água, à aeração, e à atividade da biomassa microbiana, constituindo-se, um componente fundamental da sua capacidade produtiva (Bayer e Mielniczuk, 1999), havendo assim uma correlação positiva entre sua concentração e a qualidade do solo (Janzen et al., 1997).

A concentração de matéria orgânica no solo é um balanço entre taxas de adição e decomposição (Blair et al., 1995). Em sistemas florestais, a adição de matéria orgânica se dá, de forma mais clara, pela deposição e decomposição da serapilheira, que depende da espécie vegetal, do clima, da idade das árvores e da densidade do plantio (Froufe, 1999). Scholes et al. (1994) listando os cinco princípios básicos de sustentabilidade florestal nos trópicos, incluem a manutenção ou incrementos nos níveis de matéria orgânica no solo como essencial, principalmente por serem a decomposição e a mineralização de resíduos orgânicos os principais processos pelos quais os nutrientes são disponibilizados para as plantas nesses ambientes.

A decomposição da serapilheira representa um processo essencial na ciclagem de nutrientes, manutenção do estoque orgânico do solo. Em estágio inicial de decomposição, na sua forma usualmente lábil (litter e resíduos), a matéria orgânica é uma fonte de energia, carbono e nutrientes minerais para a fauna, microbiota do solo, além de conter uma importante parte da reserva de nutrientes do solo para as plantas (Zinn et al., 2002). Já quando em estágio intermediário (açúcar, polissacarídeos, amino açúcares, etc.) ou avançado de alteração química (substância húmica), pelos produtos da decomposição, tem papel decisivo em fenômenos como agregação, proteção química e CTC (Silva et al., 1994).

A taxa de reciclagem dos compostos presentes na serapilheira influencia a fertilidade de solos e o funcionamento de ecossistemas florestais, especialmente em regiões de solos bastante intemperizados como os tropicais (Froufe, 1999).

O desafio para a pesquisa sobre matéria orgânica do solo tem sido desenvolver metodologia experimental confiável para quantificação dos diferentes

compartimentos e para relatar as diferentes formas da matéria orgânica do solo em seus papéis funcionais no solo (Dalal e Chan, 2001).

3.4. C orgânico e sua relação com a qualidade do solo

O C está presente em grandes proporções em vários compartimentos da Terra. Por meio da fotossíntese, as plantas reduzem o C presente na atmosfera e o incorporam na biomassa vegetal. Parte do C armazenado na biosfera retorna para a atmosfera na forma de CO₂ pelo processo de respiração. Durante o processo de decomposição dos resíduos vegetais e animais, grande parte do C é oxidado microbiologicamente e retorna à atmosfera. Ao final deste processo, aproximadamente 20% do C é incorporado à matéria orgânica em diferentes compartimentos dentro do sistema solo (Pillon, 2000; Diekow et al., 2005).

O carbono orgânico do solo compõe 48 a 58% da massa da matéria orgânica (Nelson & Sommers, 1982) que, por sua vez, constitui o maior reservatório de carbono da superfície terrestre. Estima-se que os estoques de carbono no solo estejam entre 1.200 e 1.500 Pg (10¹⁵g), superando, assim, o estoque de C na biota (Anderson, 1995).

A importância do C orgânico para os aspectos físico, químico e biológico da qualidade do solo é bem conhecida. O C serve como fonte de energia para processos microbianos e respiração; participa do armazenamento e ciclagem de nutrientes; está ligado à disponibilidade de água para as plantas, infiltração, formação de agregados, densidade e resistência do solo, capacidade de troca catiônica, enzimas do solo e outros indicadores de qualidade do solo (Reeves, 1997).

A conservação do C orgânico do solo é considerada um fator crítico para a sustentabilidade de sistemas de uso da terra nos trópicos, e também representa um caminho eficiente para a redução da emissão de CO₂ através da agricultura, e mesmo para absorver excessos atmosféricos antropogênicos deste gás (Lal, 2001). Isto se dá pela alta relevância que o solo tem, por meio do seu manejo, de evitar que o carbono seja transferido para a atmosfera ou que permaneça retido no material do solo, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas (Leite et al., 2004).

Muitos autores descrevem que a substituição da vegetação por sistemas agrícolas contribui para redução na concentração do C orgânico do solo (COS), principalmente devido à decomposição acelerada causada pelo cultivo do solo que aumenta a aeração e o contato físico de organismos decompositores (Silva et al., 1994). Comparações do conteúdo de carbono orgânico de amostras de solos, de sítios sob vegetação nativa e sítios cultivados para produção agrícola por um período longo de tempo, têm mostrado substancial perda de carbono orgânico e deterioração de propriedades físicas de terras aráveis (Golchin et al., 1995). Perdas de carbono orgânico do solo afetam a produção da cultura pela redução do suprimento de nutrientes (Zinn et al., 2002). Assim, práticas de manejo de produção exercem considerável influência sobre o nível de MOS pelo controle da quantidade de substrato adicionado ao solo, a taxa de ciclagem da MOS e a erosão do solo.

O carbono orgânico do solo (COS) é considerado o mais significativo indicador de qualidade do solo e produtividade (Cannell e Hawes, 1994; Brejda, 2000). Apesar disso, os estudos sobre efeito de sistemas de manejo, em sua maioria, evidenciam a pouca sensibilidade da medida do C orgânico total. Como alternativa, considerando que a matéria orgânica é uma mistura heterogênea de substâncias orgânicas com diferentes composições e labilidade (turnover time), tem sido conveniente o fracionamento do carbono orgânico total dentro de diferentes pools (Parton et al., 1987). Evidências acumuladas sugerem que certas frações da matéria orgânica são mais importantes para a manutenção da qualidade do solo, e, portanto, são indicadores mais sensíveis dos impactos das práticas de manejo (Cambardella e Elliott, 1992).

3.5. Carbono orgânico e outros indicadores de qualidade do solo

O carbono orgânico do solo está integralmente ligado a muitos indicadores de qualidade do solo (Cannell e Hawes, 1994; Brejda, 2000).

A quantidade e qualidade do COS tem sido sugerida como fator muito importante que afeta diretamente a dinâmica de N no solo (Hart et al., 1994) e retenção do N no ecossistema (Aber et al., 1998). Sendo ambos componentes da matéria orgânica a dinâmica do N no solo é intimamente associada à dinâmica do C, apenas alterando os mecanismos de adição e de perda dos elementos no

sistema (Bayer et al., 2000a, b). Os processos de transformação desses elementos no solo influem diretamente na qualidade do solo. (Leite et al., 2004). Do mesmo modo que o carbono, o N é um elemento relevante nos estudos de matéria orgânica do solo, sendo um dos nutrientes com dinâmica mais pronunciada no sistema solo-planta. Sua maior parte está na fração orgânica (mais de 90%), um grande reservatório de formas mais prontamente disponíveis, como a nítrica e a amoniacal. Estas formas minerais, apesar de responderem por pequena parcela do N total, são de extrema importância do ponto de vista nutricional, já que são elas as absorvidas pelos vegetais e microrganismos (Stevenson, 1985). A mineralização da matéria orgânica do solo, da qual fazem parte as reações de amonificação e nitrificação, transforma, em média, de 2% a 5% do N orgânico por ano (Moreira & Siqueira, 2002).

A biomassa microbiana, por constituir a maior parte da fração ativa da matéria orgânica, também tem sido apontada como um indicador mais sensível aos efeitos do manejo e cultivo que o C orgânico (Gama-Rodrigues, 1999). A biomassa microbiana representa a parte viva da matéria orgânica do solo, contendo, em média, de 2 a 5 % do carbono orgânico e 1 a 5% do nitrogênio orgânico nos solos tropicais (Smith e Paul, 1990). Vale ressaltar que para que os resultados de biomassa microbiana forneçam índices que possam ser utilizados para avaliar a dinâmica da matéria orgânica de forma coerente eles devem estar associados aos de C orgânico, N total, à taxa de respiração (liberação de CO₂) dos solos (Gama-Rodrigues et al., 1997), bem como outros indicadores como a distribuição das frações orgânicas.

Além disso, certas frações da matéria orgânica, que são mais importantes para a manutenção da qualidade do solo, também têm sido utilizadas como indicadores mais sensíveis que o conteúdo total de matéria orgânica e C orgânico (Cambardella e Elliott, 1992). Assim, considerando um contínuo de sensibilidade ao manejo, ter-se-iam, em uma extremidade, a medida de C da biomassa microbiana, bastante variável e sensível, e, na outra, a medida do carbono orgânico total do solo, pouco variável e sensível (Leite et al., 2003), enquanto a fração leve da matéria orgânica do solo tem-se constituído em uma medida de sensibilidade intermediária e, mais importante, que reflete efeitos de ações antrópicas (Six et al., 2000).

3.6. Fracionamento da matéria orgânica do solo

Como a matéria orgânica não se trata de um componente simples e homogêneo (Roscoe e Machado, 2002), mas sim de um conjunto heterogêneo de materiais orgânicos que diferem em composição, grau de disponibilidade para a microbiota e função no ambiente (Carter, 2001), os vários tipos de fracionamento utilizados em estudos de matéria orgânica do solo visam reduzir esta heterogeneidade, uma vez que permitem separar frações homogêneas quanto à natureza, dinâmica e função, mas ao mesmo tempo suficientemente diferentes umas das outras (Christensen, 2000).

Diversas técnicas de fracionamento físico e químico têm sido utilizadas para separar e isolar frações da matéria orgânica e quantificar o C orgânico presente nos diferentes compartimentos.

Os métodos de fracionamento físico vêm sendo amplamente utilizados em estudos de MOS e têm se revelado promissores, uma vez que possibilitam a separação e a quantificação de diferentes compartimentos orgânicos (diferentes pools de carbono), além de representarem uma excelente alternativa aos métodos químicos, baseados em características de solubilidade (Stevenson, 1982), já que são menos destrutivos e estão mais relacionados com a função e a estrutura da MOS *in situ* (Christensen, 1992; 2000; Feller e Beare, 1997). Vários estudos têm demonstrado a utilidade do fracionamento físico na avaliação da dinâmica da MOS em solos brasileiros (Macedo et al., 2008; Rangel et al., 2007; Rangel & Silva, 2007; Souza et al., 2006; Leite et al., 2003; Freitas et al., 2000; Freixo et al., 2002a e 2002b; Silva et al., 1999).

O fracionamento físico parte da hipótese de que, dependendo da sua localização física no solo (do grau de associação com a matriz do solo), a MOS pode estar livre (Fração livre) ou associada às partículas minerais do solo (argila, silte e areia). Apenas pequena proporção da MOS, constituída principalmente por resíduos vegetais, pode estar livre, denominada fração leve livre (FL-Livre), ou presente no interior de agregados instáveis, denominada fração leve intra-agregado (FL-Intra-agregado) (Freixo et al., 2002b). A fração associada às partículas minerais do solo, denominada fração pesada (FP), é considerada um compartimento altamente resistente à transformação ou ao ataque microbiano (Feller e Beare, 1997).

Dentre os métodos químicos, o fracionamento do C baseando-se na sua suscetibilidade à oxidação tem sido utilizado para verificar mudanças na qualidade da matéria orgânica e identificar em quais frações o C está acumulado no solo (Blair et al., 1995; Shang & Tiessen, 1997; Blair et al., 1998; Blair, 2000; Chan et al., 2001; Chan et al., 2002; Rangel et al., 2008), embora sejam mais utilizados métodos baseados na solubilidade do material orgânico em meio ácido ou alcalino (Kononova, 1966; Stevenson & Elliot, 1989), utilizando extratores com bases fortes ou com sais neutros com diferentes pHs, que separam as frações ácido húmico e ácido fúlvico da fração humina (Stevenson & Elliot, 1989).

3.6.1. Fracionamento físico da matéria orgânica

Os métodos de fracionamento físico visam à separação de reservatórios funcionais e dinâmicos, assim como o isolamento de complexos organo-minerais, nos mais diversos ecossistemas (Feller e Beare, 1997; Elliott e Cambardella, 1991; Christensen, 1992, 2000).

O modelo apresentado na Figura 1 descreve o arranjo espacial das partículas minerais e orgânicas do solo, servindo de embasamento teórico para os procedimentos utilizados na maioria dos esquemas de fracionamento físico (Christensen, 2000). Neste modelo, o mesmo autor, postula que, dependendo do grau de associação com a matriz do solo, a MOS pode estar livre ou fracamente associada às partículas de solo, sendo chamada de matéria orgânica não-complexada (MONC) ou; ou estar fortemente ligada às partículas minerais, formando complexos organo-minerais (COM). Os COM são ditos primários, quando resultam da interação direta entre partículas minerais primárias e compostos orgânicos. Juntamente com a MONC, os COM-primários constituem as unidades básicas de organização das partículas minerais e orgânicas do solo (Figura 1). Para se referir aos COM-Primários, utiliza-se também a expressão *Fração Pesada*. Em um segundo nível hierárquico de organização, os COM-primários agrupam-se, formando agregados ou COM-secundários. Neste processo, pode ocorrer o aprisionamento de parte da MONC no interior dos COM-secundários, dando origem a uma divisão da MONC em: *livre*, na superfície ou entre agregados (MONC-livre, que corresponde a *FL-Livre*); e *oclusa*, dentro dos

agregados em locais pouco acessíveis à microbiota (MONC-oclusa, que corresponde a *FL-Intra-agregado*) (Roscoe e Machado, 2002).

O modelo da Figura 1 apresenta a MOS em diferentes reservatórios (MONC-livre, MONC-oclusa e COM-primários), com diferentes graus de disponibilidade para a microbiota, nos quais seriam envolvidos mecanismos específicos de proteção e estabilização da MOS, podendo ser sumariados em três categorias: recalcitrância das moléculas orgânicas, oclusão dentro de agregados e ligação/complexação com a matriz mineral (Christensen, 1996a).

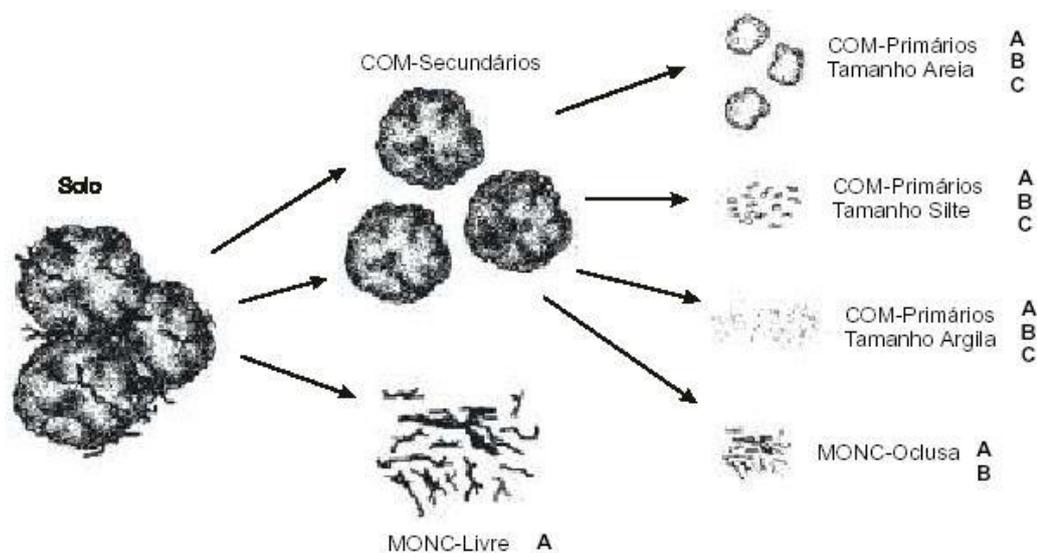


Figura 1. Modelo descritivo do arranjo espacial de partículas minerais e orgânicas do solo. As letras representam os mecanismos de proteção contra a decomposição: A, recalcitrância; B, oclusão; e C, complexação/ligação com as partículas minerais. Fonte: Roscoe e Machado (2002).

Considerando as diferenças teóricas entre esses reservatórios, os métodos de fracionamento físico visam à separação dos mesmos, de forma que possam ser quantificados e caracterizados. Para tanto, distinguem-se dois grupos de métodos de fracionamento físico que podem ser baseados na diferença em densidade entre os compartimentos (densimétrico) (Christensen, 1992; Janzen et al., 1992), nas diferenças de tamanho de partículas (granulométrico) (Cambardella & Elliot, 1992; Feller & Beare, 1997; Wander et al., 1998; Needelman et al., 1999), ou uma combinação de ambos (Six et al., 1998; Sohi et al., 2001).

O fracionamento por densidade permite o isolamento e a quantificação dos compartimentos mais lábeis da MOS, que pode estar livre (fração leve livre - FLL), ou presente no interior de agregados instáveis (fração leve intra-agregado - FLI). O fracionamento por granulometria, no entanto, permite a separação dos compartimentos mais humificados, que estão associados a constituintes minerais (areia, silte e argila) (fração pesada – FP). Sohi et al. (2001) desenvolveram um procedimento que combina os dois tipos de fracionamento físico, capaz de extrair, seqüencialmente, na mesma amostra de solo, frações da matéria orgânica presentes entre (FLL) e dentro de microagregados (FLI) e ainda as associadas à argila, silte e areia (FP).

As Figuras 2 e 3 apresentam esquemas simplificados do procedimento analítico proposto por Sohi et al. (2001).

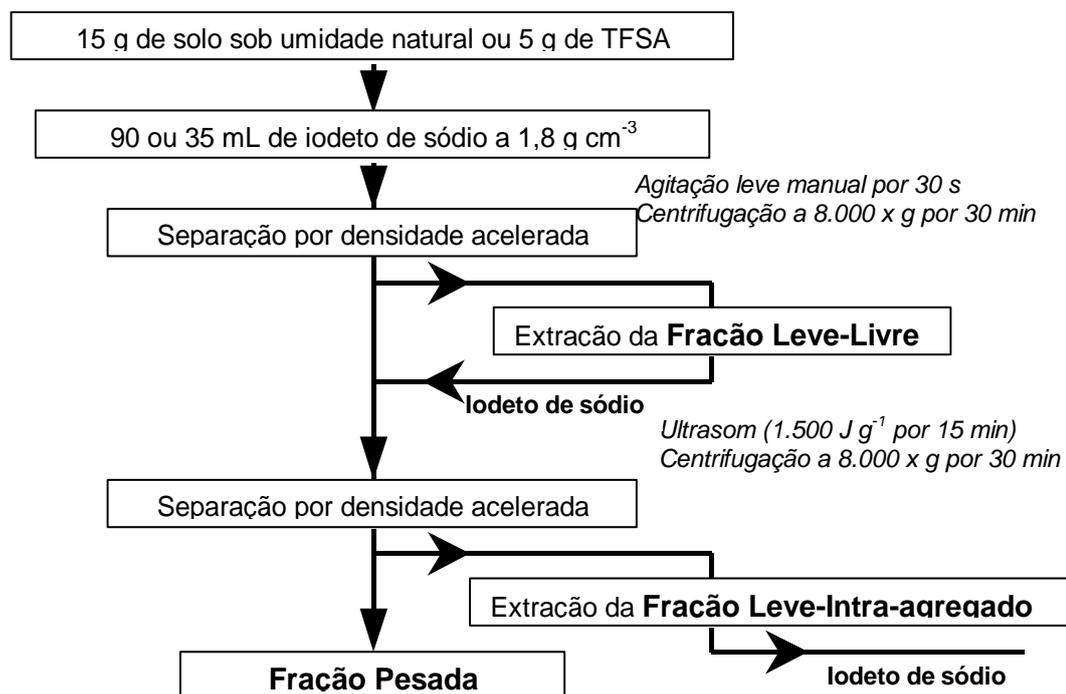


Figura 2. Esquema simplificado do procedimento analítico do fracionamento por densidade. Fonte: Sohi et al. (2001)

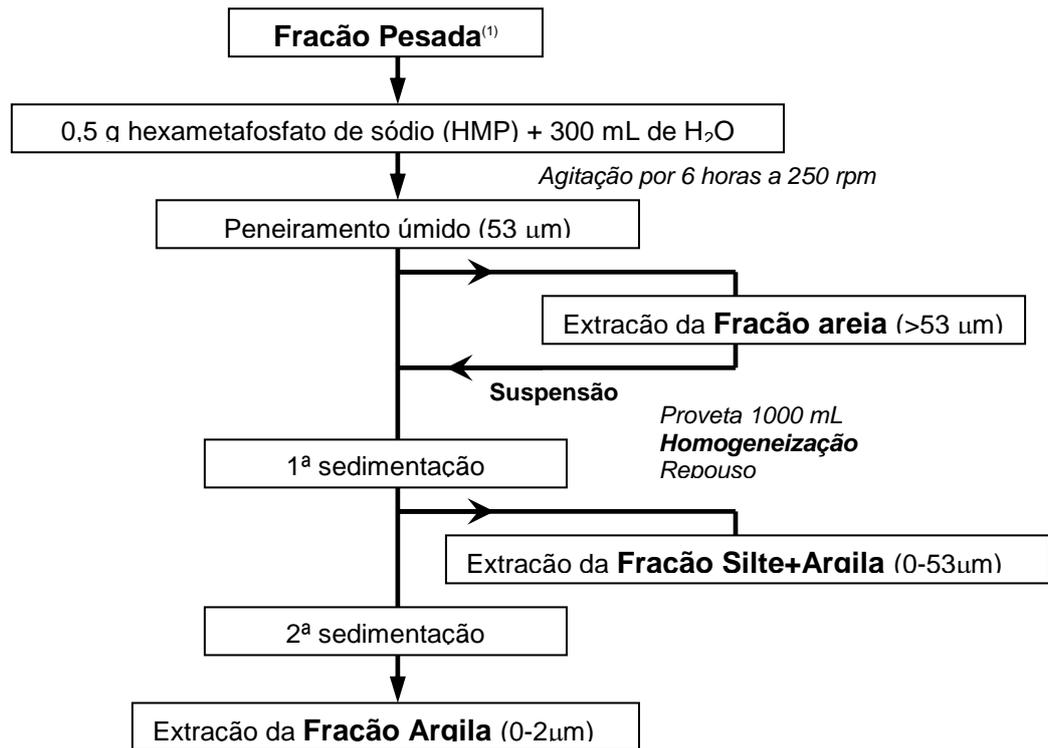


Figura 3. Esquema simplificado do procedimento analítico proposto por Sohi et al. (2001) para o fracionamento por granulometria. ⁽¹⁾Material de solo obtido a partir do fracionamento por densidade.

3.6.2. Fracionamento do C orgânico baseado no grau de oxidação

O grau de oxidação e labilidade do C têm sido utilizados para verificar mudanças na qualidade da matéria orgânica em solos cultivados (Blair et al., 1995; Shang & Tiessen, 1997; Blair et al., 1998; Blair, 2000; Chan et al., 2001; Chan et al., 2002; Rangel et al., 2008).

De acordo com Tirol-Padre & Ladha (2004), o método de fracionamento do C orgânico, baseando-se na sua suscetibilidade à oxidação foi proposto por Loginow et al. (1987), usando soluções de KMnO_4 de diferentes concentrações ($33\text{-}333\text{ mmol L}^{-1}$), sobre a premissa de que a decomposição microbiológica da matéria orgânica está associada aos processos de oxidação de caráter enzimático que ocorrem nos solos. Desde então, o C oxidado pelo KMnO_4 vem sendo utilizado como um índice de C lábil do solo (Blair et al., 1995), muito embora a natureza química do C oxidado não seja ainda completamente elucidada.

Conceitualmente, carbono lábil é aquele constituinte de compostos orgânicos mais facilmente mineralizado pelos microrganismos do solo, sendo que procedimentos colorimétricos baseados na oxidação do carbono com permanganato de potássio (KMnO_4) têm sido utilizados para diferenciar a labilidade do C. Blair et al. (1995) consideram C lábil o carbono oxidável por uma solução de permanganato de potássio (KMnO_4) $0,333 \text{ mol L}^{-1}$. Entretanto, Shang & Tiessen (1997) propuseram a diminuição da concentração de KMnO_4 para $0,033 \text{ mol L}^{-1}$, considerada suficiente para oxidar o C lábil do solo.

Chan et al. (2001) propuseram o fracionamento do C orgânico baseando-se na suscetibilidade à oxidação com soluções de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ($0,167 \text{ mol L}^{-1}$), introduzindo uma modificação no método clássico de determinação do C desenvolvido por Walkley & Black (1934) que utiliza uma única concentração de ácido sulfúrico (12 mol L^{-1}). Com a modificação proposta por Chan et al. (2001), além desta concentração, são utilizadas mais duas concentrações de ácido sulfúrico, sendo possível separar quatro frações com graus decrescentes de oxidação, que se distinguem quanto a resistência à mineralização, fornecendo uma caracterização qualitativa do C do solo. Um entrave ao uso dessa metodologia é a dificuldade de se comparar os valores obtidos com os determinados pelos métodos descritos por Blair et al. (1995) e Shang & Tiessen (1997), pois é evidente que, com a mudança nas concentrações de ácidos e dos oxidantes, determinadas formas de carbono, antes não afetadas, serão oxidadas pela solução oxidante proposta por Chan et al. (2001).

Com base no procedimento descrito por Chan et al. (2001), Rangel et al. (2008), em solo cultivado com cafeeiro, e Andrade et al. (2005), em solos tratados com bio-sólido e sob eucalipto, encontraram cerca de 50% do C orgânico do solo na fração mais lábil. Freitas et al. (2004), avaliando o efeito da adubação orgânica e mineral sobre a qualidade da MOS, encontraram valores de carbono lábil correspondendo a 28% do CO do solo.

4. ARTIGOS

Este trabalho é composto por três artigos, desenvolvidos a partir da utilização de duas metodologias para obtenção de frações orgânicas do solo (fracionamento físico da matéria orgânica e fracionamento químico do C orgânico do solo baseado na sua suscetibilidade à oxidação). Os estudos foram conduzidos a partir de amostragens de solo em plantações comerciais de eucalipto, localizadas na região litorânea do Estado do Espírito Santo (município de Aracruz), e em sistemas agroflorestais de cacau localizados no Sul da Bahia (municípios de Uruçuca e Itajuípe).

4.1. ARTIGO 1:

CONTEÚDO DE C E N E DISTRIBUIÇÃO DE FRAÇÕES ORGÂNICAS EM SOLOS SOB PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO EM UMA SEQUÊNCIA DE IDADES

RESUMO: A matéria orgânica do solo tem importante papel na regulação da produtividade florestal. O conhecimento da dinâmica da matéria orgânica em plantações de eucalipto permite uma melhor compreensão das alterações que podem ocorrer na quantidade e qualidade do C orgânico ao longo do ciclo de cultivo. Objetivou-se com este trabalho avaliar a distribuição do C e N em diferentes frações da matéria orgânica em solos sob plantações de eucalipto com diferentes idades. Foram coletadas amostras de solo da camada 0-10 cm em plantações de eucalipto de 1, 3, 5 e 13 anos. O fracionamento da matéria orgânica foi realizado através do método físico (densimétrico-granulométrico). O peso das frações leve intra-agregado (FLI) e pesada não variou entre as idades, apenas a fração leve livre (FLL) variou, tendo valor superior na idade de 3 anos, valores intermediários nas idades de 5 e 13 e inferior na idade de 1 ano. Os teores de C da FLL e FLI foram menores na idade de 1 ano. A variação de massa e teores de C e N da FLL e FLI entre as idades deve-se, provavelmente, à quantidade e qualidade do resíduo depositado na superfície do solo. Os teores de N da fração areia e de C e N na fração argila foram significativamente maiores nas idades de 5 e 13 anos. A contribuição do C dessa fração para o COT tendeu a aumentar com a idade, o que sugere um acréscimo das formas mais estáveis de C ao longo do ciclo do eucalipto. A contribuição do C das frações pesadas para o COT também aumentou com a idade, sendo, em média, 48% do COT. As frações mais lábeis da MOS (FLL+ FLI) representaram, em média, 31,7 % do COT. A relação C/N esteve entre 24,9 e 28,0 (FLL), 24,6 e 25,0 (FLI) e entre 10,50 e 15,24 (Frações pesadas). Houve influência da idade do eucalipto na distribuição das frações da matéria orgânica. Os teores de C e N das frações leves e também das pesadas demonstram ser indicadores sensíveis de alterações ocasionadas pelo cultivo do eucalipto. O estoque de C orgânico do solo está associado à qualidade de compostos orgânicos da serapilheira.

Termos de indexação: Matéria orgânica do solo, fracionamento físico, solos florestais, qualidade do solo, qualidade do *litter*

ABSTRACT: CARBON AND NITROGEN CONTENTS AND DISTRIBUTION OF ORGANIC FRACTIONS IN SOIL UNDER EUCALYPTUS PLANTATIONS IN AN AGE SEQUENCE

Organic matter plays a significant role on regulation forest productivity. To understand the dynamic of organic matter in eucalyptus plantations allow the better understanding about quantitative and qualitative changes in organic C along the cultivation cycle. This study has the goal to evaluate carbon and nitrogen distribution along different fractions of organic matter in soils under eucalyptus plantations in an age sequence. Samples were collected from 0-10 cm deep layer in eucalyptus plantations under 1, 3, 5, and 13 years old. Organic matter fractioning was taken through physical method (densimetric-granulometric). The weight of intra-aggregate light fraction (FLI) and heavy fraction did not vary among ages. Free light fraction (FLL) was high in 3 years old, intermediate values were found in 5 and 13 years old, and the lowest value was in 1 year old. Variation on C and N masses and levels for FLL e FLI are probably due to quantity and quality of residues on soil surface. Nitrogen levels for the sand fraction and C and N levels for clay fraction were significantly higher in 5 and 13 years old. Contribution of C from heavy fractions increased with age, aproximatly 48% of TOC. The light fractions (FLL + FLI) represented around 31,7% of TOC. C/N rate was between 24,9 and 28,0 (FLL), 24,6 and 25,0 (FLI), 10,50 and 15,24 (heavy fractions). The distribution organic matter fractions were significantly different among ages. Carbon and nitrogen levels for heavy and light fractions were a sensitive indicator on changes caused by different ages of eucalyptus plantation. Amount of organic C in soil is associated to litter quality.

Index terms: Soil organic matter, physical fractionation, forest soil, soil quality, litter quality

INTRODUÇÃO

A matéria orgânica (MO) é um dos principais indicadores de qualidade do solo, pois influencia suas características químicas, físicas e biológicas (Stevenson, 1985; Nambiar, 1996; Reeves, 1997; Bayer e Mielniczuk, 1999; Garay et al., 2004; Lal, 2005; Franchini et al., 2007; Silva & Mendonça, 2007), sendo sua manutenção e acúmulo fundamentais para a fertilidade e produtividade vegetal, especialmente nas regiões

tropicais (Zinn et al., 2002; Nambiar, 1996). Assim, quando se visa manter ou aumentar a sustentabilidade da produção em sistemas florestais, onde a constante deposição de resíduos e ciclos longos favorecem o acúmulo de matéria orgânica (Novais, 2007; Barros, 1993; Golley et al., 1978), o entendimento da dinâmica da MO do solo é imprescindível (Corbeels et al., 2005). Menezes (2005), em estudo na região do Vale do Rio Doce (MG), constatou que o teor de MO do solo foi a característica que melhor se relacionou com a produtividade do eucalipto.

A quantidade e qualidade da serapilheira que é aportada ao solo pelo cultivo florestal determinam o caráter lábil ou recalcitrante da matéria orgânica (Potker & Tedesco, 1979; Mary et al., 1996), como consequência do seu conteúdo e distribuição de compostos orgânicos (Longo & Espíndola, 2000; Monteiro e Gama-Rodrigues, 2004). A idade do cultivo florestal proporciona uma variação do aporte e da contribuição de galhos, cascas e folhas das árvores na composição da serapilheira (Reis & Barros, 1990) e do *turnover* de raízes (Gonçalves et al., 2000), o que, no caso de plantações de eucalipto, propicia menores teores de celulose e lignina em idades jovens e maiores quando atingem a maturidade (Barreto et al., 2008a), conferindo um maior nível de recalcitrância e maior resistência a decomposição desses resíduos (Monteiro e Gama-Rodrigues, 2004). Assim, as alterações na qualidade dos resíduos florestais de eucalipto com o aumento da idade, possivelmente ocasionarão mudanças na quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo, todavia a magnitude destas alterações é pouco conhecida.

Pequenas alterações na matéria orgânica e no estoque total de C e N do solo podem ser dificilmente detectáveis em curto prazo (Chan et al, 2001; Oliveira Júnior. et al., 2008), por essa razão tem-se adotado a avaliação das frações que compõem a MO do solo para acompanhar mudanças nos compartimentos e fluxos de C entre esses compartimentos, em menor tempo (Oliveira Jr. et al., 2008). As frações da matéria orgânica possuem distintos graus de labilidade e, portanto, não são alteradas na mesma magnitude. Estudos têm demonstrado que a matéria orgânica leve ou fração leve livre (FLL) é muito importante na manutenção da qualidade do solo, sendo, portanto, um indicador mais sensível do impacto de práticas de manejo que o C orgânico total (COT) (Cambardella & Elliott, 1992; Freixo et al., 2002; Leite et al., 2003). Em sistema agrícola, Leite et al. (2003), analisando os estoques totais de C orgânico e suas frações em Argissolo sob floresta nativa e sob cultivo de milho, observaram que os estoques de C na fração leve livre foram reduzidos em maior intensidade do que os estoques de C orgânico total. Lima et al. (2006), em Latossolo

anteriormente sob pastagem, observaram que o cultivo de eucalipto aumentou o estoque de C (camada de 0-20 cm) em praticamente todas as frações da MOS.

Diversas técnicas de fracionamento físico e químico têm sido utilizadas para separar e isolar frações da matéria orgânica e quantificar o C e N orgânico presente nos diferentes compartimentos. Os métodos de fracionamento físico vêm sendo amplamente utilizados em estudos de matéria orgânica do solo (MOS) (Feller e Beare, 1997; Christensen, 1992; 2000; Silva et al., 1999; Freitas et al., 2000; Freixo et al., 2002a e 2002b; Leite et al., 2003; Souza et al., 2006; Rangel et al., 2007; Rangel & Silva, 2007; Macedo et al., 2008) e têm se revelado promissores, uma vez que possibilitam a separação e a quantificação de diferentes compartimentos orgânicos (diferentes *pools* de carbono), além de representarem uma excelente alternativa aos métodos químicos, baseados em características de solubilidade, já que são menos destrutivos e estão mais relacionados com a função e a estrutura da MOS *in situ* (Christensen, 1992; 2000; Feller e Beare, 1997).

Embora muitos estudos avaliando a distribuição de frações orgânicas e seus estoques de C e N terem sido realizados em solos sob diferentes sistemas agrícolas (Freitas et al., 2000; Freixo et al., 2002a e 2002b; Leite et al., 2003; Bayer et al., 2004; Galvão et al., 2005; Souza et al., 2006; Rangel et al., 2007; Barreto et al., 2008b; Oliveira Júnior et al., 2008), poucos são aqueles realizados em solos sob plantações florestais, especialmente no Brasil (Lima et al., 2006 e 2008; Rangel & Silva, 2007; Faria et al., 2008).

Apesar das plantações de eucalipto ocuparem extensas áreas e apresentarem rápido crescimento em todo país, ainda são escassos os conhecimentos sobre o impacto do seu cultivo nos teores e dinâmica da matéria orgânica do solo. Neste contexto, a hipótese do presente trabalho assume que, em decorrência de alterações na qualidade da serapilheira do eucalipto ao longo do cultivo, haverá uma variação na qualidade do C orgânico do solo que poderá se acumular nas frações leves ou pesadas da matéria orgânica. Dessa forma, haveria uma manutenção ou diminuição da fração leve livre, pela falta de proteção (oclusão ou complexação), e aumento das frações mais estáveis (leve intra-agregado e pesadas). Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição do C e N em diferentes frações da matéria orgânica em solos sob plantações de eucalipto com diferentes idades.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado utilizando amostras de Argissolo Amarelo distrófico textura média a argilosa sob plantações comerciais de eucalipto, localizado no município de Aracruz, região litorânea do Estado do Espírito Santo. A região tem relevo plano, clima tropical úmido (com estação chuvosa no verão e seca no inverno), temperatura e precipitação média anual de 23°C e 1400 mm. As áreas de coleta foram selecionadas com base na idade e rotação de cultivo das plantações de eucalipto, compreendendo uma seqüência de idades (1, 3, 5 e 13 anos) em sistema de reforma e, além disso, no material genético (clone 1501, “*Urograndis*”) e tipo de solo, comum a todas as áreas. O histórico do manejo de preparo do solo e adubação adotados nas áreas está apresentado no Quadro 1.

Em cada área estabeleceram-se quatro parcelas (18 x 18 m). Em cada parcela foram coletadas 20 amostras simples que foram reunidas formando uma composta e uma amostra indeformada com anel volumétrico para se estimar a densidade, da camada de 0-10 cm do solo. As coletas foram realizadas em novembro de 2003. As amostras compostas de solo foram homogeneizadas, secas ao ar e peneiradas (em malha de 0,2 mm).

Quadro 1 – Histórico do manejo de preparo do solo e adubação das áreas

Manejo		Plantações ⁽¹⁾			
		1	3	5	13
Preparo do solo		Subsolagem profunda (90 cm)	Subsolagem (40 cm)	Coveamento manual	Coveamento manual
Adubação	Pré-plantio	Fosfato natural reativo (500 kg/ha)	Fosfato natural reativo (400 kg/ha)		
	Plantio	NPK 06-30-06 + 1,0% Zn (133 kg/ha)	NPK 06-30-06 + 1,0% B+ 1,0% Zn (111 kg/ha)	Superfosfato triplo (62 kg/ha)	NPK 06-30-06 (111 kg/ha)
	Cobertura		NPK 10-00-30 (111 kg/ha)		Fosfato acidulado (350 kg/ha)
	Manutenção	Calcário dolomítico (2500 kg/ha) NPK 10-00-30 (300 kg/ha).	Calcário dolomítico (2500 kg/ha) KCl (300 kg /ha) NPK 10-00-30 (300 kg/ha)	Cinza caldeira de biomassa (4000 kg/ha) Superfosfato triplo (150 kg/ha) KCl (100 kg /ha) NPK 20-05-20 (250 kg /ha)	NPK 20-00-20 (160 kg/ha)

⁽¹⁾Plantações por idade (anos), estabelecidas em 12/2002, 08/2000, 10/1998 e 05/1990, respectivamente.

A caracterização química e física do solo usado no estudo foi feita a partir das análises de pH (em água); P e K (extraíveis por Mehlich-1), Ca, Mg e Al (trocáveis, por KCl 1 mol L⁻¹) (Defelipo & Ribeiro, 1981); C orgânico (oxidação com K₂Cr₂O₇ 1,25 mol L⁻¹ em meio ácido) (Anderson & Ingram, 1996); N total (método Kjeldahl) (EMBRAPA, 1997), granulometria pelo método da pipeta e densidade aparente para correção dos estoques estimados de carbono e nitrogênio (EMBRAPA, 1997) (Quadro 2).

Para o fracionamento físico da matéria orgânica, as amostras de solos foram secas a 40°C e peneiradas a 2 mm (TFSA). As frações leves da matéria orgânica foram obtidas pelo procedimento proposto Sohi et al. (2001). Em frascos de centrífuga de 50 mL foram adicionados 5 g de TFSA (em duplicata) e 35 mL de Iodeto de Sódio (NaI, densidade igual a 1,80 g cm⁻³) que foram agitados manualmente, por 30 segundos, para permitir que as frações orgânicas não associadas aos componentes minerais do solo atingissem a superfície da suspensão. Em seguida, o solo mais a solução de NaI foram centrifugados a 18.000 x g, por 15 min, a fim de que as partículas minerais do solo permanecessem no fundo do frasco e, por aspiração, coletou-se a fração leve-livre (FLL) presente na superfície da solução de NaI. A FLL, juntamente com solução de NaI, foi aspirada para um sistema de filtragem a vácuo (Sistema Asséptico Sterifil, 47 mm – Milipore) contendo membranas filtrantes lisas constituídas de ésteres inertes de celulose (Membrana Filtrante MF – Millipore), onde foi separada da solução de NaI. Em seguida, as frações FLL retidas na membrana foram cuidadosamente lavadas com o auxílio de uma pisseta com água destilada, para retirar o excesso de solução de NaI.

Após a remoção da FLL, a solução de NaI coletada no frasco receptor da filtragem foi retornada para a garrafa de centrífuga contendo a amostra de solo remanescente e, após ligeira homogeneização manual, foi colocada em banho de gelo, visando minimizar elevação da temperatura na suspensão e foi submetida à ultra-som (400 J mL⁻¹) por três minutos com intervalos de um segundo e, em seguida, foi novamente centrifugada a 18.000 x g, por 15 minutos, obtendo-se assim a fração leve intra-agregado (FLI), ou seja, a fração orgânica do solo não associada com partículas minerais, mas retida internamente nos agregados.

Depois da centrifugação para obter a FLI, da mesma maneira que foi descrito para a obtenção da FLL, foi realizada a filtragem e a lavagem cuidadosa com água destilada. As frações leves (FLL e FLI) obtidas foram, juntamente com os filtros, secas a 105°C e moídas.

Em laboratório, foram realizadas duas repetições para cada amostra de solo. Assim, as duas repetições das frações FLL e FLI foram combinadas em uma única amostra para a determinação de carbono e nitrogênio totais por via seca. Da mesma forma, as repetições do material residual de solo das amostras foram combinadas e utilizadas para realização da separação da fração organomineral (Fração pesada) por granulometria, de acordo com o procedimento proposto por Gavinelli et al. (1995). Para tanto, foram adicionados ao material de solo remanescente 0,5 g de hexametáfosfato (HMP) e 300 mL de água destilada, deixando-se agitar por uma noite. A matéria orgânica associada à areia (>53 μm) foi obtida por peneiramento úmido e a associada a silte (2-53 μm) e argila (0-2 μm) foi determinada a partir da coleta de alíquotas das frações granulométricas de 0-2 μm e 0-53 μm , que foram separadas por sedimentação. Após secagem a 60°C, as frações granulométricas separadas foram pesadas e moídas, para posterior determinação dos teores totais de carbono e nitrogênio.

Quadro 2. Atributos químicos e composição granulométrica de Argissolo (camada 0-10 cm) sob plantações de eucalipto

Atributo	Idades ⁽¹⁾			
	1	3	5	13
pH	4,8a	4,6a	4,7a	4,5a
P (mg dm ⁻³)	9,6b	6,7b	19,8a	10,0b
Al (Cmolc dm ³)	0,5a	0,6a	0,5a	0,8a
H+Al (Cmolc dm ³)	0,9b	1,7a	0,9b	0,9b
K (Cmolc dm ³)	0,13a	0,08b	0,09b	0,08b
Ca (Cmolc dm ³)	1,6a	1,3ab	0,6c	0,9bc
Mg (Cmolc dm ³)	0,6a	0,6a	0,4a	0,5a
C (g kg ⁻¹)	20,7b	28,7a	27,1ab	23,3ab
N total (g kg ⁻¹)	1,5a	1,6a	1,7a	1,8a
C/N	14,3b	17,7a	15,7b	13,3c
Dap ⁽²⁾ (kg dm ⁻³)	1,3b	1,4ab	1,4ab	1,4a
Argila (g kg ⁻¹)	240,9a	212,3a	228,4a	243,4a
Areia (g kg ⁻¹)	718,9a	755,1a	724,4a	719,4a
Silte (g kg ⁻¹)	40,2a	32,5a	47,2a	37,2a

⁽¹⁾ Idades- Idades das plantações de eucalipto em anos; ⁽²⁾ Dap- Densidade aparente. Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

C e N orgânico totais do solo e das frações da MOS foram determinados pelo processo de combustão seca, usando um analisador elementar CNHS/O 2400 Série II Perkin Elmer (configurado no modo CHN), a partir da pesagem de amostras de aproximadamente 8 mg de material finamente moído (macerado em almofariz até a

granulometria de talco) em cápsulas de estanho, sendo a digestão desses materiais processada em câmara de combustão fechada a 925°C.

Os dados foram submetidos ao teste de Lilliefors para avaliação de aderência à distribuição normal e ao teste de Bartlett para avaliação de homogeneidade das variâncias. Em seguida, para verificar as diferenças significativas entre os teores de C e N totais e das frações da MOS entre as diferentes idades de eucalipto, os dados foram submetidos à análise de variância como em delineamento inteiramente casualizado com 4 repetições. Adotou-se o teste F a 5%, para comparação entre idades. De forma complementar utilizou-se para comparação de médias, o teste de Tukey a 5%. Cada idade foi considerada um tratamento de efeito-fixo, a exemplo do procedimento empregado por Lugo et al. (1990).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O peso das frações leve intra-agregado (FLI) e pesada não variou significativamente entre as idades. Apenas a fração leve livre (FLL) apresentou valor significativamente superior na idade de 3 anos, valores intermediários nas idades de 5 e 13 e significativamente inferior na idade de 1 ano. O acúmulo de fração leve é sensível às flutuações de entrada da liteira, sendo influenciado pelo tipo de vegetação e outros fatores que alteram o balanço entre a produção e a decomposição da matéria orgânica (Chistensen, 1992). Assim, a menor massa da FLL observada na idade de 1 ano deve estar relacionada à menor deposição e melhor qualidade dos resíduos vegetais, já que Barreto et al. (2008), nestas mesmas áreas de eucalipto do presente trabalho, observaram aumento da serapilheira acumulada com o aumento da idade e, ainda, aumento no nível de recalcitrância dos resíduos nas idades mais avançadas do eucalipto.

A distribuição de peso das frações diminuiu na ordem: areia > argila > silte > FLL > FLI (Quadro 3). Esse predomínio da fração pesada- areia, seguido das frações pesadas argila e silte é explicado pela distribuição granulométrica das partículas minerais do solo estudado que também segue a ordem: areia (73%) > argila (23%) > silte (4%). Por sua vez, os valores inferiores das frações leves se devem à menor densidade dessa fração (menor do que 1,80 g cm⁻³) que advém de material de baixa densidade (resíduos vegetais) e não se encontra associada às partículas minerais, de maior densidade.

Quadro 3. Distribuição do peso das frações orgânicas de Argissolo (camada 0-10 cm) sob eucalipto em diferentes idades de cultivo

Frações	Idades ⁽¹⁾			
	1	3	5	13
	Peso (g)			
FLL	0,51 (0,1) Dc	1,03 (0,0) Ca	0,61 (0,0) Cb	0,71 (0,1) Cb
FLI	0,04 (0,0) Ea	0,04 (0,0) Da	0,06 (0,0) Da	0,06 (0,0) Da
Argila	2,03 (0,3) Ba	1,89 (0,2) Ba	1,76 (0,1) Ba	2,16 (0,2) Ba
Silte	0,87 (0,1) Ca	0,89 (0,1) Ca	0,85 (0,1) Ca	0,99 (0,2) Ca
Areia	7,23 (0,2) Aa	7,23 (0,2) Aa	7,21 (0,4) Aa	7,10 (0,2) Aa

⁽¹⁾ Idades das plantações de eucalipto em anos; ⁽²⁾Valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão da média (n=4). As letras maiúsculas iguais, na coluna, que comparam as frações em cada idade; e as letras minúsculas iguais, na linha, que comparam o acúmulo de C e os percentuais de cada fração associado ao COT entre as idades não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

Na FLL os teores de C e N foram significativamente superiores na idade de 3 anos e as demais idades não diferiram entre si. O C variou entre 5,04 g C kg⁻¹ e 14,24 g C kg⁻¹ e representou 49,6% do C orgânico total do solo (COT) na idade de 3 anos e cerca de 23,4% do COT nas outras idades. Os teores de N variaram de 0,18 g N kg⁻¹ a 0,52 g N kg⁻¹ (Quadro 4). Resultados semelhantes foram encontrados por Faria et al. (2008) que, analisando os teores de C da FLL do solo entre diferentes idades de cultivo do eucalipto, verificaram teores mais elevados dessa fração na idade de 3 anos (31 meses) em relação a idade de 4,5 anos (54 meses). Esses autores atribuíram este resultado a um maior revolvimento do solo na ocasião do plantio do povoamento de 4,5 anos e ressaltaram que haveria uma tendência de aumento dessa fração com o aumento da idade caso não tivesse ocorrido um maior revolvimento do solo nesse povoamento. O aumento do teor de C da FLL também pode estar relacionado com a quantidade e qualidade do resíduo depositado na superfície do solo e com a reciclagem do sistema radicular, especialmente das raízes finas (Six et al., 1998). Barreto et al. (2008a), nestas mesmas áreas do presente trabalho, encontraram maior teor de C da serapilheira na idade de 3 anos.

Na fração leve intra-agregado, os teores de C e N variaram de 0,33 g C kg⁻¹ a 0,64 g C kg⁻¹ e de 0,01 g N kg⁻¹ a 0,03 g N kg⁻¹. O C representou de 1,4% a 2,2% do COT nesta fração. Verificaram diferenças significativas dos teores de C entre as idades, no entanto, os teores de N não variaram com as idades (Quadro 4). O maior conteúdo de C nesta fração foi encontrado na idade de 3 anos, a exemplo da FLL, no entanto esta diferiu estatisticamente apenas da idade de 1 ano, que apresentou o menor valor. Esse menor teor de C na FLI na idade mais jovem deve-se, provavelmente, à menor deposição de resíduos vegetais (Barreto et al., 2008a) associada à uma baixa proteção física por meio dos agregados em decorrência da menor idade de cultivo. Rangel & Silva (2007), trabalhando

com Latossolo Vermelho distroférico típico, verificaram teores de C na fração leve semelhantes entre mata nativa, eucalipto e pinus, que foram superiores a pastagem e sistemas de cultivo de milho, relacionando este resultado a uma maior proteção física da fração leve. Pinheiro et al. (2004) observaram maior teor de C da FLI em gramínea quando comparado a outras coberturas e sistemas de manejo, e atribuíram esse resultado a um maior aporte de resíduos vegetais, por superfície e subsuperfície, e ao não revolvimento do solo.

Quadro 4. Teores de carbono, nitrogênio (g kg^{-1}) e relação C/N das frações orgânicas de Argissolo (camada 0-10 cm) sob eucalipto em diferentes idades de cultivo

Frações	Idades ⁽²⁾			
	1	3	5	13
Carbono (g kg^{-1} solo)				
FLL	5,04 (2,5) Ab	14,24 (1,9) Aa	5,09 (0,5) Bb	6,32 (1,8) ABb
FLI	0,30 (0,1) Cb	0,64 (0,2) Da	0,38 (0,2) Cab	0,40 (0,1) Cab
Argila	5,06 (0,5) Ac	6,03 (0,3) Bb	7,36 (0,6) Aa	6,60 (0,3) Aab
Silte	3,49 (0,4) Ba	3,76 (1,2) Ca	4,86 (1,2) Ba	4,68 (0,3) Ba
Areia	1,08 (0,1) Ca	1,61 (0,4) Da	1,45 (0,6) Ca	1,36 (0,3) Ca
Nitrogênio (g kg^{-1} solo)				
FLL	0,20 (0,1) Bb	0,52 (0,0) Aa	0,18 (0,0) Cb	0,26 (0,1) Ab
FLI	0,01 (0,0) Da	0,03 (0,0) Ea	0,02 (0,0) Da	0,02 (0,0) Aa
Argila	0,37 (0,0) Ac	0,39 (0,0) Bbc	0,51 (0,1) Aa	0,49 (0,1) Bab
Silte	0,25 (0,0) Ba	0,26 (0,0) Ca	0,32 (0,1) Ba	0,32 (0,1) Ba
Areia	0,11 (0,0) Cb	0,13 (0,0) Db	0,16 (0,1) Cab	0,21 (0,0) Ca
C/N				
FLL	24,92 (1,8) Aa	27,99 (1,9) Aa	27,86 (0,7) Aa	25,64 (2,9) Aa
FLI	24,61 (1,8) Aa	24,98 (0,6) Aa	24,94 (0,8) Aa	24,80 (0,9) Aa
Argila	13,90 (2,2) Ba	15,24 (0,7) Ba	14,38 (0,5) Ba	13,54 (1,0) Ba
Silte	13,89 (0,5) Ba	14,08 (3,9) Ba	15,41 (1,8) Ba	15,20 (1,9) Ba
Areia	11,38 (4,8) Bab	13,00 (1,9) Ba	9,50 (2,9) Cb	6,92 (1,7) Cc

⁽¹⁾Valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão da média (n=4); ⁽²⁾ Idades das plantações de eucalipto em anos. As letras maiúsculas iguais, na coluna, que comparam as frações em cada idade; e as letras minúsculas iguais, na linha, que comparam o acúmulo de C e os percentuais de cada fração associado ao COT entre as idades não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

Os teores de C da MOS associados aos de silte e areia não variaram entre as idades (Quadro 4), entretanto, houve variação dos teores de N na fração areia que foi maior na idade de 13 anos, diferindo apenas das idades de 1 e 3 anos. É provável que esse maior acúmulo de N nas duas maiores idades (5 e 13 anos) esteja associado a uma maior proteção física da matéria orgânica em decorrência do maior acúmulo de serapilheira (Barreto et al., 2008a) e tempo de cultivo das plantações. As frações orgânicas associadas às partículas silte e areia contribuíram, em média, com 17,0 % e 5,5 % do COT, respectivamente. Os

baixos teores e proporção do COT do solo associado à fração areia estão relacionados, segundo Christensen (1992), à reduzida superfície específica e densidade de carga superficial das areias, fazendo com que esta fração apresente pouco ou nenhum material orgânico fortemente ligado, sendo pobre em complexos organominerais.

Os teores de C e N na fração argila foram significativamente maiores na idade de 5 anos, que não diferiu da idade de 13 anos, e menores teores na idade de 1 ano (Quadro 4). A contribuição do C desta fração para o COT seguiu a seguinte ordem decrescente: 28,33% (13 anos) > 27,19% (5 anos) > 22,41% (1 ano) > 20,99% (3 anos), verificando-se, assim, uma tendência de aumento da proporção do COT na fração argila com o aumento da idade, o que sugere um acréscimo das formas mais estáveis de C ao longo do cultivo do eucalipto e, ao mesmo tempo, uma diminuição das formas de C orgânico prontamente disponíveis aos microrganismos, normalmente mais associadas ao C das frações leves e das partículas de areia. Esta tendência de aumento, possivelmente, é resultado do aumento do nível de recalcitrância da serapilheira depositada pelo eucalipto (Barreto et al., 2008a), ou, ainda, da matéria orgânica se encontrar em estágio avançado de decomposição nas maiores idades, havendo na fração argila, um enriquecimento relativo de compostos orgânicos processados pelos microrganismos (Tiessen & Stewart, 1983). Neste contexto, a maior contribuição das frações oxidáveis pouco lábil (F_3) e recalcitrante (F_4) nas maiores idades de eucalipto e da fração lábil (F_1) na idade mais jovem, também constatada nesta tese (Artigo 2), está em concordância com esses resultados.

Em termos comparativos, em geral, as frações leve livre e argila foram as que tiveram maiores conteúdos de C em todas as idades. Contudo, a maior parte dos trabalhos relata maiores conteúdos apenas nas frações pesadas silte e argila, especialmente na fração argila (Freixo et al. 2002a; Rangel & Silva, 2007; Soares et al., 2008), o que pode ser um indício de que o eucalipto favorece a acumulação do C na fração mais lábil. Lima et al. (2008) verificaram que o cultivo do eucalipto em áreas anteriormente ocupadas com pastagens mal manejadas promoveu a recuperação nos estoques de COT e favoreceu o aumento no estoque de C das frações leve livre e argila.

A contribuição do C das frações pesadas para o COT também mostra tendência de aumento com o aumento da idade (3 anos < 1 ano < 5 anos < 13 anos), sendo, em média, 48% do COT. Além disso, o fato deste resultado ser inferior aos observados por outros autores, como exemplo, Freixo et al. (2002), que encontraram contribuição de mais de 70% em Latossolo sob diferentes sistemas de cultivo agrícola, e Rangel et al. (2007), que

verificaram contribuição de mais de 90% em Latossolo cultivado com cafeeiro, sugere uma menor participação das frações pesadas para o COT no solo sob eucalipto.

As frações mais lábeis da MOS (FLL+ FLI) representaram, em média, 31,7 % do COT, sendo este resultado superior aos observados por Freixo et al. (2002) na camada de 0-5 cm de Latossolo sob Cerrado (20,8% do COT) e sob plantio direto (rotação arroz-soja) (9,8% do COT) e por Leite et al. (2003) em Argissolo sob cultivo de milho (7,4% do COT), e, ainda, próximo ao observado por estes mesmos autores em floresta Atlântica (33,5% do COT), o que corrobora, mais uma vez, os resultados obtidos anteriormente, e destaca o eucalipto como sistema acumulador de C orgânico de boa qualidade no solo, já que o C das frações leves está ligado ao suprimento de resíduos orgânicos ao solo (Christensen, 2000) e que a recalitrância química dos materiais constituintes é o único mecanismo de proteção dessa fração e, sendo assim, a falta de proteção física (oclusão ou complexação) torna o material mais acessível ao ataque de microrganismos (Roscoe & Machado, 2002).

Os valores obtidos para relação C/N das frações leves foram superiores aos obtidos para o solo e para as frações pesadas (Quadro 2 e 4), e estiveram entre 24,9 e 28,0 (FLL) e entre 24,6 e 25,0 (FLI), não havendo variação significativa entre as idades. A relação C/N das frações pesadas argila, silte e areia teve valores estatisticamente iguais e estiveram entre 6,9 e 15,4. Freixo et al. (2002) encontraram relação C/N das frações leves e pesadas para a camada de 0-5 cm de Latossolo variando de 16,9 a 24,9 e de 7,7 a 17,4, respectivamente. De acordo com Oades et al. (1987), valores de relação C/N próximos de 20 são indicativos de matéria orgânica composta por produtos vegetais nos primeiros estágios de decomposição, enquanto, relações C/N mais estreitas indicam matéria orgânica mais processada e mais persistente (Buyanovsky et al., 1994).

Não se verificou diferenças significativas na relação C/N das frações pesadas argila e silte entre as idades de cultivo, apenas a relação C/N da fração areia foi maior na idade de 3 anos, mas esta não se distinguiu das idades de 1 e 5 anos. A menor relação C/N da areia na idade de 13 anos demonstra que o material orgânico associado a esta fração encontra-se mais processado que nas demais idades.

CONCLUSÕES

1. O aumento da idade ocasionou aumento da contribuição do C acumulado na fração pesada, redução da contribuição do C da fração leve e uma maior conservação do C presente na fração areia.
2. O conteúdo de C orgânico do solo e sua distribuição nas frações da matéria orgânica está associado à qualidade de compostos orgânicos da serapilheira.
3. O eucalipto demonstrou ser um sistema de produção acumulador de C na fração leve da matéria orgânica.
4. Os teores de C e N da fração leve livre e das frações pesadas demonstram ser indicadores sensíveis de alterações ocasionadas pelo cultivo do eucalipto

LITERATURA CITADA

- ANDERSON, J.D., INGRAM, J.S.I. Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. (2 ed) Wallingford, UK CAB International, 1996, 171p.
- BARRETO, A.C.; FREIRE, M. B. G. S.; NACIF, P. G. S., ARAÚJO, Q. R., FREIRE, F. J. & INÁCIO, E. S. B. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. R. Bras. Ci. Solo, 32: 1471-1478, 2008b.
- BARRETO, P.A.B. Biomassa microbiana e mineralização de carbono e nitrogênio em povoamentos de eucalipto, em uma seqüência de idades. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2004. 86p. (Tese de Mestrado).
- BARRETO, P.A.B.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F. & FONSECA, S. Atividade, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em plantações de eucalipto, em uma seqüência de idades. R. Bras. Ci. Solo, 32: 611-619, 2008a.
- BARROS, N.F. Solos no contexto florestal brasileiro. Viçosa-MG: Folha Florestal, jan/fev, 1993.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F. A. de O. (Eds). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese. cap.2, p.9-26, 1999.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. & PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. Pesq. agropec. bras., Brasília, 39 (7): 677-683, 2004.
- BUYANOVSKY, G.A., ASLAM, M. & WAGNER, G.H. Carbon turnover in soil physical fractions. Soil Science Society of America Journal, 58: 1167-1173, 1994.

- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:777-783, 1992.
- CHAN, K. Y.; BOOOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture leys. *Soil Science*. 166 (1): 61- 67, 2001.
- CHRISTENSEN, B. T. (1992) Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Advances in Soil Sciences*, New York, 20: 1-90.
- CHRISTENSEN, B. T. Organic matter in soil: structure, function and turnover. Tjele: DIAS, 2000. 95 p. (DIAS Report. Plant Production, 30).
- DEFELIPO, B.V., RIBEIRO, A.C. Análise química do solo. Viçosa, UFV. 1981. 17p. (Boletim de Extensão, 29).
- EMBRAPA Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, SNLCS. 1997.412p.
- FARIA, G. E., BARROS, N. F., NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R. & NEVES, J. C. L. Carbono orgânico total e frações da matéria orgânica do solo em diferentes distâncias do tronco de eucalipto. *Scientia Sci. For.*, Piracicaba, 36 (80): 265-277, 2008.
- FELLER, C.; BEARE, N. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, Amsterdam, v. 79, p. 69-116, 1997.
- FRANCHINI, J. C.; CRISPINO, C. C.; SOUZA, R. A.; TORRES, E. & HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in Southern Brazil. *Soil Till. Res.*, 92: 18-29, 2007.
- FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E.; LARRÉ-LARROUY, M. & FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 35, n. 1, p.157-170, jan. 2000.
- FREIXO, A. A.; CANELLAS, L. P.; MACHADO, P. L. O. A. (2002b) Propriedades espectrais da matéria orgânica leve-livre e leve intra-agregado de dois latossolos sob plantio direto e preparo convencional. *R. Bras. Ci. solo*, 26: 445-453, 2002b.
- 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. *R. Bras. Ci. solo*, 26: 425-434, 2002a.
- GALVÃO, S. R. S.; SALCEDO, I. H. & SANTOS, A. C. Frações de carbono e nitrogênio em função da textura, do relevo e do uso do solo na microbacia do agreste em Vaca Brava (PB). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29 (4): 955-962, 2005.
- GARAY, I.; PELLENS, R.; KINDEL, A.; BARROS, E. & FRANCO, A. Evaluation of soil conditions in fast-growing plantations of *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium* in Brazil: a contribution to the study of sustainable land use. *Applied Soil Ecology*, 27:177-187, 2004.
- GAVINELLI, E.; FELLER, C.; LARRÉ-LARROUY, M. C.; BACYE, B. A. A routine method to study soil organic matter by particle-size fractionation: examples for tropical soils. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 26: 1749-1760, 1995.

- GOLLEY, F. B.; MC GINNIS, J. T.; CLEMENTS, R. G.; et al. Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida. São Paulo, Pedagógica e Universitária, 1978. 256p.
- GONÇALVES, J.L.M., STAPE, J.L., BENEDETT, V., FESSEL, V.A.G. & GAVA, J.L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J.L.M. & BENEDETT, V. (Eds) Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba: IPEF, 2000. p.01-58.
- LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. *For. Ecol. Mang.*, 220:242-258, 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. *R. Bras. Ci. solo*, 27: 821-832, 2003.
- LIMA, A. M. N.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; MENDONÇA, E. S.; SMYTH, T. J.; MOREIRA, M. S. & LEITE, F. P. Soil organic carbon dynamics following afforestation of degraded pasture with eucalyptus in southeastern Brazil. *For. Ecol. Manag.*, 235: 219-231, 2006.
- LIMA, A. M. N.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; MENDONÇA, E. S.; DEMOLINARI, M. S. M. & LEITE, F. P. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce - MG. *R. Bras. Ci. Solo*, 32: 1053-1063, 2008.
- LONGO, R. M.; ESPÍNDOLA, C. R. C-orgânico, N-total e substâncias húmicas sob influência na introdução de pastagens (*Brachiaria* sp.) em áreas de cerrado e floresta Amazônica. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Viçosa, 24: 723-729, 2000.
- LUGO, A.E.; CUEVAS, E.; SANCHEZ, M.J. Nutrients and mass in litter and soil of ten tropical tree plantations. *Plant Soil*, 125:263-280, 1990.
- MACEDO, M. O.; RESENDE, A. S.; GARCIA, P. C.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S.; CAMPELLO, E. F. C.; FRANCO, A. A. Changes in soil C and N stocks and nutrient dynamics 13 years after recovery of degraded land using leguminous nitrogen-fixing trees. *Forest Ecology and Management*, 255: 1516–1524, 2008.
- MARY, B.; RECOUS, S.; DARWIS, D. & ROBIN, D. Interaction between decomposition of plant residues and nitrogen and nitrogen cycling in soil. *Plant Soil*, 181:71-82, 1996.
- MENEZES, A. A. Produtividade do eucalipto e sua relação com a qualidade e a classe de solo. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2005. 98p. (Tese de doutorado).
- MONTEIRO, M. T. & GAMA-RODRIGUES, E. F. Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana em diferentes estruturas de serapilheira de uma floresta natural. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:819-826, 2004.
- NAMBIAR, E. K. S. Sustained productivity of forest is a continuing challenge to soil science. *Soil Science Society of America Journal*, 60:1629-1642, 1996.
- NOVAIS, R. F. O eucalipto, felizmente existe. *Jornal SIF edição especial*, Viçosa, Minas gerais. p.1-8, 2007.
- OADES, J.M., VASSALLO, A.M., WATERS, A.G. & WILSON, M.A. Characterization of organic matter in particle size and density fractions from Red-Brown Earth by solid-state ¹³C NMR. *Australian Journal of Soil Research*, 25: 71–82, 1987.

- OLIVEIRA JÚNIOR, A. C.; SILVA, C. A.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G.; RANGEL, O. J. P. Indicadores químicos de qualidade da matéria orgânica de solo da sub-bacia do Rio das Mortes sob manejos diferenciais de cafeeiro. *Quím. Nova*, 31 (7): 1733-1737, São Paulo, 2008.
- PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; MACHADO, P.L.O.A. Fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal em Paty do Alferes (RJ). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Vicososa, v.28: 731-737, 2004.
- POTTKER, D., TEDESCO, M.J. Efeito do tipo e tempo de incubação sobre a mineralização da matéria orgânica e nitrogênio total em solos do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 3: 20-24, 1979.
- 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. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. 2007, 31(6): 1609-1623.
- RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. & GUIMARÃES, P. T. G. Estoque e frações da matéria orgânica de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. 2007, 31(6): 1341-1353.
- REEVES, D.W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Till. Res.*, 43:131-167, 1997.
- REIS, M.G.F., BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. *In: BARROS, N. F., NOVAIS, R. F. (Eds) Relação solo-eucalipto*. Viçosa-MG, Ed. Folha de Viçosa, 1990, p.265-302.
- ROSCOE, R. & MACHADO, P.L.O.A. Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 86p.
- SILVA, C. A.; ANDERSON, S. J.; VALE, F. R. Carbono, nitrogênio e enxofre em frações granulométricas de dois Latossolos submetidos a calagem e adubação fosfatada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 23, p. 593-602, 1999.
- SILVA, I.R. & MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. *In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; FERNANDES, N.; FONTES, R.L.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.
- SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. & DORAN, J. W. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 62, p. 1367-1377, 1998.
- SOARES, E. M. B.; SILVA, C. A.; DIAS, B. O; BETTIOL, W. & BELIZÁRIO, M. H.. Frações da matéria orgânica de Latossolo sob influência de doses de lodo de esgoto. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 43 (9): 1231-1240, 2008.
- SOHI, S.; MAHIEU, N.; ARAH, J.R.M.; POLWSON, D.S.P.; MADARI, B. & GAUNT, J.L. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65:1121-1128, 2001.
- SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B.; SILVA, C.A. & BUZETTI, S. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. *Acta Sci. Agron.*, 28:323-329, 2006.

- SOUZA, W.J.O. & MELO, W.J. Matéria orgânica de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. R. Bras. Ci. Solo, 27:1113-1122, 2003.
- STEVENSON, F.J. Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. New York: J. Wiley, 1985. 380p.
- TIESSEN, H. & STEWRT, J.W.B. Particle-size fractions and their use in studies of soil organic matter. II – Cultivation effects on organic matter composition in size fractions. Soil Science Society of America Journal, v.47, p.509-514, 1983.
- ZINN, Y. L.; RESCK, D. V. S.; SILVA, J. E. Soil organic carbon as affected by afforestation with *Eucalyptus* and *Pinus* in the Cerrado region of Brazil. Forest Ecology and Management, 166: 285-294, 2002.

4.2. ARTIGO 2:

DISTRIBUIÇÃO DAS FRAÇÕES OXIDÁVEIS DO C ORGÂNICO EM SOLOS SOB PLANTACÕES DE EUCALIPTO EM UMA SEQUÊNCIA DE IDADES

RESUMO: Em plantações de eucaliptos bem manejadas, o aporte contínuo de material vegetal senescente proporciona aumento ou manutenção do C orgânico do solo em frações lábeis ou estáveis da matéria orgânica do solo, o que expressa diferenças na sua qualidade, e, portanto, na permanência do C no solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a variação da distribuição de frações oxidáveis do C orgânico em Argissolo sob eucalipto, em diferentes idades de cultivo. Foram coletadas amostras de solo da camada 0-10 cm em plantações de eucalipto de 1, 3, 5 e 13 anos. O C orgânico do solo foi fracionado em condições de crescente oxidação, sendo distribuído em frações de maior ou menor labilidade (Fração 1: lábil; Fração 2: moderadamente lábil; Fração 3: pouco lábil; Fração 4: recalcitrante). O acúmulo médio de C orgânico e de N total do solo (camada de 0-10 cm) nas diferentes idades do eucalipto foi de 34,63 Mg ha⁻¹ e 2,28 Mg ha⁻¹, respectivamente. Em todas as idades, os maiores acúmulos de C oxidável foram observados na fração lábil (F₁), que variou entre 17,0 e 20,6 Mg ha⁻¹ e representou 65% do C orgânico total do solo (COT) na idade de 1 ano e, em média, 52% do COT nas demais idades. A fração de C moderadamente lábil (F₂) não variou entre as idades (média de 6,8 Mg ha⁻¹). A fração de C pouco lábil (F₃) foi significativamente maior na idade de 13 anos em relação às idades de 1 e 3 anos. A contribuição de F₃ no COT seguiu a ordem de 5% (1 ano) < 14% (3 anos) ≤ 17% (5 anos) < 23% (13 anos). A fração de C recalcitrante (F₄) foi significativamente superior na idade de 3 anos, mas significativamente menor nas idades de 1 e 13 anos. A contribuição da fração recalcitrante (F₄) no COT do solo foi de 10% na idade de 1 ano, 16% na idade de 3 anos, 13% na idade de 5 anos e 3% na idade de 13 anos. As frações F₃ e F₄ em conjunto (F₃ + F₄) representaram 15% do COT na idade de 1 ano e cerca de 30% do COT nas demais idades. Houve influência da idade do eucalipto na distribuição das frações oxidáveis do C. A fração de C lábil predominou no estoque de C orgânico dos solos. O estoque de C orgânico do solo está estreitamente associado à qualidade de compostos orgânicos da serapilheira.

Termos de indexação: matéria orgânica do solo, carbono lábil, qualidade do solo, qualidade do *litter* .

ABSTRACT: *DISTRIBUTION OF OXIDIZABLE ORGANIC C FRACTIONS IN SOIL UNDER EUCALYPTUS PLANTATIONS IN AN AGE SEQUENCE*

In eucalypt plantation the even deposition of vegetable residues makes a constant supply of accumulating and sustaining organic C in stable fractions of soil; that means there must be difference among fractions' quality, and carbon maintenance on soil. The objective of this study was to evaluate the distribution of oxidizable organic C fractions in soil under eucalyptus in an age sequence. Soil samples were collected from 0-10cm layer under 1, 3, 5 and 13-year-old eucalypt plantations in Ultisol. Soil organic carbon was fractionated under a gradient in oxidizing conditions, to obtain different labile forms of carbon (fraction 1: labile fraction; fraction 2: moderate labile fraction; fraction 3: low labile fraction and fraction 4: recalcitrant fraction). The average accumulation of total organic C and N in soil (0-10 cm layer) were 34,63 Mg ha⁻¹ and 2,28 Mg ha⁻¹, respectively. In all the ages, the largest accumulation of oxidizable C was observed in the labile fraction (F₁), which vary between 17,0 and 20,6 Mg ha⁻¹ and represented 65% of total organic C content in 1 year old, and on average 52% of total organic C content in the other ages. The moderate labile C fraction (F₂) did not vary among ages (mean: 6,8 mg ha⁻¹). The low labile C fraction (F₃) was higher in 13 years old than 1 and 3 years old. The proportion of F₃ in the total organic C content was in order: 5% (1 year old) <14% (3 years old) ≤ 17% (5 years old) <23% (13 years old). The recalcitrant C fraction (F₄) was high in 3 years old, but low in 1 and 13 years old. The proportion of the recalcitrant fraction (F₄) in the total organic C content was: 3% in 13 years old; 10% 1 year old; 16% in 3 years old and 13% in 5 years old. Fraction 1 and Fraction 2 combined (F₁+F₂) was 15% of the total organic C content in 1 year old and about 30% in other ages. Ages of the eucalyptus showed influence in the oxidizable C fractions. The labile C fraction was the most representative among the oxidizable organic C fractions in these soils. The total organic C in soil was associated with litter quality.

Index terms: soil organic matter, labile carbon, soil quality, litter quality

INTRODUÇÃO

O maior reservatório de C da superfície terrestre está na matéria orgânica do solo (MOS). A redução nos seus estoques constitui um dos principais fatores responsáveis pela emissão do gás carbônico para a atmosfera (Fitzsimmons et al., 2003). Estima-se que a quantidade de C armazenada nos solos seja duas vezes maior que a quantidade presente na atmosfera e na biomassa vegetal (Bruce et al., 1999; Swift, 2001), na faixa de 1.200 a 1.500 Pg (1 Pg = 10^{15} g = 1 bilhão de toneladas) (Anderson, 1995), sendo que quase um terço desse carbono é constituído de formas lábeis com altas taxas de ciclagem (Schimel, 1995).

O C orgânico do solo tem grande influência em praticamente todos os processos edáficos, da agregação ao suprimento de nutrientes para as plantas (Zinn et al., 2002, Stevenson, 1985, Reeves, 1997; Bayer e Mielniczuk, 2008), sendo de fundamental importância na manutenção da sustentabilidade, especialmente em solos tropicais, onde geralmente são encontradas condições químicas restritivas e baixa atividade da fração mineral (Nambiar, 1996; Zinn et al., 2002). O carbono participa do armazenamento e ciclagem de nutrientes, atua sobre a infiltração e armazenamento de água, formação e estabilidade de agregados (Reeves, 1997; Bayer e Mielniczuk, 2008), capacidade de troca de cátions (Bayer e Mielniczuk, 2008, 1997; Reeves, 1997; Longo & Espíndola, 2000), atividade microbiana e fauna do solo (Marin, 2002; Bayer & Mielniczuk, 2008, 1997).

Diversos autores destacam que florestas plantadas, quando bem manejadas, proporcionam aumento ou manutenção do C orgânico do solo, reduzindo as perdas de CO₂ (Barros, 1993; Gama-Rodrigues & Barros, 2002; Melo et al., 2005; Novais, 2007; Gama-Rodrigues et al., 2008; Giácomo et al., 2008), além de contribuir para absorção de excessos atmosféricos antropogênicos deste gás, em decorrência das elevadas taxas de crescimento das espécies florestais utilizadas (Watzlawick et al., 2003; Novais, 2007).

A redução dos estoques de C orgânico do solo ocorre em virtude não só da maior exposição das frações orgânicas aos microrganismos decompositores, principalmente em sistemas de manejo convencionais onde há constante revolvimento do solo (Silva et al., 1999; Tiessen et al., 1992; Parfitt et al., 1997), mas também do menor aporte de C e N nas áreas cultivadas, em relação à floresta (Silva et al., 1999), e da combinação entre alta temperatura e umidade nas regiões tropicais (Castro Filho et al., 1991).

Além da redução da quantidade de C orgânico, também podem ser verificadas alterações na sua qualidade, notadamente no grau de oxidação e labilidade do C (Blair et al., 1995; Shang & Tiessen, 1997). O C pode acumular em frações lábeis ou estáveis da

matéria orgânica do solo, o que expressa diferenças na sua qualidade, e, portanto, na permanência do C no solo (Bayer et al., 2004). De modo geral, os resultados de pesquisas com frações oxidáveis do C evidenciam que culturas agrícolas e, ou, sistemas de manejo que favorecem adições frequentes de resíduos orgânicos ao solo tendem a apresentar maior proporção de C na fração lábil, em comparação com a fração recalcitrante (Blair et al., 1995; Conteh et al., 1998; Chan et al., 2001; Silva, 2008). Blair et al. (1995) verificaram que frações oxidáveis do C foram mais sensíveis para detectar mudanças atribuídas ao cultivo que o C total, podendo ser usadas como indicadores de mudanças na dinâmica do compartimento orgânico do solo.

Chan et al. (2001), visando identificar em quais frações o C está acumulado no solo (frações lábeis e recalcitrantes), propuseram o fracionamento do C orgânico em condições de crescente oxidação, a partir de um gradiente ácido. Esses autores introduziram uma modificação no método clássico de determinação do C desenvolvido por Walkley & Black (1934) que utiliza uma única concentração de ácido sulfúrico (12 mol L^{-1}). Com a modificação proposta por Chan et al. (2001), além desta concentração, são utilizadas mais duas concentrações de ácido sulfúrico, sendo possível separar em quatro frações com graus decrescentes de oxidação, que se distinguem quanto a resistência à mineralização, o que permite uma caracterização qualitativa do C do solo. Esses autores, comparando a eficácia de diferentes espécies de pastagem para restaurar a qualidade do solo, observaram que a maior parte das diferenças (78-92%) entre os tratamentos foi encontrada nas duas frações mais facilmente oxidáveis. Da mesma forma, a análise dessas frações poderia ser usada como indicador de mudanças no C orgânico de solos florestais, no entanto, estudos relacionados a este tema são escassos.

Estudos a respeito da distribuição de frações do C orgânico em solos sob plantações de eucalipto de diferentes idades podem fornecer subsídios importantes para avaliação da influência do tempo de cultivo na dinâmica do C orgânico, uma vez que há uma variação da contribuição de galhos, cascas e folhas das árvores na composição da serapilheira (Reis & Barros, 1990) e do *turnover* de raízes (Gonçalves et al., 2000) com o aumento da idade do eucalipto, interferindo, portanto, na qualidade e quantidade da matéria orgânica do solo. Diante disso, a hipótese do presente trabalho assume que a labilidade do C orgânico em solos sob plantações de eucalipto é reduzida com o aumento da idade das plantações decorrente da diminuição da qualidade da sua serapilheira.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a variação da distribuição de frações oxidáveis do C orgânico em Argissolo sob eucalipto, em diferentes idades de cultivo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em amostras de Argissolo Amarelo distrófico textura média a argilosa sob plantações comerciais de eucalipto, localizadas no município de Aracruz-ES. A região tem relevo plano, clima tropical úmido (com estação chuvosa no verão e seca no inverno), temperatura e precipitação média anual de 23°C e 1400 mm. As áreas de coleta foram selecionadas com base na idade e rotação de cultivo das plantações de eucalipto, compreendendo uma seqüência de idades (1, 3, 5 e 13 anos) em sistema de reforma. E, além disso, no material genético (clone 1501, “*Urograndis*”) e tipo de solo, comum a todas as áreas. O histórico do manejo de preparo do solo e adubação adotados nas áreas está apresentado no Quadro 1 (Barreto et al., 2008).

Quadro 1. Histórico do manejo de preparo do solo e adubação das áreas

Manejo		Plantações ⁽¹⁾			
		1	3	5	13
Preparo do solo		Subsolagem profunda (90 cm)	Subsolagem (40 cm)	Coveamento manual	Coveamento manual
Adubação	Pré-plantio	Fosfato natural reativo (500 kg/ha)	Fosfato natural reativo (400 kg/ha)		
	Plantio	NPK 06-30-06 + 1,0% Zn (133 kg/ha)	NPK 06-30-06 + 1,0% B+ 1,0% Zn (111 kg/ha)	Superfosfato triplo (62 kg/ha)	NPK 06-30-06 (111 kg/ha)
	Cobertura		NPK 10-00-30 (111 kg/ha)		Fosfato acidulado (350 kg/ha)
	Manutenção	Calcário dolomítico (2500 kg/ha) NPK 10-00-30 (300 kg/ha).	Calcário dolomítico (2500 kg/ha) KCl (300 kg /ha) NPK 10-00-30 (300 kg/ha)	Cinza caldeira de biomassa (4000 kg/ha) Superfosfato triplo (150 kg/ha) KCl (100 kg /ha) NPK 20-05-20 (250 kg /ha)	NPK 20-00-20 (160 kg/ha)

⁽¹⁾Plantações por idade (anos), estabelecidas em 12/2002, 08/2000, 10/1998 e 05/1990, respectivamente.

Em cada área estabeleceram-se quatro parcelas (18 x 18 m). Em cada parcela foram coletadas amostras indeformadas com anéis volumétricos para se estimar a densidade do solo e amostras compostas (formadas de 20 amostras simples) com trado holandês, da camada de 0-10 cm. As coletas foram realizadas em novembro de 2003. As amostras de solo foram homogeneizadas, secas ao ar, peneiradas (em malha de 0,2 mm) e trituradas em almofariz.

A caracterização química e física do solo usado no estudo foi feita a partir das análises de pH (em água); P e K (extraíveis por Mehlich-1), Ca, Mg e Al (trocáveis por KCl 1 mol L⁻¹) (Defelipo & Ribeiro, 1981); C orgânico (oxidação com K₂Cr₂O₇ 1,25 mol L⁻¹ em meio ácido) (Anderson & Ingram, 1996); N total (método Kjeldahl) (EMBRAPA, 1997); granulometria pelo método da pipeta e densidade aparente para correção dos estoques estimados de carbono e nitrogênio (EMBRAPA, 1997) (Quadro 2).

O C e N totais do solo foram determinados pelo processo de combustão seca, usando um analisador elementar CHNS/O Perkin Elmer 2400-Série II (configurado no modo CHN), a partir da pesagem de amostras de aproximadamente 8 mg de solo finamente moído (solo macerado em almofariz até a granulometria de talco) em cápsulas de estanho, sendo a digestão processada em câmara de combustão fechada a 925°C.

As frações do C orgânico foram determinadas por oxidação úmida, através do método proposto por Chan et al. (2001). Em frascos erlenmeyer foram adicionadas amostras de 0,5 g de solo moído (< 0,5mm), 10 mL de K₂Cr₂O₇ 0,167 mol L⁻¹ e quantidades de ácido sulfúrico concentrado de 5 e 10 mL, além dos 20 mL especificado por Walkley-Black (1934). Assim, foram preparadas três soluções aquosas ácidas resultantes de proporções 0,5:1, 1:1 e 2:1 (que correspondem, respectivamente, a 6, 9 e 12 mol L⁻¹ de H₂SO₄) para criar um gradiente ácido e permitir a comparação do C oxidável extraído sob condições de crescente oxidação (Walkley, 1947). A oxidação foi realizada com fonte externa de calor (temperatura média de 140°C) e a titulação dos extratos obtidos, que foram dissolvidos com 80 mL de água destilada, foi feita com uma solução de Fe(NH₄)₂(SO₄)₂.H₂O 0,5mol L⁻¹, utilizando-se 3 gotas do indicador difenilamina e 3mL de ácido fosfórico. As quantidades de C oxidável obtidas usando 5, 10 e 20 mL de ácido sulfúrico concentrado foram comparadas entre si e com a concentração de C orgânico total, o que permitiu a separação de quatro frações que se distinguem quanto a resistência à oxidação: a primeira fração, Fração 1 (F₁), é constituída pelo C orgânico oxidável obtido em solução de 6 mol L⁻¹ H₂SO₄ e corresponde a fração lábil do C orgânico; a segunda fração, Fração 2 (F₂), foi obtida pela diferença entre o C orgânico oxidável extraído em solução de 9 mol L⁻¹ e de 6 mol L⁻¹ H₂SO₄ e corresponde a fração moderadamente lábil; a terceira fração, Fração 3 (F₃), foi obtida pela diferença entre o C orgânico oxidável extraído em solução de 12 mol L⁻¹ H₂SO₄ (que equivale ao método Walkley & Black padrão) e o extraído em solução de 9 mol L⁻¹ H₂SO₄ e corresponde a fração pouco lábil; e a quarta fração, Fração 4 (F₄), foi obtida pela diferença entre o C orgânico total (COT), determinado pelo método da combustão seca, e o C oxidável extraído em solução de 12

mol L⁻¹ H₂SO₄. A F₄ é o C orgânico residual, depois da reação com 12 mol L⁻¹ H₂SO₄, e corresponde a fração recalcitrante do C orgânico.

Para interpretação dos resultados as frações foram avaliadas separadamente (F₁, F₂, F₃ e F₄) e também associadas (F₁+F₂ e F₃+F₄), com propósito de verificar diferenças, possivelmente não detectadas através das frações isoladas. Nesse caso, F₁+F₂ foi considerada como sendo constituída por compostos de C mais facilmente oxidáveis e F₃+F₄ constituída por compostos orgânicos mais recalcitrantes.

Quadro 2. Atributos químicos e composição granulométrica de cada um dos solos sob plantações de eucalipto

Atributo	Idades ⁽¹⁾			
	1	3	5	13
pH	4,8a	4,6a	4,7a	4,5a
P (mg dm ⁻³)	9,6b	6,7b	19,8a	10,0b
Al (Cmolc dm ³)	0,5a	0,6a	0,5a	0,8a
H+Al (Cmolc dm ³)	0,9b	1,7a	0,9b	0,9b
K (Cmolc dm ³)	0,13a	0,08b	0,09b	0,08b
Ca (Cmolc dm ³)	1,6a	1,3ab	0,6c	0,9bc
Mg (Cmolc dm ³)	0,6a	0,6a	0,4 ^a	0,5a
C (Mg ha ⁻¹)	26,0b	40,7a	38,3a	33,5ab
N total (Mg ha ⁻¹)	1,8b	2,3ab	2,4ab	2,5a
Dap ⁽²⁾ (kg dm ⁻³)	1,3b	1,4ab	1,4ab	1,4a
Argila (g kg ⁻¹)	240,9a	212,3a	228,4 ^a	243,4a
Areia (g kg ⁻¹)	718,9a	755,1a	724,4 ^a	719,4a
Silte (g kg ⁻¹)	40,2a	32,5a	47,2 ^a	37,2 ^a

⁽¹⁾ Idades- Idades das plantações de eucalipto em anos; ⁽²⁾ Dap- Densidade aparente. Médias seguidas de letras iguais, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

Foram calculadas a proporção percentual de C das frações oxidáveis em relação ao C orgânico total do solo (COT) (Quadro 3) e a relação (F₃+F₄):(F₁+F₂) que representa qual a forma de predominância do C no solo (se < 1, na forma mais lábil; se > 1, na forma mais recalcitrante).

O C e N totais e C das frações oxidáveis acumulados (Mg ha⁻¹) foram estimados considerando os teores de C e N, em g kg⁻¹; a densidade aparente do solo e a profundidade de 0-10 cm.

Os dados foram submetidos ao teste de Lilliefors para avaliação de aderência à distribuição normal e ao teste de Bartlett para avaliação de homogeneidade das variâncias. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância como em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Adotou-se o teste F a 5%, para comparação

entre idades. De forma complementar utilizou-se para comparação de médias, o teste de Tukey a 5%. Cada idade foi considerada um tratamento de efeito-fixo, a exemplo do procedimento empregado por Lugo et al. (1990).

Foram estabelecidas correlações de Pearson a 5% entre o C orgânico total do solo e C das frações oxidáveis com resultados de qualidade da serapilheira (teores de lignina, polifenóis e celulose) obtidos por Barreto et al. (2008) e por Barreto (2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os solos amostrados são de elevada acidez, média fertilidade e textura franco argilo arenosa (Quadro 2). Os maiores acúmulos de C foram encontrados nas idades de 3 e 5 anos que foram estatisticamente superiores apenas em relação à idade de 1 ano. O acúmulo de N total, por sua vez, foi superior na idade de 13 anos que, também, somente se diferenciou da idade de 1 ano. Essa maior quantidade de C e N acumulado no solo sob as maiores idades (3, 5 e 13 anos) deve-se, provavelmente, à maior deposição de resíduos vegetais. Barreto et al. (2008), estudando as mesmas plantações do presente trabalho, verificaram menor acumulação de serapilheira na idade de 1 ano.

O acúmulo médio de C orgânico e de N total do solo (camada de 0-10 cm) nas diferentes idades do eucalipto foi de 34,63 Mg ha⁻¹ e 2,28 Mg ha⁻¹, respectivamente (Quadro 2). Neves et al. (2004) encontraram 26,5 Mg ha⁻¹ de C acumulado em Latossolo Vermelho distrófico, com alto teor de argila (camada 0-20 cm), sob sistemas agrossilvipastoris de eucalipto, enquanto Andrade et al. (2005) encontraram 35,18 Mg ha⁻¹, na camada 0-10 cm de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, com textura média, sob plantações de eucalipto. Já os valores de N acumulado observados por esses mesmos autores (1,36 Mg N ha⁻¹) são inferiores aos do presente estudo.

Em todas as idades, os maiores acúmulos de C oxidável foram observados na fração lábil (F₁), que variou entre 17,0 e 20,6 Mg ha⁻¹ e representou 65% do C orgânico total do solo (COT) na idade de 1 ano e, em média, 52% do COT nas demais idades (Quadro 3). A razão (F₃+F₄):(F₁+F₂) na idade de 1 ano foi de 0,18 e sugere a presença de mais C lábil nesta idade. A média desta razão para as demais idades foi de 0,42. Esses resultados evidenciam a provável influência da serapilheira, já que com o aumento da idade do eucalipto, há um maior aporte de fitomassa sobre o solo com maior contribuição

de galhos e cascas (Reis & Barros, 1990), o que confere maior recalcitrância ao material depositado no solo nas idades acima de 1 ano. Barreto et al. (2008), nestas mesmas áreas de eucalipto do presente trabalho, verificaram menor acúmulo de serapilheira e menores relações lignina:N, celulose:N e teor de lignina na idade de 1 ano, o que expressa menor recalcitrância do material depositado nesta idade. Entretanto, Silva (2008) observou que o cultivo de eucalipto (reformado) recuperou as frações oxidáveis mais lábeis que atingiram valores similares ao da mata nativa. Culturas agrícolas e, ou, sistemas de manejo que favorecem adições freqüentes de material orgânico de alta qualidade ao solo apresentam maior proporção de C na fração lábil, em relação à fração recalcitrante (Blair et al., 1995; Conteh et al., 1998; Chan et al.; 2001; Andrade et al., 2005; Silva, 2008).

A fração de C moderadamente lábil (F_2) não variou entre as idades (média de 6,8 Mg ha⁻¹), mas foi a segunda fração de maior estoque nas idades de 1, 3 e 5 anos, representando, em média, 20% do COT nestas idades. Na idade de 13 anos, F_2 contribuiu em torno de 19% para o COT do solo. A fração de C pouco lábil (F_3) foi significativamente maior na idade de 13 anos em relação às idades de 1 e 3 anos. A contribuição de F_3 no COT seguiu a ordem de 5% (1 ano) < 14% (3 anos) ≤ 17% (5 anos) < 23% (13 anos) (Quadro 3). A fração pouco lábil (F_3) correlacionou-se positivamente com o teor de lignina da serapilheira (dados extraídos de Barreto et al., 2008) das diferentes idades ($r = 0,80$; $p < 0,05$). Altos teores de lignina favorecem o maior acúmulo de C na fração pouco lábil como consequência da sua alta resistência à decomposição (Swift et al., 1979). Este resultado também suporta a hipótese de que a maior contribuição de galhos, cascas e raízes, materiais mais recalcitrantes, na composição da serapilheira com o aumento da idade do eucalipto, estaria influenciando a qualidade do C orgânico do solo.

A fração de C recalcitrante (F_4), por sua vez, foi significativamente superior na idade de 3 anos, mas significativamente menor nas idades de 1 e 13 anos (Quadro 3). A contribuição da fração recalcitrante (F_4) no COT do solo foi 10% na idade de 1 ano, 16% na idade de 3 anos, 13% na idade de 5 anos e 3% na idade de 13 anos. As frações F_3 e F_4 em conjunto ($F_3 + F_4$) representaram 15% do COT na idade de 1 ano e cerca de 30% do COT nas demais idades. Esses resultados estão de acordo com Chan et al. (2001), que observaram que as frações F_3 e F_4 contribuíram com cerca de 35% do COT em solos sob pastagem. A maior contribuição das frações pouco lábil e recalcitrante nas maiores idades de eucalipto corrobora, mais uma vez, os resultados obtidos anteriormente de que com o aumento da idade de eucalipto há um aumento do nível de recalcitrância da serapilheira depositada que promove uma alteração na qualidade do C orgânico acumulado no solo.

A hipótese do presente trabalho assume que a labilidade do C orgânico em solos sob plantações de eucalipto é reduzida com o aumento da idade das plantações decorrente da diminuição da qualidade da sua serapilheira. Assim, encontrou-se correlação positiva significativa da fração F₁ com o teor de celulose ($r = 0,59$, $p < 0,01$) e da fração F₂ com o teor de lignina ($r = 0,48$, $p < 0,05$). Estas correlações sugerem que a celulose e a lignina apresentariam variações em seu grau de degradabilidade e, portanto, estariam favorecendo a acumulação de formas lábeis e moderadamente lábeis de C no solo. A soma das frações pouco lábil e recalcitrante (F₃ + F₄) também se correlacionou positivamente com os teores de celulose, polifenóis e lignina ($r = 0,72$, $p < 0,01$; $r = 0,41$, $p < 0,05$ e $r = 0,69$, $p < 0,01$, respectivamente).

Quadro 3. Frações do carbono orgânico e sua contribuição relativa no C orgânico total de solos sob plantações de eucalipto em diferentes idades

Fração s	Idades ⁽¹⁾			
	1	3	5	13
	Carbono (Mg ha ⁻¹)			
F ₁ ⁽²⁾	17,00 (0,9) Ab	20,60 (1,1) Aa	18,81 (5,8) Aab	18,75 (1,7) Aab
F ₂	5,02 (0,8) Ba	7,98 (1,1) Ba	7,88 (0,8) Ba	6,21 (1,1) Ba
F ₃	1,21 (0,8) Cc	5,49 (2,0) Bb	6,37 (1,9) Bab	8,81 (0,8) Ba
F ₄	2,79 (2,2) Cc	6,62 (2,5) Ba	5,20 (2,5) Bb	1,00 (0,6) Cc
	Contribuição relativa (%) ⁽³⁾			
F ₁	65,39 (2,1) ⁽⁴⁾ a	50,74 (3,4) b	48,31 (4,9) b	55,92 (1,8) b
F ₂	21,41 (3,8) a	19,58 (2,3) a	19,46 (4,9) a	18,67 (4,0) a
F ₃	4,79 (3,2) c	13,51 (5,2) b	16,92 (4,7) b	23,29 (2,0) a
F ₄	10,35 (7,8) b	16,17 (6,0) a	13,36 (5,1) ab	2,90 (1,8) c

⁽¹⁾ Idades em anos; ⁽²⁾ F₁- C oxidado por K₂Cr₂O₇ em meio ácido de 3 mol L⁻¹ de H₂SO₄; F₂- diferença do C oxidado por K₂Cr₂O₇ em meio ácido, com 6 e 3 mol L⁻¹ H₂SO₄; F₃- diferença do C oxidado por K₂Cr₂O₇ em meio ácido, com 9 e 6 mol L⁻¹ H₂SO₄; F₄- diferença do C oxidado por K₂Cr₂O₇ em meio ácido, com 12 e 9 mol L⁻¹ H₂SO₄; COT- C orgânico total obtido por combustão seca.

⁽³⁾ Contribuição relativa de cada uma das frações de C oxidável em relação ao C orgânico total do solo. ⁽⁴⁾ Valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão da média (n=8). As letras maiúsculas iguais, na coluna, que comparam as frações em cada idade; e as letras minúsculas iguais, na linha, que comparam o acúmulo de C e os percentuais de cada fração associado ao COT entre as idades não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

Essas correlações evidenciam que as diferenças nos estoques das frações de C orgânico do solo sob plantações de eucalipto, principalmente nos solos de tabuleiro, decorrem do fato de que, no processo de decomposição da serapilheira acumulada não haveria, de acordo com a espécie florestal, a imediata degradação de compostos orgânicos para CO₂ e H₂O, mas, sim, a formação de materiais mais resistentes à degradação nas diversas etapas da decomposição, sendo convertidos em húmus ou material húmico pelo processo de humificação, proporcionando, desse modo, a acumulação de C no solo (Gama-Rodrigues et al., 1999). A decomposição da serapilheira de ecossistemas florestais resulta

em um aparente aumento do conteúdo de lignina do solo, dada a preferencial decomposição de carboidratos (Tan, 1994).

No processo de decomposição da serapilheira inicialmente ocorre a colonização por bactérias, ascomicetos e fungos imperfeitos que consomem os componentes menos recalcitrantes. Em seguida a celulose é degradada por processos de natureza hidrolítica, permanecendo o material lignificado que é primeiramente modificado mecanicamente pela fauna (minhocas, térmitas, gastrópodes e miriápodes). Neste processo há liberação de celulose degradável. Este material modificado, mas ainda lignificado é colonizado por basidiomicetos que irão degradá-lo posteriormente pela ação de enzimas modificadoras da lignina. A degradação da lignina é um processo multienzimático resultante da ação coordenada de uma série de enzimas intra e extracelulares, do grupo das oxidoreduases (representadas por peroxidases, lacases e outras oxidases) produtoras de peróxido de hidrogênio e de metabólitos intermediários de baixa massa molecular (Tuomela et al. 2000, Shan & Nerud 2002, Cantarella et al. 2003).

CONCLUSÕES

1. O aumento da idade ocasionou redução da contribuição do C das frações mais lábeis para o C orgânico total do solo e aumento da contribuição do C das frações mais recalcitrantes.
2. Em todas as idades de cultivo, a fração de C lábil predominou no estoque de C orgânico dos solos.
3. O estoque de C orgânico do solo está estreitamente associado à qualidade de compostos orgânicos da serapilheira.

LITERATURA CITADA

- ANDERSON, D. W. Decomposition of organic matter and carbon emissions from soils. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E. Soils and global change. Boca Raton: CRC Press, 1995 p. 165 – 175.
- ANDERSON, J.D., INGRAM, J.S.I. Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. (2 ed) Wallingford, UK CAB International, 1996, 171p.

- 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. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa, 29 (5): 803-816, 2005.
- BARRETO, P.A.B. Biomassa microbiana e mineralização de carbono e nitrogênio em povoamentos de eucalipto, em uma seqüência de idades. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2004. 86p. (Tese de Mestrado).
- BARRETO, P.A.B.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F. & FONSECA, S. Atividade, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em plantações de eucalipto, em uma seqüência de idades. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:611-619, 2008.
- BARROS, N.F. Solos no contexto florestal brasileiro. Viçosa-MG: Folha Florestal, jan/fev, 1993.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de culturas. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, 21: 105-112, 1997.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F. A. de O. (Eds). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole. cap.2, p.7-18, 1999.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. & PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 39 (7): 677-683, 2004.
- BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian Journal of Agricultural Research*, Victoria, 46: 1459-1466, 1995.
- BRUCE, J.P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R. & PAUSTIAN, K. Carbon sequestration in soils. *Journal Soil Water and Conservation*, v.54, p.382-389, 1999.
- CANTARELLA, G., GALLI, C. & GENTILI, P. Free radical versus electron-transfer routes of oxidation of hydrocarbons by laccase/mediator systems: Catalytic or stoichiometric procedures. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*. 22: 135-144, 2003.
- CASTRO FILHO, C.; VIEIRA, M. J.; CASÃO JÚNIOR, R. Tillage methods and soil and water conservation in southern Brazil. *Soil Tillage*, Amsterdam, v. 20, p. 271-283, 1991.
- CHAN, K. Y.; BOOOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture leys. *Soil Science*. 166 (1): 61- 67, 2001.
- CHRISTENSEN, B. T. Organic matter in soil: structure, function and turnover. Tjele: DIAS, 2000. 95 p. (DIAS Report. Plant Production, 30).
- CONTEH, A.; BLAIR, G. L. & ROCHESTER, I. J. Soil organic carbon fractions in a Vertisol under irrigated cotton production as affected by burning and incorporating cotton stuble. *Aust. J. Soil Res.*, 36: 655-667, 1998.
- DEFELIPO, B.V., RIBEIRO, A.C. Análise química do solo. Viçosa, UFV. 1981. 17p. (Boletim de Extensão, 29).
- EMBRAPA Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de

- métodos de análise de solos. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, SNLCS. 1997.412p.
- FITZSIMMONS, M.J.; PENNOCK, D.J.; THORPE, J. Effects of deforestation on ecosystem carbon densities in central Saskatchewan, Canada. *Forest Ecology and Management*, v.188, p.349-361, 2003.
- GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dandá no sudoeste da Bahia, Brasil. *Rev. Árvore*, v.26, n.2, p.193-207, 2002.
- GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F. & MENDONÇA, E.S. Alterações edáficas sob plantios puros e mistos de espécies florestais nativas do sudeste da Bahia, Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:581-592, 1999.
- GAMA-RODRIGUES, E.F.; BARROS, N.F.; VIANA, A. P. & SANTOS, G.A. Alterações na biomassa e na atividade microbiana da serapilheira e do solo, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações de eucalipto, em diferentes sítios da região sudeste do Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1489-1499, 2008.
- GIÁCOMO, R. G. ; PEREIRA, M. G. & BALIEIRO, F. C. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição das frações húmicas no solo sob diferentes coberturas florestais. *Rev. Bras. Ciênc. Agrár. Recife*, 3 (1): 42-48, 2008.
- GONÇALVES, J.L.M., STAPE, J.L., BENEDETT, V., FESSEL, V.A.G., GAVA, J.L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J.L.M. & BENEDETT, V. (Eds) *Nutrição e fertilização florestal*. Piracicaba: IPEF, 2000. p.01-58.
- LONGO, R. M.; ESPÍNDOLA, C. R. C-orgânico, N-total e substâncias húmicas sob influência na introdução de pastagens (*Brachiaria* sp.) em áreas de cerrado e floresta Amazônica. *Revista Brasileira Ciência do Solo, Viçosa*, 24: 723-729, 2000.
- LUGO, A.E.; CUEVAS, E.; SANCHEZ, M.J. Nutrients and mass in litter and soil of ten tropical tree plantations. *Plant Soil*, 125:263-280, 1990.
- MARIN, A. M. P. Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo. 2002. 83f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2002.
- MELO, J. T.; RESCK, D. V. S. & GOMES, A. C. Efeitos de procedências de *Eucalyptus cloeziana* sobre os teores de nutrientes e de C orgânico em solo de Cerrado. Planaltina-DF: EMBRAPA Cerrados (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento), 2005, 16p.
- NAMBIAR, E. K. S. Sustained productivity of forest is a continuing challenge to soil science. *Soil Science Society of America Journal*, 60:1629-1642, 1996.
- NEVES, C. M. N., SILVA, M. L. N., CURI, N., MACEDO, R. L. G., TOKURA, A. M. Estoque de C em sistemas agrossilvipastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo convencional na região Noroeste do Estado de Minas Gerais. *Ciênc. Agrotec.*, Lavras, 28: 1038-1046, 2004.
- NOVAIS, R. F. O eucalipto, felizmente existe. *Jornal SIF edição especial, Viçosa, Minas Gerais*. p.1-8, 2007.
- PARFITT, R.L.; THENG, J.S.; WHITTON, J.S. & SHEPHERD, T.G. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. *Geoderma*, 75:1-12, 1997.
- REEVES, D.W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Till. Res.*, 43:131-167, 1997.

- REIS, M.G.F., BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N. F., NOVAIS, R. F. (Eds) *Relação solo-eucalipto*. Viçosa-MG, Ed. Folha de Viçosa, 1990, p.265-302.
- SCHIMMEL, D. S. Terrestrial Ecosystems and the Carbon-Cycle. *Global Change Biology*, v. 1, n. 1, p. 77-91, 1995
- SHAN, V. & NERUD, F. Lignin degrading system of white-rot fungi and its exploitation for dye decolorization. *Can. J. Microbiol.* 48:857-870, 2002.
- 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, 162 (11): 795-807, 1997.
- SILVA, C. A.; ANDERSON, S. J.; VALE, F. R. Carbono, nitrogênio e enxofre em frações granulométricas de dois Latossolos submetidos a calagem e adubação fosfatada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 23, p. 593-602, 1999.
- SILVA, E. F. Frações da matéria orgânica e decomposição de resíduos de colheita de eucalipto em solos de tabuleiros costeiros da Bahia. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2008. 110p. (Tese de Doutorado).
- STEVENSON, F.J. *Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients*. New York: J. Wiley, 1985. 380p.
- SWIFT, M.J.; HEAL, O.W. & ANDERSON, J.M., eds. The influence of resource quality on decomposition processes. In: *DECOMPOSITION in terrestrial ecosystems*. Berkeley, University of California Press, 1979. p.118-166.
- SWIFT, R.S. Sequestration of carbon by soil. *Soil Science*, v.166, p.858-871, 2001.
- TAN, K.H. *Environmental soil science*. New York, Marcel Dekker, 1994. 304p.
- TIESSEN, H.; SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, E.V.S.B. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semiarid northeastern Brazil. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 38:139-151, 1992.
- TUOMELA, M., VIKMAN, M., HATAKKA, A., ITAVAARA, M. Biodegradation of lignin in compost environment: a review. *Bioresour. Technol.*, 169-183, 2002.
- WALKLEY, A. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and organic soil constituents. *Soil Science*, 63: 251-263, 1947.
- WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29 –38, 1934
- WATZLAWICK, L.F.; SANQUETTA, C.R.; ARCE, J.E. & BALBINOT, R. Quantificação de biomassa total e carbono orgânico em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze no Sul do Estado do Paraná, Brasil. *Ver. Ciências Agrárias e Ambientais*, Curitiba, v.1, n.2, p. 63-68, 2003.
- ZINN, Y. L.; RESCK, D. V. S.; SILVA, J. E. Soil organic carbon as affected by afforestation with *Eucalyptus* and *Pinus* in the Cerrado region of Brazil. *Forest Ecology and Management*, 166: 285-294, 2002.

4.3. ARTIGO 3:

DISTRIBUIÇÃO DE FRAÇÕES OXIDÁVEIS DO C ORGÂNICO EM FUNÇÃO DA TEXTURA DE SOLOS SOB SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE CACAU NO SUL DA BAHIA, BRASIL

RESUMO: Em sistemas agroflorestais (SAF) de cacau, o aporte contínuo de material senescente da parte aérea e do sistema radicular do cacau e da espécie sombreadora favorece o acúmulo de matéria orgânica e, por conseguinte, de C orgânico no solo, gerando impactos à superfície e abaixo da superfície, o que torna estudos que incluam amostragens de solo em camadas mais profundas de suma importância. O objetivo deste trabalho foi avaliar a variação da distribuição das frações do C orgânico em função da textura de solos sob sistemas agroflorestais de cacau. O estudo foi conduzido em duas áreas de cacau sombreado com eritrina, pertencentes a dois tipos de solos: Latossolo e Cambissolo, com textura argilosa e franca, respectivamente. Foram coletadas amostras de solo das camadas 0-5, 5-15, 15-30 e 30-50 cm. O C orgânico do solo foi fracionado em condições de crescente oxidação, sendo distribuído em frações de maior ou menor labilidade (Fração 1: fração lábil; Fração 2: fração moderadamente lábil; Fração 3: fração pouco lábil; Fração 4: fração recalcitrante). Os estoques de C e N totais do solo e de C das frações em cada uma das profundidades foi maior no Latossolo do que no Cambissolo. O estoque de C acumulado na profundidade 0-50 cm do Latossolo foi de 93,79 Mg ha⁻¹, o que representa 35% a mais que o Cambissolo (60,79 Mg ha⁻¹). Houve diminuição dos teores e estoques de C, totais e das frações, com o aumento da profundidade do solo. Houve diferenças significativas das frações 1, 2 e 4 entre os dois solos, mas a maioria das diferenças em todas as profundidades foi encontrada na fração 1 (F₁). Os teores de F₁ variaram de 6,89 a 18,95 g kg⁻¹ (Latossolo) e 3,29 e 14,58 g kg⁻¹ (Cambissolo), o que representa de 52 a 55 % e 55 a 61% do C orgânico total do Latossolo e Cambissolo, respectivamente. Houve influência da textura e profundidade do solo nos estoques de C e N e na distribuição das frações oxidáveis. A fração 1 foi um indicador mais sensível de mudanças na qualidade do C orgânico. O C orgânico dos solos se apresentou predominantemente na forma de C mais lábil.

Termos de indexação: *Theobroma cacao*, profundidades do solo, matéria orgânica do solo, carbono lábil

ABSTRACT: *DISTRIBUTION OF OXIDIZABLE ORGANIC C FRACTIONS AS AFFECTED BY TEXTURE OF SOILS UNDER CACAO AGROFLORESTRY SISTEMES IN SOUTHERN BAHIA, BRAZIL*

In cacao agroforestry systems, continuous organic matter inflow from either aerial parts or root system from cacao and from shadowing species, contributes to accumulate organic matter and also, consequently, to accumulate organic C in soil, determining impacts on soil surface and also below its surface. It becomes necessary to study soil samples from different classes of depth, to include those from deepest classes. In this study we aimed to evaluate variation on organic carbon (C) fractions distribution, according to texture, in soils under cacao agroforestry systems. The study was carried out on two areas under cacao agroforestry systems with *erythrina* spp. as shade trees, in two soil classes: Oxisol presenting clayey texture, and Inceptisol presenting loam texture. Soil samples were collected from four depth classes (0-5, 5-10, 10-30 and 30-50 cm). Organic C in soil was fractioned under growing oxidization conditions, then distributed among four C fractions with different labile forms of carbon (fraction 1: labile fraction; fraction 2: moderate labile fraction; fraction 3: low labile fraction and fraction 4: recalcitrant fraction). Amounts of total carbon, total nitrogen, and organic C from each fraction were always higher, from each depth classes, in Oxisol than the ones found in Inceptisol. Accumulated C amount found on 0-50 cm deep layer was 93,79 mg ha⁻¹, in Oxisol, that means 35% higher than it was found in Inceptisol (60,79 Mg ha⁻¹). Total C and organic C fractions declined with increase in soil depth. There were significant differences among fractions 1, 2, and 4 between both classes of soil, but most differences, in all depths, were in fraction 1 (F₁). F₁ values varied from 6,89 to 18,95 g kg⁻¹ (Oxisol) and from 3,29 to 14,58 g kg⁻¹ (Inceptisol), these represent 52 to 55% of organic C in Oxisol and 55 to 61% of organic C in Inceptisol. Texture of the soil and depth showed relevant influence on amounts of total N and total C and on oxidizable organic C distribution among fractions. Fraction 1 was most sensitive indicator on organic C quality changes. Organic C in soils was mostly found in higher labile fraction, in all depths.

Index terms: *Theobroma cacao*, soil depth, soil organic matter, labile carbon

INTRODUÇÃO

Em solos tropicais e subtropicais, o C orgânico tem grande contribuição na fertilidade e melhoria das características químicas, físicas e biológicas do solo (Stevenson, 1985; Nambiar, 1996; Reeves, 1997; Bayer e Mielniczuk, 1999; Garay et al., 2004; Lal., 2005; Franchini et al., 2007; Silva & Mendonça, 2007), sendo sua manutenção de fundamental importância para a sustentabilidade. O C orgânico atua diretamente sobre as propriedades do solo, uma vez que constitui fonte de energia para a biomassa microbiana (Marin, 2002), participa do armazenamento e ciclagem de nutrientes, está ligado à disponibilidade de água para as plantas, infiltração, formação de agregados, densidade e resistência do solo (Reeves, 1997), além de influenciar a capacidade de troca de cátions (Bayer e Mielniczuk, 1999, 1997; Reeves, 1997; Longo & Espíndola, 2000; Canellas et al., 2000). Neste sentido, os sistemas agroflorestais (SAF) de cacau são efetivos em melhorar e conservar a qualidade do solo, já que proporcionam aporte contínuo de material senescente da parte aérea e do sistema radicular do cacau e da espécie sombreadora, o que favorece um maior acúmulo de matéria orgânica e, por conseguinte, de C orgânico no solo, gerando impactos à superfície e abaixo da superfície, especialmente em decorrência da existência de raízes longas do componente florestal que se aprofundam no solo.

A conservação do C orgânico do solo, além de representar um fator decisivo para a sustentabilidade de sistemas de uso da terra nos trópicos, também representa um caminho eficiente para a redução da emissão de CO₂ através da agricultura, e mesmo para absorver excessos atmosféricos antropogênicos deste gás (Lal, 2001). Existem evidências de que práticas conservacionistas, pastagens bem manejadas, florestas plantadas e sistemas agroflorestais, podem reduzir drasticamente as perdas de carbono, mantendo-se os níveis de matéria orgânica do solo (MOS) ou até mesmo aumentando-os (Freixo et al., 2002; Siqueira Neto, 2003; D'Andréa et al., 2004; Barreto et al., 2006; Fontes, 2006). Assim, enquanto sistemas convencionais, com intenso revolvimento do solo, atuam como uma fonte de C para atmosfera, os sistemas agroflorestais de cacau, pela manutenção dos resíduos no solo, atuam mais como um dreno de C atmosférico, o que pode representar uma importante contribuição da agricultura para atenuar a concentração de dióxido de C na atmosfera e nas mudanças climáticas globais.

O carbono orgânico do solo é considerado o mais importante indicador de qualidade do solo e sustentabilidade (Larson e Pierce, 1991; Cannell e Hawes, 1994; Reeves, 1997; Brejda, 2000; Murage et al., 2000). Muitos métodos convencionais, usados

na determinação do C orgânico, foram desenvolvidos para maximizar a oxidação e recuperação do C (Walkley e Black, 1934; Heanes, 1984; Nelson e Sommers, 1982), contudo vários estudos têm mostrado que o C orgânico total pode não ser um indicador sensível de alterações na qualidade do solo (Blair et al., 1995; Gama-Rodrigues, 1997; Blair, 2000; Chan et al., 2001; Leite et al., 2003; Barreto et al., 2008) e que certas frações do C orgânico são mais sensíveis para detectar os efeitos das práticas de manejo (Cambardella e Elliott, 1992; Blair et al. 1998; Chan et al., 2001; Freixo et al., 2002). Assim, o C orgânico do solo vem sendo sistematicamente quantificado tanto na forma de teores totais quanto em diferentes compartimentos no solo.

Diversas técnicas de fracionamento físico e químico para separar e isolar frações do C orgânico total do solo (COT) têm sido propostas (Christensen, 1992; Cambardella & Elliot, 1992; Feller & Beare, 1997; Sohi et al., 2001; Blair et al. 1995; Chan et al., 2001). O grau de oxidação e labilidade do C tem sido utilizado para verificar mudanças na qualidade da matéria orgânica em solos cultivados (Blair et al., 1995; Shang & Tiessen, 1997; Blair et al., 1998; Blair, 2000; Chan et al., 2001; Chan et al., 2002; Rangel et al., 2008).

A distribuição do C, em frações lábeis ou estáveis da matéria orgânica do solo, pode ter implicações nas alterações das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, bem como na durabilidade do seu efeito quanto à retenção de C atmosférico (Bayer et al., 2004). Assim, visando identificar em quais frações o C está acumulado no solo, Chan et al. (2001) propuseram o fracionamento do C orgânico em condições de crescente oxidação. Esses autores introduziram uma modificação no método clássico de determinação do C desenvolvido por Walkley & Black (1934) que utiliza uma única concentração de ácido sulfúrico (12 mol L^{-1}). Com a modificação proposta por Chan et al. (2001), além desta concentração, são utilizadas mais duas concentrações de ácido sulfúrico, sendo possível separar quatro frações com graus decrescentes de oxidação, que se distinguem quanto a resistência à mineralização, fornecendo uma caracterização qualitativa do C do solo.

Com base no procedimento descrito por Chan et al. (2001), Rangel et al. (2008), avaliando a distribuição de frações do C orgânico em solo cultivado com cafeeiro, encontraram cerca de 50% do C orgânico do solo na fração mais lábil.

A maior parte dos estudos de matéria orgânica do solo MOS tem sido voltada para as camadas superficiais do solo (0-20 cm). Não é comum se encontrar incrementos significativos nos estoques de C orgânico total em profundidade (Baker et al., 2007), todavia, pequenas alterações no estoque total de C do solo podem ser dificilmente

detectáveis em curto prazo, o que destaca a importância de se avaliar frações do C orgânico.

No caso dos sistemas agroflorestais, onde há aporte significativo de resíduo vegetal da parte aérea e do sistema radicular que se aprofunda no solo, especialmente pelo componente florestal, estudos que incluam amostragens de solo em camadas mais profundas tornam-se de suma importância. Apesar disso, poucos são os trabalhos sobre mudanças na quantidade e qualidade do C orgânico ao longo do perfil de solos sob estes sistemas, o que justifica o estudo da distribuição do C orgânico em diferentes frações. Dessa forma, este trabalho teve como objetivo avaliar a variação da distribuição das frações do C orgânico em função da textura de solos sob sistemas agroflorestais de cacau.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em duas áreas sob sistema agroflorestal de cacau no sul da Bahia, pertencentes a dois tipos de solos: Latossolo Vermelho Amarelo (Latossolo) e Cambissolo Húmico Eutrófico gleico (Cambissolo), onde o cacau participa como principal componente e é sombreado por *Erythrina glauca* (com 35 anos e 25 anos nas áreas sob Latossolo e Cambissolo, respectivamente). A área sob Latossolo está localizada no município de Uruçuca, BA e a área sob Cambissolo está localizada no município de Itajuípe, BA. Em ambas as áreas, houve renovação de copas (1,5 anos) e os solos não receberam adubação nos últimos dez anos. O clima da região é quente e úmido e a pluviosidade média é de 1500 mm, bem distribuídos ao longo do ano (Moço et al., 2008).

A amostragem de solo foi realizada através da instalação de três parcelas em cada uma das áreas. Em cada uma das parcelas foram coletadas, com a abertura de trincheiras, amostras de solo nas camadas 0-5, 5-10, 10-30 e 30-50 cm. Em cada uma destas profundidades foram coletadas 20 amostras simples que foram reunidas formando uma composta e amostras indeformadas com anéis volumétricos para se estimar a densidade do solo. As coletas foram realizadas em janeiro de 2004. As amostras compostas de solo foram homogeneizadas, secas ao ar, peneiradas (em malha de 0,2 mm) e trituradas em almofariz.

Para caracterização química e física dos solos, as análises foram realizadas conforme os métodos descritos pela EMBRAPA (1997): pH (água); P e K extraíveis por

Mehlich-1; Ca, Mg e Al trocáveis por KCl 1 mol L⁻¹; N total pelo método Kjeldahl; análise granulométrica e densidade aparente. As principais características químicas e físicas dos dois solos amostrados são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1. Caracterização química e física de dois solos, em diferentes profundidades, sob agrossistemas de cacau e eritrina localizados no Sul da Bahia

Solos ⁽¹⁾	Prof	pH	P	K	Ca	Mg	Al	Dap	Ntotal	Argila	Silte	Areia
1	0-5	4,6	7,7	53,0	3,9	2,3	0,27	1,05	2,9	44,0	12,9	43,1
	5-15	4,3	3,6	34,0	1,3	0,9	0,89	1,02	1,9	48,8	14,9	36,4
	15-30	4,0	2,2	22,3	0,5	0,3	1,03	1,01	1,4	53,0	16,0	30,9
	30-50	4,1	0,9	15,0	0,2	0,2	1,11	1,04	1,1	63,1	10,9	25,9
2	0-5	5,9	17,0	97,3	10,2	4,7	0,00	1,12	3,4	23,5	34,5	42,0
	5-15	5,8	10,9	62,0	6,9	3,3	0,00	1,27	1,3	22,3	37,6	40,0
	15-30	5,5	16,1	62,3	5,5	2,9	0,00	1,41	0,6	25,4	33,5	41,1
	30-50	5,4	14,5	55,3	5,1	2,7	0,03	1,46	1,2	29,6	29,7	40,7

⁽¹⁾ 1- Latossolo: Latossolo Vermelho Amarelo; 2- Cambissolo: Cambissolo Húmico Eutrófico gleico; Prof- profundidades de coleta do solo em cm; Dap- Densidade aparente.

O C e N totais do solo foram determinados pelo processo de combustão seca, usando um analisador elementar CHNS/O Perkin Elmer 2400-Série II (configurado no modo CHN), a partir da pesagem de amostras de aproximadamente 8 mg de solo finamente moído (solo macerado em almofariz até a granulometria de talco) em cápsulas de estanho, sendo a digestão processada em câmara de combustão fechada a 925°C.

As frações do C orgânico foram determinadas por oxidação úmida, através do método proposto por Chan et al. (2001). Em frascos erlenmeyer foram adicionadas amostras de 0,5 g de solo moído (<0,5mm), 10 mL de K₂Cr₂O₇ 0,167 mol L⁻¹ e quantidades de ácido sulfúrico concentrado de 5 e 10 mL, além dos 20 mL especificados por Walkley-Black (1934). Assim, foram preparadas três soluções aquosas ácidas resultantes de proporções 0,5:1, 1:1 e 2:1 (que correspondem, respectivamente, a 6, 9 e 12 mol L⁻¹ de H₂SO₄) para criar um gradiente ácido e permitir a comparação do C oxidável extraído sob condições de crescente oxidação (Walkley, 1947). A oxidação foi realizada com fonte externa de calor (temperatura média de 140°C) e a titulação dos extratos obtidos, que foram dissolvidos com 80 mL de água destilada, foi feita com uma solução de Fe(NH₄)₂(SO₄)₂.H₂O 0,5M, utilizando-se 3 gotas do indicador difenilamina e 3mL de ácido fosfórico. As quantidades de C oxidável obtidas usando 5, 10 e 20 mL de ácido sulfúrico concentrado foram comparadas entre si e com a concentração de C orgânico total, o que permitiu a separação de quatro frações que se distinguem quanto a resistência à oxidação:

A primeira fração, *Fração 1* (F_1), é constituída pelo C orgânico oxidável obtido sob solução de $6 \text{ mol L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$ e corresponde a *fração lábil* do C orgânico; a segunda fração, *Fração 2* (F_2), foi obtida pela diferença entre o C orgânico oxidável extraído sob solução de 9 mol L^{-1} e de $6 \text{ mol L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$ e corresponde a *fração moderadamente lábil*; a terceira fração, *Fração 3* (F_3), foi obtida pela diferença entre o C orgânico oxidável extraído sob solução de 12 mol L^{-1} (que equivale ao método Walkley & Black padrão) e o extraído sob solução de $9 \text{ mol L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$ e corresponde a *fração pouco lábil*; e a quarta fração, *Fração 4* (F_4), foi obtida pela diferença entre o C orgânico total (COT), determinado pelo método da combustão seca, e o C oxidável extraído sob a solução de $12 \text{ mol L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$. A F_4 é o C orgânico residual, depois da reação com $12 \text{ mol L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$, e corresponde a *fração recalcitrante* do C orgânico.

Foram calculadas as percentagens do C orgânico total do solo (COT) na forma de cada uma das frações (relação entre cada fração e o COT) (Quadro 3) e a relação $(F_3+F_4):(F_1+F_2)$ que representa qual a forma de predominância do C no solo (se <1 , a forma mais lábil; se >1 , a forma mais recalcitrante). Para o cálculo e interpretação as frações F_1 e F_2 foram consideradas como sendo constituídas por compostos de C mais facilmente oxidáveis, enquanto que as frações F_3 e F_4 foram consideradas como sendo constituídas por compostos orgânicos mais recalcitrantes.

Os estoques de C e N em cada uma das profundidades amostradas, foram estimados a partir da expressão: $E = (C \text{ ou } N * Dap * Esp)$, onde E representa o estoque de C ou N em Mg ha^{-1} ; C ou N, teor destes elementos em g kg^{-1} ; Dap, densidade aparente do solo; e Esp, a espessura da camada em análise. Para verificar tendências de incremento ou redução nas diferentes profundidades e entre os solos, como as faixas de profundidade apresentam espessura variável, foi feita uma estimativa do estoque de C por centímetro de profundidade ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$), dividindo o estoque pela espessura (cm) de cada camada, visando verificar tendências de incremento ou redução nas diferentes profundidades e entre os solos.

Os dados foram submetidos ao teste de Lilliefors para avaliação de aderência à distribuição normal e ao teste de Bartlett para avaliação de homogeneidade das variâncias. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância utilizando-se um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições e, adotando-se o teste F a 5% de probabilidade, para comparação entre os solos e frações de carbono. De forma complementar utilizou-se para comparação de médias, o teste de Tukey a 5% de probabilidade, separadamente para todas as profundidades. Foram estabelecidas correlações

de Pearson a 5% de probabilidade entre os teores de argila e os estoques de C total do solo e das frações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os solos estudados, Latossolo e Cambissolo, apresentam acidez elevada e média, baixa e média fertilidade e textura argilosa e média, respectivamente. O estoque de C orgânico total (COT) do solo e em cada uma das profundidades foi maior no Latossolo do que no Cambissolo (Quadro 2). Este resultado é aparentemente razão do maior teor de argila do Latossolo, já que houve correlação positiva dos estoques de C com os teores de argila dos solos ($r=0,96$; $p<0,05$) (Quadro 1). A textura do solo é um fator que contribui para diferenças no estoque de C, sendo que solos mais argilosos apresentam índices menores de perda de carbono orgânico (Mann, 1986) ou até mesmo algum ganho após algum tempo de cultivo, em relação aos valores iniciais (Moraes, 1991). Gama-Rodrigues et al. (2005) em solos sob eucalipto observaram que as regressões lineares simples do teor de $N-NO_3^-$, C orgânico, N total, C e N da biomassa microbiana com o teor de argila representaram modelos preditivos que explicaram a variação destes atributos. Galvão et al. (2005), comparando solos com diferentes texturas, observaram maiores valores de C e N nos solos mais argilosos.

O estoque de C acumulado na profundidade 0-50 cm do Latossolo foi de $93,79 \text{ Mg ha}^{-1}$, o que representa 35% a mais que o Cambissolo ($60,79 \text{ Mg ha}^{-1}$). Estes valores foram superiores em torno de 55 e 31 % aos valores observados por Neves et al. (2004), na profundidade 0-40 cm de um Latossolo Vermelho com textura argilosa sob sistemas agrofloretais de eucalipto, e 48 e 19% aos encontrados por Barreto et al. (2008) na profundidade 0-20 cm de um Latossolo Vermelho com textura argilo arenosa sob sistema agroflorestal de cacau (cabruca com bate folha), o que destaca os SAF de cacau como um sistema que acumula C e pode representar uma importante contribuição para atenuar a emissão de CO_2 para a atmosfera e as mudanças climáticas globais.

O teor de N também foi estatisticamente maior no Latossolo que no Cambissolo, porém não houve diferença estatística do estoque de N entre solos em cada profundidade, com exceção da profundidade 15-30 cm onde se verificou uma maior quantidade de N no Latossolo. O N total acumulado na profundidade 0-50 cm do Latossolo foi de $9,14 \text{ Mg ha}^{-1}$, o que representa apenas 6,3% a mais que o Cambissolo ($8,56 \text{ Mg ha}^{-1}$) (Quadro 2).

D'Andréa et al. (2004), estudando estoques de C e N até 40 cm de profundidade de um Latossolo Vermelho distrófico submetido a diferentes sistemas de manejo, observaram valores próximos a estes em cerrado nativo (8,32 Mg ha⁻¹) e plantio direto (milho e feijão) (8,14 Mg ha⁻¹) e inferiores em pastagem (6,88 Mg ha⁻¹), plantio direto (milho, feijão, arroz e tomate) (7,29 Mg ha⁻¹) e plantio convencional (6,86 Mg ha⁻¹). Tais resultados sugerem que sistemas conservacionistas de uso da terra, como os SAFs, favorecem o reservatório de N no solo.

Quadro 2. Teores e Estoques de C e N totais em diferentes profundidades de dois solos sob agrossistemas de cacau e eritrina localizados no Sul da Bahia, em diferentes profundidades.

Profundidade cm	COT			
	g kg ⁻¹		Mg ha ⁻¹ cm ⁻¹	
	Latossolo ⁽¹⁾	Cambissolo	Latossolo	Cambissolo
0-5	35,80 a	26,13 b	3,76 a	2,93 b
5-15	21,90 a	12,40 b	2,23 a	1,57 b
15-30	16,60 a	6,70 b	1,68 a	0,94 a
30-50	13,22 a	5,57 b	1,35 a	0,81 a
	N total			
	g kg ⁻¹		Mg ha ⁻¹ cm ⁻¹	
	Latossolo	Cambissolo	Latossolo	Cambissolo
0-5	3,37 a	3,00 b	0,35 a	0,34 a
5-15	2,20 a	1,63 b	0,22 a	0,21 a
15-30	1,67 a	1,03 b	0,17 a	0,15 a
30-50	1,25 a	0,90 b	0,13 a	0,13 a

⁽¹⁾ Latossolo: Latossolo Vermelho Amarelo; Cambissolo: Cambissolo Húmico Eutrófico gleico; As letras minúsculas, na linha, comparam o teor e o estoque de C entre os solos

O aumento da profundidade ocasionou diminuição dos teores e estoques de COT, o que corresponde a uma redução de cerca de 60 e 70% até a profundidade 30-50 cm no Latossolo e Cambissolo, respectivamente. Da mesma forma que o COT, o N total também diminuiu. Vários autores também observaram esta mesma tendência de diminuição em profundidade tanto para o C (Freixo et al., 2002; Bayer et al., 2003; Fontes, 2006; Neves et al., 2004; Giácomo et al., 2008) quanto para o N (D'Andrea et al., 2004; Fontes, 2006; Giácomo et al., 2008). Esta distribuição dos teores e estoques de C e N com o aumento da profundidade devem-se ao fato de a maior parte dos resíduos orgânicos ficarem depositados na superfície do solo, aumentando, assim, o acúmulo de matéria orgânica nas camadas mais superficiais (Rangel et al. 2008; Barreto et al., 2008; Neves et al., 2004; Bayer et al., 2003; Freixo et al., 2002). Com o aumento da profundidade, observou-se aumento da magnitude das diferenças entre os solos, o que representou 22,1%, 29,6%,

44,1% e 40,0% a mais no estoque de C do Latossolo em relação ao Cambissolo às profundidades de 0-5, 5-15, 15-30 e 30-50 cm, respectivamente.

A distribuição média das frações de C oxidável dos dois solos também parece ter sido influenciada pela textura, uma vez que as maiores médias dos teores e estoques de C oxidável de todas as frações estudadas foram verificadas no Latossolo, havendo diferenças significativas das frações 1, 2 e 4 entre os dois solos (Quadro 3). Os estoques destas frações se correlacionaram positivamente com os teores de argila (F_1 : $r=0,92$, F_2 : $r=0,91$, F_4 : $r=0,73$; $p<0,05$), o que demonstra a influência da textura na distribuição destas frações. Galvão et al. (2005), estudando frações de C e N em função da textura, também observaram maiores valores de frações de C oxidáveis nos solos mais argilosos.

Em geral, nos dois solos, o C das frações também diminuiu com o aumento da profundidade, principalmente para a fração F_1 , sendo maior, em torno de 50% ou mais, nas camadas superiores (0-5 e 5-15 cm) em relação às camadas mais profundas (15-30 e 30-50 cm) (Quadro 3). O carbono desta fração corresponde ao C mais lábil (mais facilmente decomponível) e por isso está ligado ao suprimento de resíduos orgânicos ao solo (Christensen, 2000), o que explica as maiores diferenças desta fração entre solos e com o aumento da profundidade, com maiores valores na camada mais superficial. Rangel et al. (2008) e Andrade et al. (2005) também observaram redução pronunciada dos teores da F_1 com o aumento da profundidade.

A maioria das diferenças entre os solos em todas as profundidades foi encontrada na fração mais facilmente oxidável, Fração 1, que foi maior no Latossolo. As frações 3 e 4 não variaram entre os solos na profundidade 5-15 cm. Houve variação da F_2 na profundidade 0-15 cm e da F_4 na camada 0-5 cm e a partir de 15 cm, com maiores valores no Latossolo, enquanto a F_3 não variou entre os solos em nenhuma das profundidades (Quadro 3).

Também verificou-se uma menor variação das frações F_2 , F_3 e F_4 , com o aumento da profundidade do solo, o que sugere que estas frações são menos sensíveis a mudanças na qualidade do C ao longo do perfil do solo. Chan et al. (2001), estudando a influência de diferentes espécies de pastagem na restauração da qualidade do solo, observaram que a maioria das diferenças entre tratamentos ocorreram nas frações mais facilmente oxidáveis, apenas pequenas diferenças foram detectadas nas outras frações. Dessa forma, as maiores variações da F_1 verificadas neste trabalho demonstram que possivelmente o monitoramento dessa fração poderia ser usado como indicador de mudanças na qualidade da matéria orgânica em solos sob SAF.

Quadro 3. Teores e Estoques de Frações do carbono orgânico em diferentes profundidades de dois solos sob agrossistemas de cacau e eritrina localizados no Sul da Bahia

Profundidade cm	Frações	Carbono			
		g kg ⁻¹		Mg ha ⁻¹ cm ⁻¹	
		Latossolo ⁽¹⁾	Cambissolo	Latossolo	Cambissolo
0-5	F ₁ ⁽²⁾	18,95 Aa	14,58 Ab	1,99 Aa	1,63 Ab
	F ₂	5,82 Ca	2,73 Cb	0,61 Ca	0,31 Cb
	F ₃	2,14 Da	2,37 Ca	0,22 Da	0,26 Ca
	F ₄	8,90 Ba	6,46 Bb	0,93 Ba	0,72 Bb
5-15	F ₁	12,10 Aa	7,61 Ab	1,23 Aa	0,97 Ab
	F ₂	4,31 Ba	1,81 Bb	0,44 Ba	0,23 Bb
	F ₃	2,82 Ba	1,55 Ba	0,29 Ba	0,20 Ba
	F ₄	2,68 Ba	1,43 Ba	0,27 Ba	0,18 Ba
15-30	F ₁	9,09 Aa	3,80 Ab	0,92 Aa	0,53 Ab
	F ₂	2,74 Ba	0,99 Bb	0,28 Ba	0,14 Ba
	F ₃	1,92 Ba	1,67 Aa	0,19 Ba	0,23 Ba
	F ₄	2,86 Ba	0,25 Bb	0,29 Ba	0,03 Bb
30-50	F ₁	6,89 Aa	3,29 Ab	0,72 Aa	0,48 Ab
	F ₂	1,93 Ba	0,78 Ba	0,20 Ba	0,11 Ba
	F ₃	1,79 Ba	1,72 Aa	0,18 Ba	0,25 Aa
	F ₄	2,61 Ba	0,18 Bb	0,27 Ba	0,03 Bb

⁽¹⁾ 1- Latossolo: Latossolo Vermelho Amarelo; 2- Cambissolo: Cambissolo Húmico Eutrófico gleico; ⁽²⁾ F₁- C oxidado por K₂Cr₂O₇ em meio ácido de 3 mol L⁻¹ de H₂SO₄; F₂- diferença do C oxidado por K₂Cr₂O₇ em meio ácido, com 6 e 3 mol L⁻¹ H₂SO₄; F₃- diferença do C oxidado por K₂Cr₂O₇ em meio ácido, com 9 e 6 mol L⁻¹ H₂SO₄. F₄- diferença do C oxidado por K₂Cr₂O₇ em meio ácido, com 12 e 9 mol L⁻¹ H₂SO₄; COT- C orgânico total obtido por combustão seca. As letras maiúsculas iguais, na coluna, que comparam as frações em cada solo; e as letras minúsculas iguais, na linha, que comparam as concentrações e o estoque de C entre os solos não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

As maiores variações entre frações foram observadas na profundidade mais superficial (0-5 cm) dos dois solos. Nesta profundidade, o C acumulado em cada fração em ambos os solos variou na ordem: F₁ > F₄ > F₂ > F₃. Abaixo de 5 cm a ordem foi: F₁ > F₂ = F₃ = F₄. Este mesmo resultado foi encontrado abaixo de 15 cm para o Latossolo, enquanto para o Cambissolo abaixo desta profundidade F₂ e F₄ representaram a menor contribuição do COT (Quadro 3).

Os teores de F₁ variaram de 6,89 a 18,95 g kg⁻¹ (Latossolo) e 3,29 e 14,58 g kg⁻¹ (Cambissolo), o que representa de 52 a 55 % do C orgânico total do Latossolo e de 55 a 61% do Cambissolo, tomando por base na relação F₁:COT. Ou seja, em todas as profundidades dos dois solos mais da metade do COT do solo esteve associado à fração de C oxidável F₁, fração mais facilmente oxidável, o que indica uma maior predominância, nos solos sob SAF, de C orgânico lábil e de matéria orgânica de maior biodisponibilidade. Esta relação é de grande importância na avaliação de perdas de carbono do solo. De acordo com Roscoe & Machado (2002), que consideram C lábil (C_L) o C associado à F₁, em solos com elevado nível de degradação a tendência dessa relação (F₁:COT) é ficar próxima a

2%, enquanto nos solos bem preservados e com grande aporte de resíduos orgânicos esse valor é bem mais elevado.

Nesse sentido, o predomínio da F_1 em todas as profundidades dos dois solos estudados, expresso pelos elevados valores da relação $F_1:COT$ (acima de 50%), sugerem que o SAF de cacau estaria contribuindo para melhoria da qualidade do C orgânico à superfície e abaixo da superfície do solo, provavelmente em decorrência da contínua deposição e permanência de resíduos da parte aérea sobre o solo e do sistema radicular do cacau e da espécie sombreadora. Esses resultados são corroborados pela relação $(F_3+F_4):(F_1+F_2)$, que variou entre 0,3 e 0,5, também indicando a predominância de C na forma mais lábil ao longo do perfil (0-50 cm) dos dois solos e, além disso, por outras pesquisas com frações de C oxidável que, em geral, demonstraram que culturas agrícolas e, ou, sistemas de manejo que favorecem adições freqüentes de material orgânico ao solo apresentam maior proporção de C na fração lábil, em relação à fração recalcitrante (Blair et al., 1995; Conteh et al., 1998; Chan et al.; 2001). Barreto et al. (2008), estudando frações do C orgânico em solos submetidos a diferentes usos, verificaram que o sistema agroflorestal de cacau (cabruca com bate folha) proporcionou aumento nos teores de C da fração mais lábil (fração leve).

As percentagens do COT representadas pelas frações F_2 , F_3 e F_4 se distinguiram entre os dois solos. Na profundidade 0-5 cm, F_2 , F_3 e F_4 representaram 17%, 6% e 25% do COT do Latossolo e 10%, 9% e 25% do COT do Cambissolo. Na profundidade 5-15 cm, a contribuição da F_2 no Latossolo e Cambissolo foi de 20% e 15%, respectivamente, F_3 representou 13% e F_4 cerca de 12% em ambos os solos. Na profundidade 15-30 cm, F_2 contribuiu com 17% e 15%, F_3 com 12% e 25% e F_4 , com 17% e 3,5%, respectivamente. Abaixo de 30 cm de profundidade, no Latossolo a F_4 foi a segunda fração mais representativa (20%), seguida pela F_2 (15%) e F_3 (14%), enquanto no Cambissolo a ordem foi: F_3 (29%) > F_2 (13%) > F_4 (3 %). Estes resultados mostram uma maior quantidade de COT presente na fração mais recalcitrante no solo mais argiloso, o que pode indicar que em solos argilosos há uma maior acumulação de compostos orgânicos de maior estabilidade química, oriundos da decomposição e humificação da MOS (Stevenson, 1994).

CONCLUSÕES

1. Os estoques de C e N e a distribuição das frações oxidáveis do C variaram com a textura e a profundidade do solo.
2. A fração de C lábil foi um indicador mais sensível de mudanças na qualidade do C orgânico
3. O C orgânico dos solos se apresentou predominantemente na forma de C mais lábil.

LITERATURA CITADA

- ANDERSON, J.D., INGRAM, J.S.I. (1996) Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. (2 ed) Wallingford, UK CAB International. 171p.
- 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. R. Bras. Ci. Solo. Viçosa, 29 (5): 803-816, 2005.
- BAKER, J. M.; OCHSNER, T. E.; VENTEREA, R.T. & GRIFFIS. Tillage and soil carbon sequestration – What do we really know? Commentary. Agric. Ecos. Envir., 1 18: 1-5, 2007.
- BARRETO, A.C.; FREIRE, M. B. G. S.; NACIF, P. G. S., ARAÚJO, Q. R., FREIRE, F. J. & INÁCIO, E. S. B. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. R. Bras. Ci. Solo, 32:1471-1478, 2008.
- BARRETO, A.C.; LIMA, F.H.S.; FREIRE, M.B.G.S.; ARAÚJO, Q.R. & FREIRE, F.J. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no Sul da Bahia. Revista caatinga, Mossoró, Brasil, 19 (4):.415-425, 2006.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de culturas. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, 21: 105-112, 1997.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F. A. de O. (Eds). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese. cap.2, p.9-26, 1999.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. & PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. Pesq. agropec. bras., Brasília, 39 (7): 677-683, 2004.
- BAYER, C.; SPAGNOLLO, E.; WILDNER, L.P.; ERNANI, P. R. & ALBUQUERQUE, J. A. Incremento de carbono e nitrogênio num latossolo pelo uso de plantas estivas para cobertura do solo. R. Ciência Rural. Santa Maria, 33 (3): 469-475, 2003.
- BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. Australian Journal of Agricultural Research, Victoria, 46: 1459-1466, 1995.

- BLAIR, G.J.; CHAPMAN, L.; WHITBREAD, A.M.; BALL-COELHO, B.; LARSEN, P.; TIESSSEN, H. Soil carbon changes resulting from sugarcane trash management at two locations in Queensland, Australia, and in North-East Brazil. *Australian Journal of Soil Research*, 36: 873-882, 1998.
- BLAIR, N. Impact of cultivation and sugar-cane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in Queensland, Australia. *Soil & Tillage Research*, 55: 183-191, 2000.
- BREJDA, J.J.; KARLEN, D.L.; SMITH, J.L.; ALAN, D.L. Identification of regional soil quality factors and indicators: II. Northern Mississippi Loess Hills and Paulose Prairie. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:2125-2135, 2000.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:777-783, 1992.
- CANELLAS, L.P.; BERNER, P.G. ; SILVA, S.G.; SILVA, M.B. & SANTOS, G.A. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma topossequência no Estado do Rio de Janeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35:133-143, 2000.
- CANNELL, R.Q.; HAWES, J.D. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. *Soil & Tillage Research*, 30: 245-282, 1994.
- CHAN, K. Y. Soil carbon fractions and relationship to soil quality under different tillage and stubble management. *Soil & Tillage Research*, 63: 133-139, 2002.
- CHAN, K. Y.; BOOOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture leys. *Soil Science*. 166 (1): 61- 67, 2001.
- CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Advances in Soil Sciences*, New York, 20: 1-90, 1992
- CHRISTENSEN, B. T. Organic matter in soil: structure, function and turnover. Tjele: DIAS, 2000. 95 p. (DIAS Report. Plant Production, 30).
- CONTEH, A.; BLAIR, G. L. & ROCHESTER, I. J. Soil organic carbon fractions in a Vertisol under irrigated cotton production as affected by burning and incorporating cotton stubble. *Aust. J. Soil Res.*, 36: 655-667, 1998.
- D'ANDREA, A. F.; 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, 39 (2):179-186, 2004.
- DEFELIPO, B.V., RIBEIRO, A.C. Análise química do solo. Viçosa, UFV. 1981. 17p. (Boletim de Extensão, 29).
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro,SNLCS. 1997.
- FELLER, C.; BEARE, N. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, Amsterdam, 79: 69-116, 1997.
- FONTES, A. G. Ciclagem de nutrientes em sistemas agroflorestais de cacau no Sul da Bahia. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2006. 102 p. (Tese de Doutorado).
- FRANCHINI, J. C.; CRISPINO, C. C.; SOUZA, R. A.; TORRES, E. & HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil

- management and crop rotation systems in Southern Brazil. *Soil Till. Res.*, 92: 18-29, 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. *R. Bras. Ci. solo*, 26: 425-434, 2002.
- GALVÃO, S. R. S.; SALCEDO, I. H.; SANTOS, A. C. Frações de carbono e nitrogênio em função da textura, do relevo e do uso do solo na microbacia do agreste em Vaca Brava (PB). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29 (4): 955-962, 2005.
- GAMA-RODRIGUES, A.C. Ciclagem de nutrientes por espécies florestais em povoamentos puros e mistos em solos de tabuleiro na Bahia, Brasil. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 107p. (Tese de Doutorado).
- GAMA-RODRIGUES, E.F.; BARROS, N.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. & SANTOS, G.A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. *R. Bras. Ci. Solo*, 29: 393-901, 2005.
- GARAY, I.; KINDEL, A.; CARNEIRO, R.; FRANCO, A. A.; BARROS, E.; ABBADIE, L. Comparação da matéria orgânica e de outros atributos do solo entre plantações de *Acácia madium* e *Eucalyptus grandis*. *R. Bras. Ci. solo*, 27: 705-712, 2003.
- GIÁCOMO. R. G. ; PEREIRA, M. G. & BALIEIRO, F. C. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição das frações húmicas no solo sob diferentes coberturas florestais. *Rev. Bras. Ciênc. Agrár. Recife*, 3 (1): 42-48, 2008.
- HEANES, D. L. Determination of total organic-C in soils by and improved chromic acid digestion and spectrophotometric procedure. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 15: 1191-1213, 1984.
- LAL, R. The potential of soil carbon sequestration in forest ecosystems to mitigate the greenhouse effect. *Soil Sci. Soc. Am., Special Publication*, 57: 137-154, 2001.
- LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. *For. Ecol. Mang.*, 220:242-258, 2005.
- LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. Conservation and enhancement of soil quality. In: *Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World. Vol. 2: Technical papers*, ISBRAM. Proc., n.12(2) Int. Board for Soil Research. and Management. Bangkok, Tailândia, 1991.
- LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. *R. Bras. Ci. solo*, 27: 821-832, 2003.
- LONGO, R. M.; ESPÍNDOLA, C. R. C-orgânico, N-total e substâncias húmicas sob influência na introdução de pastagens (*Brachiaria* sp.) em áreas de cerrado e floresta Amazônica. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Viçosa, 24: 723-729, 2000.
- MANN, L. K. Changes in soil carbon storage after cultivation. *Soil Science*, 142: 279-288, 1986.
- MARIN, A. M. P. Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo. 2002. 83f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2002.
- MOÇO, M. K. S.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; MACHADO, R. C. R. & BALIGAR, V. C. Soil and litter fauna of cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. *Agroforest Syst.*, 2009, 76:127–138.

- MORAES, J. F. L. Conteúdos de Carbono e Tipologia de Horizontes nos Solos da Bacia Amazônica. (Tese) - Centro de Energia Nuclear de Agricultura, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.
- MURAGE, W.E.; KARANJA, N.K.; SMITHSON, P.C. & WOOPER, P.L. Diagnostic indicator of soil in productive and non-productive smallholders fields of Kenya's Central Highlands. *Amsterdam Agric. Ecosyst. Environ.*, 79:1-8, 2000.
- NAMBIAR, E. K. S. (1996) Sustained productivity of forest is a continuing challenge to soil science. *Soil Science Society of America Journal*, 60:1629-1642, 1996.
- NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *In*: PAGE, A. L. (ed.) *Methods of soil analysis*, part 2, 2nd Ed, Chemical and microbiological properties. ASA, Madison, WI, p.539-570, 1982.
- NEVES, C. M. N., SILVA, M. L. N., CURI, N., MACEDO, R. L. G., TOKURA, A. M. Estoque de C em sistemas agrossilvipastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo convencional na região Noroeste do Estado de Minas Gerais. *Ciênc. Agrotec.*, Lavras, 28: 1038-1046, 2004.
- RANGEL, O. J. P. ; SILVA, Carlos Alberto ; GUIMARÃES, Paulo Tácito Gontijo ; GUILHERME, Luiz Roberto Guimarães . Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. *Ciência e Agrotecnologia*, 32: 429-437, 2008.
- REEVES, D.W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Till. Res.*, 43:131-167, 1997.
- ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2002, 86p.
- 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, 162 (11): 795-807, 1997.
- SILVA, I.R. & MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. *In*: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; FERNANDES, N.; FONTES, R.L.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.275-374, 2007.
- SIQUEIRA NETO, M. Estoque de carbono e nitrogênio do solo com diferentes usos no cerrado em Rio Verde. 2006. 159p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- SOHI, S.; MAHIEU, N.; ARAH, J.R.M.; POLWSON, D.S.P.; MADARI, B. & GAUNT, J.L. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65:1121-1128, 2001.
- STEVENSON, F. J. *Humus chemistry, gênesis, composition, reactions*. 2ed. New York, John Wiley, 1994. 496p.
- STEVENSON, F.J. *Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients*. New York: J. Wiley, 1985. 380p.
- WALKLEY, A. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and organic soil constituents. *Soil Science*, 63: 251-263, 1947.

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

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Neste trabalho foram realizados três estudos, dois em solo sob plantações de eucalipto e um em solos sob sistemas agroflorestais de cacau, que tiveram como objetivos avaliar a distribuição de frações orgânicas da matéria orgânica e de frações oxidáveis do C orgânico de solos sob plantações de eucalipto com diferentes idades de cultivo (1, 3, 5 e 13 anos) e de solos de diferentes texturas sob sistemas agroflorestais de cacau. Nas áreas de eucalipto as amostras de solo foram coletadas da camada 0-10 cm e nas áreas de SAFs das camadas 0-5, 5-15, 15-30 e 30-50 cm. As frações orgânicas foram obtidas através do método de fracionamento físico da matéria orgânica do solo, pelo qual se obteve as frações leves (leve livre e leve intra-agregado) e pesadas (argila, silte e areia) e do método químico de fracionamento do C baseado na sua suscetibilidade à oxidação, onde este foi distribuído em frações de maior ou menor labilidade (Fração 1: fração lábil; Fração 2: fração moderadamente lábil; Fração 3: fração pouco lábil; Fração 4: fração recalcitrante). As principais conclusões dos estudos que compõem este trabalho foram:

Artigos 1 e 2:

1. As duas metodologias empregadas se mostraram eficientes para detectar alterações na matéria orgânica ocasionadas pelo cultivo do eucalipto, uma vez que, em geral, os dados obtidos pelos dois métodos convergiram para os mesmos resultados;
2. Houve influência da idade do eucalipto na distribuição das frações da matéria orgânica e das frações oxidáveis do C orgânico;

3. Em todas as idades, a fração de C lábil predominou no estoque de C orgânico dos solos.
4. Os teores de C e N da fração leve livre e das frações pesadas demonstram ser indicadores sensíveis de alterações ocasionadas pelo cultivo do eucalipto.
5. O estoque de C orgânico do solo está associado à qualidade de compostos orgânicos da serapilheira.

Artigo 3:

1. Os estoques de C e N e a distribuição das frações oxidáveis do C variaram com a textura e a profundidade do solo.
2. A fração de C lábil foi um indicador mais sensível de mudanças na qualidade do C orgânico.
3. O C orgânico dos solos se apresentou predominantemente na forma de C mais lábil.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABER, J. D.; MCDOWELL, W.; NADELHOFFER, K.; MAGILL, A.; BERNTSON, G. KAMAKEA, M.; MCNULTY, S.; CURRIE, W.; RUSTAD; L. & FERNANDEZ, I. (1998). Nitrogen saturation in temperate forest ecosystems: hypotheses revisited. **BioScience**, 48: 921-934.

ALBRECHT, A. & KANDJI, S.T. (2003) Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.99, p.15-27.

ALMEIDA, J. G.; PAIVA, A. Q.; SOUZA Jr, J. O.; BALIGAR, V. C.; FARIA, J. C. POMELLA, A. & JORDÁ Jr, D. B. (2005) Atributos físicos de um solo cultivado com cacau em consórcio com plantas de cobertura. In: XXX Congresso Brasileiro de Ciência do solo, 2005, Recife, Pernambuco. **Anais...**, Recife-PE. (CD-ROM).

ALMEIDA, N. O. (1995) **Crescimento inicial de eucaliptos consorciados com leguminosas na região de cerrado em Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Viçosa-MG, Universidade Federal de Viçosa, 105p.

ANDERSON, D. W. (1995) Decomposition of organic matter and carbon emissions from soils. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E. **Soils and global change**. Boca Raton: CRC Press, p. 165 – 175.

ANDERSON, J.D., INGRAM, J.S.I. (1996) **Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods**. (2 ed) Wallingford, UK CAB International. 171p.

ANDRADE, C. A.; OLIVEIRA, C. de & CERRI, C. C. (2005) Qualidade da matéria orgânica e estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo tratado com biossólido e cultivado com eucalipto. **R. Bras. Ci. Solo**. Viçosa, 29 (5): 803-816.

ANDRADE, J.C.P., BLANES J., SOUZA W. L., BARBOSA L. L., SILVA D.C. & GOMES M. (2004) Fundo capital semente: um modelo de financiamento para sistemas agroflorestais, no sul da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 5.,2004, Curitiba, PR SAFs: desenvolvimento com proteção ambiental: **Anais...**, Curitiba: EMBRAPA Florestas, p. 217 – 219.

BAKER, J. M.; OCHSNER, T. E.; VENTEREA, R.T. & GRIFFIS (2007) Tillage and soil carbon sequestration – What do we really know? Commentary. **Agric. Ecos. Envir.**, 1 18: 1-5.

BARRETO, A.C.; FREIRE, M. B. G. S.; NACIF, P. G. S., ARAÚJO, Q. R., FREIRE, F. J. & INÁCIO, E. S. B. (2008) Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **R. Bras. Ci. Solo**, 32: 1471-1478.

BARRETO, A.C.; LIMA, F.H.S.; FREIRE, M.B.G.S.; ARAÚJO, Q.R. & FREIRE, F.J. (2006) Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no Sul da Bahia. **Revista caatinga**, Mossoró, Brasil, 19 (4):.415-425.

BARRETO, P.A.B. (2004) **Biomassa microbiana e mineralização de carbono e nitrogênio em povoamentos de eucalipto, em uma seqüência de idades**. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense. 86p. (Tese de Mestrado).

BARRETO, P.A.B.; GAMA-RODRIGUES. E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F. & FONSECA, S. (2008) Atividade, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em plantações de eucalipto, em uma seqüência de idades. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:611-619.

BARROS, N.F. (1993) Solos no contexto florestal brasileiro. Viçosa-MG: **Folha Florestal**, jan/fev.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J (1999) Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A., CAMARGO, F.A.O. (eds) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**, 1. ed. Porto Alegre: Gênese, p.9-24.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. (1997) Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de culturas. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, 21: 105-112.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. & CERETTA, C.A. (2000a) Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. **Soil & Tillage Research**, 53:95-104.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. & PAVINATO, A. (2004) Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, 39 (7): 677-683.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T.J.C.; MARTIN-NETO, L. & FERNANDES, S.V. (2000b) Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, 54:101-109.

BAYER, C.; SPAGNOLLO, E.; WILDNER, L.P.; ERNANI, P. R. & ALBUQUERQUE, J. A. (2003) Incremento de carbono e nitrogênio num latossolo

pelo uso de plantas estivais para cobertura do solo. **R. Ciência Rural**. Santa Maria, 33 (3): 469-475.

BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B. & LISLE, L. (1995) Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Aust. J. Agric. Res.**, 46:1459-1466.

BLAIR, G.J.; CHAPMAN, L.; WHITBREAD, A.M.; BALL-COELHO, B.; LARSEN, P. & TIESSEN, H. (1998) Soil carbon changes resulting from sugarcane trash management at two locations in Queensland, Australia, and in North-East Brazil. **Australian Journal of Soil Research**, 36: 873-882.

BLAIR, N. (2000) Impact of cultivation and sugar-cane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in Queensland, Australia. **Soil & Tillage Research**, 55: 183-191.

BRANDY, D.; GARRATY, D. P. & SANCHES, P. (1994) El problema mundial de la agricultura de tala y queima. **Agroforesteria em las Americas**, 1 (3):14-20.

BREJDA, J.J.; KARLEN, D.L.; SMITH, J.L. & ALAN, D.L. (2000a) Identification of regional soil quality factors and indicators: II. Northern Mississippi Loess Hills and Paulose Prairie. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 64:2125-2135.

BREMAN, H. & KESSLER, J. J. (1997) The potential benefits of agroforestry in the Sahel and other semi-arid regions. **European Journal of Agronomy**, 7: 25-33.

BRUCE, J.P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R. & PAUSTIAN, K. (1999) Carbon sequestration in soils. **Journal Soil Water and Conservation**, v.54, p.382-389.

BUYANOVSKY, G.A., ASLAM, M. & WAGNER, G.H. (1994) Carbon turnover in soil physical fractions. **Soil Science Society of America Journal**, 58: 1167-1173.

CAMBARDELLA, C. A. & ELLIOTT, E. T. (1992) Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 56:777-783.

CANELLAS, L.P.; BERNER, P.G. ; SILVA, S.G.; SILVA, M.B. & SANTOS, G.A. (2000) Frações da matéria orgânica em seis solos de uma topossequência no Estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 35:133-143.

CANNELL, R.Q. & HAWES, J.D. (1994) Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. **Soil & Tillage Research**, 30:245-282.

CANTARELLA, G., GALLI, C. & GENTILI, P. (2003) Free radical versus electron-transfer routes of oxidation of hydrocarbons by laccase/mediator systems: Catalytic or stoichiometric procedures. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**. 22: 135-144.

CANTO, A. C., SILVA, S. E. L. & NEVES, E. J. M. (1992) Sistemas agroflorestais na Amazônia Ocidental: aspectos técnicos e econômicos. In: II Encontro Brasileiro de Economia e Planejamento Florestal. Curitiba, EMBRAPA-CNPQ, 1992, **Anais...** V.1, p. 23-36.

- CARTER, M. R. Organic matter and sustainability. (2001) In: REES, R. M.; BALL, B. C.; CAMPBELL, C. D. & WATSON, C. A. (Ed.). **Sustainable management of soil organic matter**. New York: CABI Publishing, p. 9-22.
- CASTRO FILHO, C.; VIEIRA, M. J. & CASÃO JÚNIOR, R. (1991) Tillage methods and soil and water conservation in southern Brazil. **Soil Tillage**, Amsterdam, v. 20, p. 271-283.
- CHAN, K. Y. (2002) Soil carbon fractions and relationship to soil quality under different tillage and stubble management. **Soil & Tillage Research**, 63: 133-139.
- CHAN, K. Y.; BOOOWMAN, A. & OATES, A. (2001) Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture leys. **Soil Science**. Vol 166. n 1. p. 61- 67.
- CHRISTENSEN, B. T. (1992) Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Sciences**, New York, 20: 1-90.
- CHRISTENSEN, B. T. (1996) Structure and organic matter storage in agricultural soils. In: CARTER, M. R. & STEWART, B. A. (Ed.). **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton: CRC Press, p. 97- 165. (Advances in Soil Science).
- CHRISTENSEN, B. T. (2000) **Organic matter in soil: structure, function and turnover**. Tjele: DIAS, 95 p. (DIAS Report. Plant Production, 30).
- COLEMAN, D.C.; OADES, J.M. & UEHARA, G. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu : University of Hawaii Press, 1989. 249p.
- CONTEH, A.; BLAIR, G. L. & ROCHESTER, I. J. (1998) Soil organic carbon fractions in a Vertisol under irrigated cotton production as affected by burning and incorporating cotton stuble. **Aust. J. Soil Res.**, 36: 655-667.
- DALAL, D. C. & CHAN, K. Y. (2001) Soil organic matter in rainfed cropping systems of Australian cereal belt. **Aust. I. Soil Res.**, 39:435-464.
- D'ANDREA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N. & GUILHERME, L. R. G. (2004) Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, 39 (2):179-186.
- DEFELIPO, B.V., RIBEIRO, A.C. (1981) Análise química do solo. Viçosa, UFV. 17p. (**Boletim de Extensão**, 29).
- DE-POLLI, H.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L. & FRANCO, A.A. (1996) Adubação verde: Parâmetros para avaliação de sua eficiência. In: CASTRO FILHO, C. & MUZILLI, O. eds. **Manejo integrado de solos em microbacias hidrográficas**. Londrina: IAPAR/SBCS, p. 225-242.
- DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H., BAYER, C.; DICK, D.P. & KOGELKNABER, I. (2005) Soil C and Stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. **Soil & Tillage Research**, 81: 87-95.

ELLIOTT, E. T. & CAMBARDELLA, C. A. (1991) Physical separation of soil organic matter. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 34, p. 407-419.

EMBRAPA Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. (1997) **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, SNLCS. 412p.

FAO – ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION (1995). **Consulta de expertos sobre la avance de la agrofloresteria en zona áridas y semiaridas da América Latina ey caribe. Santiago**. 152 p. (Série Zonas Aridas y Semiaridas, nº 1).

FARIA, G. E., BARROS, N. F., NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R. & NEVES, J. C. L. (2008) Carbono orgânico total e frações da matéria orgânica do solo em diferentes distâncias do tronco de eucalipto. **Scientia Sci. For.**, Piracicaba, 36 (80): 265-277.

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

FITZSIMMONS, M.J.; PENNOCK, D.J. & THORPE, J. (2003) Effects of deforestation on ecosystem carbon densities in central Saskatchewan, Canada. **Forest Ecology and Management**, v.188, p.349-361.

FONTES, A. G. (2006) **Ciclagem de nutrientes em sistemas agrofloresteriais de cacau no Sul da Bahia**. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense,. 102 p. (Tese de Doutorado).

FRANCHINI, J. C.; CRISPINO, C. C.; SOUZA, R. A.; TORRES, E. & HUNGRIA, M. (2007) Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in Southern Brazil. **Soil Till. Res.**, 92: 18-29.

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

FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E.; LARRÉ-LARROUY, M. & FELLER, C. (2000) Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p.157-170.

FREIXO, A. A.; CANELLAS, L. P. & MACHADO, P. L. O. A. (2002b) Propriedades espectrais da matéria orgânica leve-livre e leve intra-agregado de dois latossolos sob plantio direto e preparo convencional. **R. Bras. Ci. solo**, 26: 445-453.

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, C. A. & FADIGAS, F. S. (2002a) Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **R. Bras. Ci. solo**, 26: 425-434.

FROUFE, L. C. M. (1999) **Decomposição de serapilheira e aporte de nutrientes em plantios puros e consorciados de Eucalyptus grandis Maiden**,

Pseudosamanea quachapele Dugand e Acácia magium Willd. Tese (Mestrado), Seropédica-RJ, UFRRJ, 73 p.

GALVÃO, S. R. S.; SALCEDO, I. H. & SANTOS, A. C. (2005) Frações de carbono e nitrogênio em função da textura, do relevo e do uso do solo na microbacia do agreste em Vaca Brava (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29 (4): 955-962.

GAMA-RODRIGUES, A.C. (1997) **Ciclagem de nutrientes por espécies florestais em povoamentos puros e mistos em solos de tabuleiro na Bahia, Brasil.** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. 107p. (Tese de Doutorado).

GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F. & MENDONÇA, E.S. (1999) Alterações edáficas sob plantios puros e mistos de espécies florestais nativas do sudeste da Bahia, Brasil. **R. Bras. Ci. Solo**, 23:581-592.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F. (2002) Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dandá no sudoeste da Bahia, Brasil. **Rev. Árvore**, v.26, n.2, p.193-207.

GAMA-RODRIGUES, E.F. (1999) Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A., CAMARGO, F.A.O. (eds) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**, 1. ed. Porto Alegre: Gênese, p.227-243.

GAMA-RODRIGUES, E.F., GAMA-RODRIGUES, A.C. & BARROS, N.F. (1997) Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas vegetais. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, 21:361-365.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; BARROS, N.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. & SANTOS, G.A. (2005) Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **R. Bras. Ci. Solo**, 29: 393-901.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; BARROS, N.F.; VIANA, A. P. & SANTOS, G.A. (2008) Alterações na biomassa e na atividade microbiana da serapilheira e do solo, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações de eucalipto, em diferentes sítios da região Sudeste do Brasil. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:1489-1499.

GARAY, I.; KINDEL, A.; CARNEIRO, R.; FRANCO, A. A.; BARROS, E.; ABBADIE, L. (2003) Comparação da matéria orgânica e de outros atributos do solo entre plantações de *Acácia madium* e *Eucalyptus grandis*. **R. Bras. Ci. solo**, 27: 705-712.

GARAY, I.; PELLENS, R.; KINDEL, A.; BARROS, E. & FRANCO, A. (2004) Evaluation of soil conditions in fast-growing plantations of *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium* in Brazil: a contribution to the study of sustainable land use. **Applied Soil Ecology**, 27:177-187.

GAVINELLI, E.; FELLER, C.; LARRÉ-LARROUY, M. C.; BACYE, B. A. (1995) A routine method to study soil organic matter by particle-size fractionation: examples for tropical soils. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, 26: 1749-1760.

- GIÁCOMO, R. G. ; PEREIRA, M. G. & BALIEIRO, F. C. (2008) Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição das frações húmicas no solo sob diferentes coberturas florestais. **Rev. Bras. Cienc. Agrar.** Recife, 3 (1): 42-48.
- GOLCHIN, A.; CLARKE, P.; OADES, J.M. & SKJEMSTAD, J.O. (1995) The effects of cultivation on the composition of organic matter and structural stability of soils. **Aust. J. Soil Res.**, 33:975-993.
- GOLLEY, F. B.; MC GINNIS, J. T.; CLEMENTS, R. G. (1978) **Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida.** São Paulo, Pedagógica e Universitária. 256p.
- GONÇALVES, J.L. DE M. & STAPE, J.L. (2002) **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais.** Piracicaba: Ipef. 498p.
- GONÇALVES, J.L.M. (2000) Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J.L.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal.** Piracicaba: IPEF. p-3-57.
- HART, S., NASON, G., MYROLD, D. & PERRY, D. (1994) Dynamics of gross nitrogen transformations in an old- growth forest: the carbon connection. **Ecology**, 75: 880-891.
- HEANES, D. L. (1984) Determination of total organic-C in soils by and improved chromic acid digestion and spectrophotometric procedure. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 15: 1191-1213.
- HUXLEY, P. A. (1983) **Plant Research and Agroforestry.** International Council for Research in Agroforestry (ICRAF), Nairobi, Kenya. 617 p.
- JANZEN, H. H.; CAMPBELL, C. A., BRANDT, S. A.; LAFOND, G. O. & TOWNLEY-SMITH, L. (1992) Light fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 56: 1799-1806.
- JANZEN, H. H.; CAMPBELL, C. A., ELLERT, B. H. & BREMER, E. (1997) Soil organic matter dynamics and their relationship to soil quality. In: GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R. (Ed.). **Soil quality for crop production and ecosystem health.** Amsterdam: Elsevier. p. 277-291. (Developments in Soil Science, 25).
- KONONOVA, M.M. (1966) **Soil organic matter:** Its nature, its role in soil formation and its fertility. London: Pergamon Press. 544p. Cap. 1: The main stages in the history of soil humus study.
- LAL, R. (2001) The potential of soil carbon sequestration in forest ecosystems to mitigate the greenhouse effect. **Soil Sci. Soc. Am.**, Special Publication, 57: 137-154.
- LAL, R. (2005) Forest soils and carbon sequestration. **For. Ecol. Mang.**, 220:242-258.
- LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. (1991) Conservation and enhancement of soil quality. In: **Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World.** Vol. 2: Technical papers, ISBRAM. Proc., n.12(2) Int. Board for Soil Research. and Management. Bangkok, Tailândia.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S. & MACHADO, P. L. O. A. (2004) Simulação pelo modelo century da dinâmica da matéria orgânica de um argissolo sob adubação mineral e orgânica. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 28: 347-358.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A. & GALVÃO, J. C. C. (2003) Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **R. Bras. Ci. solo**, 27: 821-832.

LIMA, A. M. N.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; MENDONÇA, E. S.; SMYTH, T. J.; MOREIRA, M. S. & LEITE, F. P. (2006) Soil organic carbon dynamics following afforestation of degraded pasture with eucalyptus in southeastern Brazil. **For. Ecol. Manag.**, 235: 219-231.

LIMA, A. M. N.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; MENDONÇA, E. S.; DEMOLINARI, M. S. M. & LEITE, F. P. (2008) Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce - MG. **R. Bras. Ci. Solo**, 32: 1053-1063.

LIMA, W.P. (1996) **Impacto ambiental do eucalipto**. São Paulo, Edusp., 301p.

LONGO, R. M.; ESPÍNDOLA, C. R. C-orgânico, N-total e substâncias húmicas sob influência na introdução de pastagens (*Brachiaria* sp.) em áreas de cerrado e floresta Amazônica. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, 24: 723-729, 2000.

LUGO, A.E.; CUEVAS, E.; SANCHEZ, M.J. (1990) Nutrients and mass in litter and soil of ten tropical tree plantations. **Plant Soil**, 125:263-280.

MACEDO, M. O.; RESENDE, A. S.; GARCIA, P. C.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S.; CAMPELLO, E. F. C. & FRANCO, A. A. (2008) Changes in soil C and N stocks and nutrient dynamics 13 years after recovery of degraded land using leguminous nitrogen-fixing trees. **Forest Ecology and Management**, 255: 1516–1524

MANN, L. K. (1986) Changes in soil carbon storage after cultivation. **Soil Science**, 142: 279-288, 1986.

MARIN, A. M. P. (2002) **Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo**. 2002. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 83p. Tese (Doutorado).

MARTINS, S.G.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; FONSECA, S. & MARQUES, J.J.G.S.M. (2003) Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.395-403.

MARY, B.; RECOUS, S.; DARWIS, D. & ROBIN, D. (1996) Interaction between decomposition of plant residues and nitrogen and nitrogen cycling in soil. **Plant Soil**, 181:71-82.

MELO, J. T.; RESCK, D. V. S. & GOMES, A. C. (2005) Efeitos de procedências de *Eucalyptus cloeziana* sobre os teores de nutrientes e de C orgânico em solo de Cerrado. Planaltina-DF: EMBRAPA Cerrados (**Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**), 16p.

- MENDONÇA, E. S.; LEITE, L. F. C. & FERREIRA NETO, P. S. (2001) Cultivo de café em sistema agroflorestal: uma opção para recuperação de solos degradados. **Revista Árvore**, v. 25, n. 3, p. 375-383.
- MENEZES, A. A. (2005) **Produtividade do eucalipto e sua relação com a qualidade e a classe de solo**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 98p. (Tese de doutorado).
- MOÇO, M. K. S.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; MACHADO, R. C. R. & BALIGAR, V. C. (2009) Soil and litter fauna of cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. **Agroforest Syst.**, 2009, 76:127–138.
- MONTEIRO, M. T. & GAMA-RODRIGUES, E. F. (2004) Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana em diferentes estruturas de serapilheira de uma floresta natural. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:819-826.
- MORA, A.L. & GARCIA, C.H. (2000) **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo, SP: Sociedade Brasileira de Silvicultura. 112p.
- MORAES, J. F. L. (1991) **Conteúdos de Carbono e Tipologia de Horizontes nos Solos da Bacia Amazônica**. (Tese) - Centro de Energia Nuclear de Agricultura, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. (2002) **Microbiologia e bioquímica do solo**. Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- MURAGE, W.E.; KARANJA, N.K.; SMITHSON, P.C. & WOOPER, P.L. (2000) Diagnostic indicator of soil in productive and non-productive smallholders fields of Kenya's Central Highlands. *Amsterdam Agric. Ecosyst. Environ.*, 79:1-8.
- Nair, P. K. R. (1993) **An Introduction do Agroforestry**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 499 p.
- NAMBIAR, E. K. S. (1996) Sustained productivity of forest is a continuing challenge to soil science. **Soil Science Society of America Journal**, 60:1629-1642.
- NEEDELMAN, B.A.; WANDER, M.M.; BOLLERO, G.A.; BOAST, C.W.; SIMS, G.K. & BULLOCK, D.G. (1999) Interaction of tillage and soil texture: biologically active soil organic matter in Illinois. **Soil Science Society of America Journal**, v.63, p.1326-1334.
- NELSON, D. W. & SOMMERS, L. E. (1982) Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: PAGE, A. L. (ed.) **Methods of soil analysis**, part 2, 2nd Ed, Chemical and microbiological properties.. ASA, Madison, WI, p.539-570.
- NEVES, C. M. N., SILVA, M. L. N., CURI, N., MACEDO, R. L. G., TOKURA, A. M. (2004) Estoque de C em sistemas agrossilvipastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo convencional na região Noroeste do Estado de Minas Gerais. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, 28: 1038-1046.
- NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M. & NOVAIS, R. F. (1990) Fertilização mineral de mudas de eucalipto. In: BARROS, N. F. & NOVAIS, R. F. (Eds) **Relação solo-eucalipto**. Viçosa-MG, Ed. Folha de Viçosa, p. 99-126.

NOVAIS, R. F. (2007) O eucalipto, felizmente existe. **Jornal SIF edição especial**, Viçosa, Minas gerais. p.1-8.

OADES, J.M., VASSALLO, A.M., WATERS, A.G. & WILSON, M.A (1987) Characterization of organic matter in particle size and density fractions from Red-Brown Earth by solid-state ^{13}C NMR. **Australian Journal of Soil Research**, 25: 71–82.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. C.; SILVA, C. A.; CURTI, N.; GUILHERME, L. R. G.; RANGEL, O. J. P. (2008) Indicadores químicos de qualidade da matéria orgânica de solo da sub-bacia do Rio das Mortes sob manejos diferenciais de cafeeiro. **Quím. Nova**, 31 (7): 1733-1737, São Paulo.

PARFITT, R.L.; THENG, J.S.; WHITTON, J.S. & SHEPHERD, T.G. (1997) Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. **Geoderma**, 75:1-12.

PARTON, W.J.; SCHIMEL, D.S.; COLE, C.V. & OJIMA, D.S. (1987) Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 51:1173-1179.

PILLON, C. N. (2000) **Alteração no conteúdo e qualidade da matéria orgânica do solo induzidas por sistemas de culturas em plantio direto**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Porto Alegre-RS, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 232p.

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

POTTKER, D. & TEDESCO, M.J. (1979) Efeito do tipo e tempo de incubação sobre a mineralização da matéria orgânica e nitrogênio total em solos do Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, 3: 20-24.

RANGEL, O. J. P. & SILVA, C. A. (2007) Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, 31(6): 1609-1623.

RANGEL, O. J. P. ; SILVA, C. A. ; GUIMARÃES, P. T. G. & GUILHERME, L. R. G. (2008) Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Ciência e Agrotecnologia**, 32: 429-437.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. & GUIMARÃES, P. T. G. (2007) Estoque e frações da matéria orgânica de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, 31(6): 1341-1353.

REEVES, D.W. (1997) The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. **Soil Till. Res.**, 43:131-167.

REINERT, D.J. (1998) Recuperação de solos em sistemas agropastoris. In: DIAS, L.D.; MELLO, J.W.V. (Eds). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa : UFV, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, p.163-176.

- REIS, M.G.F. & BARROS, N.F. (1990) Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N. F., NOVAIS, R. F. (Eds) **Relação solo-eucalipto**. Viçosa-MG, Ed. Folha de Viçosa, p.265-302.
- ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. (2002) **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos.
- SCHIMMEL, D. S. (1995) Terrestrial Ecosystems and the Carbon-Cycle. *Global Change Biology*, v. 1, n. 1, p. 77-91.
- SCHUMACHER, M.V.; BRUN, E.J.; RODRIGUES, L.M. & SANTOS, E.M.(2003) Retorno de nutrientes via deposição de serapilheira em um povoamento de Acácia-Negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.6, p.791-798.
- SENA GOMES, A. R.; MÜLLER, M. W., ALMEIDA, C. M. V. C. & CORRÊA, F. L. O. (2000) Sistemas agroflorestais na recuperação de áreas degradadas tropicais úmidas. In:III Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, Manaus-AM, **Anais...** p. 388-391.
- SHAN, V. & NERUD, F. (2002) Lignin degrading system of white-rot fungi and its exploitation for dye decolorization. **Can. J. Microbiol.** 48:857-870.
- 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, 162 (11): 795-807, 1997.
- SHOLES, M. C.; SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; SANCHEZ, P. A.; INGRAM, J. S. I. & DALAL, R. (1994) Soil fertility research in response to the demand for sustainability. In: WOOMER, P. L. e SWIFT, M. J. (Ed) **The biological management of tropical soil fertility**. P. 1-14.
- SILVA, C. A.; ANDERSON, S. J. & VALE, F. R. (1999) Carbono, nitrogênio e enxofre em frações granulométricas de dois Latossolos submetidos a calagem e adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 593-602.
- SILVA, E. F. (2008) **Frações da matéria orgânica e decomposição de resíduos de colheita de eucalipto em solos de tabuleiros costeiros da Bahia**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 110p. (Tese de Doutorado).
- SILVA, I.R. & MENDONÇA, E.S. (2007) Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; FERNANDES, N.; FONTES, R.L.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.275-374.
- SILVA, J. E. & RESCK, D. V. S. (1997) Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Ed). **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPCA. p. 467-524.
- SILVA, J. E.; LEMAINSKI, J. & RESCK, D. V. S. (1994) Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de *Cerrados* do oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 18:541-547.

SIQUEIRA NETO, M. (2006) **Estoque de carbono e nitrogênio do solo com diferentes usos no cerrado em Rio Verde**. 159p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. & DORAN, J. W. (1998) Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 62, p. 1367-1377.

SIX, J.; MERCKX, R.; KIMPE, K.; PAUSTIAN, K. & ELLIOT, E.T. (2000) A re-evaluation of the enriched labile soil organic matter fraction. **Eur. J. Soil Sci.**, 51:283-293.

SMITH, J.L., PAUL, E.A. (1990) The significance of soil microbial biomass estimations. *In*: BOLLAG, J.M., STOTZKY, G. eds. **Soil Biochemistry**, 6: 357-396.

SOARES, E. M. B.; SILVA, C. A.; DIAS, B. O; BETTIOL, W. & BELIZÁRIO, M. H. (2008). Frações da matéria orgânica de Latossolo sob influência de doses de lodo de esgoto. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, 43 (9): 1231-1240.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA - SBS. (2005) Disponível em:< <http://www.sbs.org.br/estatisticas.htm>>. Acessado em 03 jun. 2005.

SOHI, S.; MAHIEU, N.; ARAH, J.R.M.; POLWSON, D.S.P.; MADARI, B. & GAUNT, J.L. (2001) A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 65:1121-1128.

SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B.; SILVA, C.A. & BUZETTI, S. (2006) Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. **Acta Sci. Agron.**, 28:323-329.

SOUZA, W.J.O. & MELO, W.J. (2003) Matéria orgânica de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. **R. Bras. Ci. Solo**, 27:1113-1122.

STEVENSON, F.J. & ELLIOT, E.T. (1989) Methodologies for assessing the quantity and quality of soil organic matter. *In*: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (Eds.) **Dynamics of Soil Organic Matter in Tropical Ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii, p.173-199.

STEVENSON, F.J. (1982) **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York: J. Wiley.

STEVENSON, F.J. (1985) **Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients**. New York: J. Wiley, 1985. 380p.

SWIFT, M.J.; HEAL, O.W. & ANDERSON, J.M., eds (1979). The influence of resource quality on decomposition processes. *In*: **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Berkeley, University of California Press, 1979. p.118-166.

SWIFT, R.S. (2001) Sequestration of carbon by soil. **Soil Science**, v.166, p.858-871.

- TAN, K.H. (1994) **Environmental soil science**. New York, Marcel Dekker, 1994. 304p.
- TIESSEN, H. & STEWRT, J.W.B. (1983) Particle-size fractions and their use in studies of soil organic matter. II – Cultivation effects on organic matter composition in size fractions. **Soil Science Society of America Journal**, v.47, p.509-514.
- TIESSEN, H.; SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, E.V.S.B. (1992) Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semiarid northeastern Brazil. **Agric. Ecosyst. Environ.**, 38:139-151.
- TIROL-PADRE, A.; LADHA, J. K. (2004) Assessing the reliability of permanganate-oxidizable carbon as an index of soil labile carbon. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 68, p. 969-978.
- TUOMELA, M., VIKMAN, M., HATAKKA, A., ITAVAARA, M. (2002) Biodegradation of lignin in compost environment: a review. **Bioresour. Technol.**, 169-183.
- WALKLEY, A. (1947) A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and organic soil constituents. **Soil Science**, 63: 251-263.
- WALKLEY, A.; BLACK, I. A. (1934) An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, 37: 29 –38.
- WANDER, M.M.; BIDART, M.G.; AREF, S. (1998) Tillage impacts on depth distribution of total and particulate organic matter in three Illinois soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.62, p.1704-1711.
- WATZLAWICK, L.F.; SANQUETTA, C.R.; ARCE, J.E. & BALBINOT, R. (2003) Quantificação de biomassa total e carbono orgânico em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze no Sul do Estado do Paraná, Brasil. **Rev. Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v.1, n.2, p. 63-68.
- YOUNG, A. (1994) **Agroforestry for soil conservation**. Wallingford: CAB International, 276p.
- ZINN, Y. L.; RESCK, D. V. S. & SILVA, J. E. (2002) Soil organic carbon as affected by afforestation with *Eucalyptus* and *Pinus* in the Cerrado region of Brazil. **Forest Ecology and Management**, 166: 285-294.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)