

KARINA PULROLNIK

**ESTOQUE E QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO DE
PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO EM ÁREA DE CERRADO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2007**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

P982e
2007

Pulrolnik, Karina, 1977-
Estoque e qualidade de matéria orgânica do solo de
plantações de eucalipto em área de cerrado / Karina
Pulrolnik. – Viçosa, MG, 2007.
ix, 85f. : il. ; 29cm.

Inclui anexos.

Orientador: Nairam Félix de Barros.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Húmus. 2. Seqüestro de carbono. 3. Solos - Teor
de nitrogênio. 4. Eucalipto - Nutrição. 5. Química do
solo - Manejo. I. Universidade Federal de Viçosa.

II. Título.

CDD 22.ed. 631.417

KARINA PULROLNIK

**ESTOQUE E QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO DE
PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO EM ÁREA DE CERRADO**

**Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Programa de Pós-
Graduação em Solos e Nutrição de
Plantas, para obtenção do título de *Doctor
Scientiae*.**

APROVADA: 12 de julho de 2007.

Prof. Ivo Ribeiro da Silva
(Co-Orientador)

Prof. Eduardo de Sá Mendonça

Prof^a. Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues

Prof. Arnaldo Chaer Borges

Prof. Nairam Félix de Barros
(Orientador)

A Deus, por tudo.

Aos meus pais, Mariano e Nelci (In memoriam)

À minha filha, Mariana

E aos meus irmãos Cláudia e Luciano.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pelo constante apoio e estímulo.

Ao meu orientador Prof. Nairam Félix de Barros pela orientação, confiança, paciência e pela amizade.

Ao Prof. Ivo Ribeiro da Silva, pela amizade, pela atenção e pelas valiosas sugestões.

Ao Prof. Roberto Ferreira de Novais, pela atenção prestada e pela colaboração no desenvolvimento do presente trabalho.

Aos professores Eduardo de Sá Mendonça, Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues e Arnaldo Chaer Borges pelas sugestões e críticas na correção da tese.

À minha filha Mariana, pela alegria e pelo carinho. Ao meu namorado Kleberson pelo apoio, carinho e paciência. Aos meus irmãos Cláudia e Luciano, pela confiança e pelo apoio.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Programa de Pós Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela oportunidade concedida e pelo apoio financeiro.

À empresa florestal Acesita S. A., pela disponibilização da área experimental e assistência na coleta das amostras de solo.

À Carolina Braga Brandani, a quem tenho um agradecimento especial, em virtude a sua dedicação, colaboração e amizade durante a realização deste trabalho.

Aos colegas de curso especialmente: Eulene, Emanuelle, Augusto, Rodiney, Cristiane, Paula, Michelle, Eduardo, Ítalo, Juscimar, Flancer, Fabrício, Eliane, Roseli, Fernanda, Joice, Gislane, Carlos, Paloma, Beno, Márcio, Dalton, Guilherme, Tiago e Cleiton, aos amigos Merielen, Nelci, Claudinha, Luciana, pela amizade e pelo apoio.

Aos demais professores e colegas da pós-graduação do Departamento de Solos, que, pela amizade e pelo incentivo, contribuíram para que este trabalho se tornasse realidade.

Aos funcionários do DPS/UFV, Cardoso, Beto, Guilherme, Bráz, Geraldo Vítor, José Luiz, Geraldo Robésio, João Milagres, Cláudio, e Ciro, Luciana, Sônia, Tatiana, Sandra, Vicente pela amizade, pelo convívio, pelo auxílio e que, com esforço e dedicação, contribuíram para que este trabalho se concretizasse.

E a todos que, de alguma forma, tiveram contribuição na realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

KARINA PULROLNIK, filha de Mariano Pulrolnik e Nelci Elzira Pulrolnik, nasceu na cidade de Santa Rosa-RS, no dia 9 de março de 1977. Coursou o primeiro e segundo graus na Escola da Paz, em Santa Rosa-RS.

Em março de 1995 iniciou o curso de Engenharia Florestal, pela Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, graduando-se em janeiro de 2000.

No mês de março deste mesmo ano iniciou o curso de mestrado em Ciência Florestal na Universidade Federal de Viçosa, defendendo a tese em 2002.

Na mesma instituição iniciou o curso de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas em março de 2003, defendendo tese no dia 12 de julho de 2007.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
CAPÍTULO 1. ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO EM FRAÇÕES LÁBEIS E NAQUELAS MAIS ESTÁVEIS DA MATÉRIA ORGÂNICA DE SOLOS SOB EUCALIPTO, PASTAGEM E CERRADO NO VALE DO JEQUITINHONHA – MG.	
RESUMO.....	3
1. INTRODUÇÃO.....	3
2. MATERIAL E MÉTODOS	6
2.1. Características da área	6
2.2. Amostragem do solo e serapilheira.....	7
2.3. Caracterização química do solo.....	7
2.4. Caracterização química da serapilheira.....	10
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	10
3.1. Teor e Estoque de Carbono e Nitrogênio na serapilheira.....	10
3.2. Teor e Estoque de C e N no solo e nas substâncias húmicas.....	12
3.3. Estoque de C e N na Matéria Orgânica Leve.....	20
3.4. Estoque e teor de C e N na Biomassa Microbiana (C-BM, N-BM).....	22
3.5. Abundância Natural de ¹³ C.....	23
4. CONCLUSÕES	24
5. LITERATURA CITADA.....	24
CAPÍTULO 2. ALTERAÇÕES NA QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA PELO CULTIVO DO EUCALIPTO NO VALE DO JEQUITINHONHA (MG) AVALIADAS POR ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO E TERMOGRAVIMETRIA	
RESUMO.....	30
1. INTRODUÇÃO	30
2. MATERIAL E MÉTODOS	33
2.1. Local de estudo e tratamentos.....	33
2.2. Coleta de amostras de solo e serapilheira.....	33
2.3. Extração e caracterização das substâncias húmicas e matéria orgânica leve.....	35
2.4. Caracterização físico-químicas das substâncias húmicas.....	36
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
3.1. Composição elementar	38
3.2. Características termogravimétricas das substâncias húmicas.....	44
3.3. Características da Serapilheira, Matéria Orgânica Leve (MOL) e Substâncias Húmicas (SH) por FT-IR.....	45
4. CONCLUSÕES.....	46
5. LITERATURA CITADA.....	47
CAPÍTULO 3. ESTOQUES DE CARBONO E DE NITROGÊNIO EM FRAÇÕES LÁBEIS E MAIS ESTÁVEIS DA MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLOS SOB DIFERENTES TEMPOS DE CULTIVO DE EUCALIPTO NO VALE DO JEQUITINHONHA	

RESUMO.....	50
1. INTRODUÇÃO	50
2. MATERIAL E MÉTODOS	52
2.1. Caracterização da Área e dos Povoamentos.....	52
2.2. Amostragem do solo e da serapilheira	53
2.3. Caracterização química do solo.....	54
2.4. Caracterização química da serapilheira.....	56
2.5. Análise estatística.....	56
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
3.1. Estoques de Carbono e Nitrogênio na serapilheira.....	56
3.2. Teor e Estoque de C e N no solo e nas substâncias húmicas.....	59
3.3. Estoque de C e N na Matéria Orgânica Leve.....	66
3.4. Estoque de C e N na Biomassa Microbiana	68
4. CONCLUSÕES	70
5. LITERATURA CITADA.....	70
CONCLUSÕES GERAIS.....	75
ANEXOS.....	77

RESUMO

PULROLNIK, Karina, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2007. **Estoque e qualidade da matéria orgânica do solo de plantações de eucalipto em área de Cerrado.** Orientador: Nairam Félix de Barros. Co-orientadores: Ivo Ribeiro da Silva e Roberto Ferreira de Novais.

Há pouca informação sobre a taxa de acumulação e sobre a dinâmica de C no solo sob cultivo de eucalipto no Brasil. Condições que favorecem o rápido crescimento de eucalipto, provavelmente, também contribuem para a mais rápida decomposição dos resíduos depositados e da matéria orgânica do solo (MOS). Os objetivos deste trabalho foram: determinar estoque e qualidade da MOS sob Cerrado, eucalipto e pastagem; avaliar as mudanças da MOS em solos cultivados com eucalipto com diferentes tempos de cultivo (um ciclo, dois ciclos e três ciclos). O estudo foi desenvolvido utilizando-se amostras de solos provenientes de povoamentos de *Eucalyptus urophylla* e de áreas adjacentes com vegetação natural de Cerrado e cultivo de pastagem no município de Itamarandiba, no Vale do Jequitinhonha, MG. No estudo onde se avaliaram os diferentes tipos de coberturas vegetais, as plantações de eucalipto com 20 anos apresentaram teores de carbono orgânico total (COT) similares aos da vegetação de Cerrado e pastagem. Em amostras de solo da camada de 0-10 foi medida a relação $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ por combustão da MOS no espectrômetro de massa. O cultivo do eucalipto não reduziu o estoque de C e N da biomassa microbiana do solo em comparação com o Cerrado e pastagem, e adicionou maiores quantidades de C e N pela matéria orgânica leve (MOL), o que contribuiu para o aumento da MOS. Assim, a substituição do Cerrado por plantações de eucalipto não resultou na diminuição do estoque de carbono das diferentes frações da MOS. Após 20 anos de cultivo de eucalipto em área anteriormente ocupada por Cerrado houve perda de cerca de 3 ‰ de C-C₄ por ano. No estudo onde foi avaliada a qualidade da MOS, foram coletadas amostras de solos sob plantio de eucalipto, Cerrado e pastagem na profundidade de 0-10 cm e amostras de serapilheira destas coberturas. As amostras de solo tiveram os ácidos húmicos (AH) e ácidos fúlvicos (AF) isolados de acordo com a técnica de extração, fracionamento e purificação. As amostras de AH e AF dos solos de Cerrado, pastagem e eucalipto e amostras finamente moídas de matéria orgânica leve dos solos de eucalipto e Cerrado, componentes da serapilheira de eucalipto (folhas, galhos, casca, raízes) e componentes da

serapilheira de Cerrado (folhas, galhos) foram analisadas em espectrofotômetro de infravermelho com Transformada de Fourier (FT-IR). Calcularam-se ainda, para cada fração nos diferentes tratamentos, índices que possibilitassem a identificação de alterações na MO das distintas frações, decorrentes do processo de humificação e da influência dos diferentes cultivos. A composição elementar (C,H,N) dos AH e AF foi determinada por combustão seca em analisador elementar. A MOS do Cerrado está em estado de humificação mais avançado do que a do eucalipto e pastagem. O AH da pastagem apresenta maior resistência a termograduação do que os das demais coberturas. Já no caso do AF o eucalipto apresentou maior resistência à termodecomposição. O índice de hidrofobicidade (IH) do AH da pastagem foi maior (0,83) em comparação com o AH do Cerrado (0,38) e do eucalipto (0,29), indicando maior recalcitrância do AH do solo sob pastagem, ou seja, maior resistência à degradação. O AF da pastagem também apresentou o maior IH (1,43) seguido do Cerrado (0,92) e do eucalipto (0,50). No estudo onde foram avaliados os diferentes tempos de cultivo do eucalipto observou-se que o estoque de COT foi maior em solos sob eucalipto que sucedeu a pastagem do que naqueles em que sucedeu o Cerrado. O cultivo do eucalipto após o Cerrado tendeu a reduzir o estoque de NT. A quantidade de substâncias húmicas no solo dependeu da quantidade de serapilheira depositada. A maior quantidade de raízes finas do eucalipto levou a maiores quantidades de MOL, MOS e carbono da biomassa microbiana (C-BM). Assim, o aumento do número de cultivos de eucalipto aumentou os estoques de C-MOL e N-MOL do solo em comparação com o Cerrado. O número de ciclos de cultivo de eucalipto não diminuiu os estoques de C, no entanto, o terceiro ciclo apresentou menores estoques de C e N em comparação com os outros povoamentos de eucalipto (ciclos 1 e 2), mas não foi inferior ao Cerrado.

ABSTRACT

PULROLNIK, Karina, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2007. **Stock and quality of soil organic matter under eucalypt plantations in the Brazilian savanna region.** Adviser: Nairam Félix de Barros. Co-advisers: Ivo Ribeiro da Silva and Roberto Ferreira de Novais.

There is no much information on the rate and dynamic of carbon accumulation in the soil under eucalypt plantations in Brazil. Conditions which favor eucalypt fast growth may, also, contribute to rapid decomposition of the soil organic matter (SOM) and plant residues left in the area. This study aimed to: determine SOM stock and quality under natural savanna vegetation, pasture, and eucalypt plantations; and evaluate changes in SOM as affected by the number of eucalypt rotations. Soil samples were collected under *Eucalyptus grandis* plantations and in nearby areas of natural savanna, and cultivated pasture, in Itamarandiba county, Minas Gerais state, Brazil. The content of soil total organic carbon (TOC) under eucalypt plantation, 20 year old, was similar to those under natural savanna and pasture. Eucalypt cultivation did not affected C and N stocks in the microbial biomass but contributed with larger quantities of light fractions of SOM, leading to an increase of SOM as compared with the other two vegetation types. However, there was a change in the carbon type, as 20 years of eucalypt cultivation lead to a reduction in C-C₄ at a rate of 3 % per year. SOM from the savanna area showed a higher stage of humification as compared with eucalypts and pasture, as indicated by FTIR analyses. Therefore, replacing the natural savanna vegetation by eucalypt plantations did not impair the stocks and fractions of SOM. The humic acid fraction (HA) from the pasture, and the fulvic acid fraction (FA) from eucalypt plantation were more resistant to thermodegradation as compared with the other two vegetation types. The hydrophobicity index of the AH fraction from the pasture was 0.83, from the savanna 0.38, and from eucalypts 0.29, indicating the pasture AH higher recalcitrancy in comparison with savanna and eucalypts. The same order was observed for the FA fraction which showed indexes of 1.43, 0.92, and 0.50, respectively. Successive rotations of eucalypts lead to an increase in the stock of TOC, specially in areas previously used with pasture. However, soil total nitrogen stock reduced as the time of eucalypt cultivation increased. The amount of humic substances increased with the amount of litterfall. Fine roots growing in the forest floor contributed to

increase the amount of SOM, light fractions of the SOM, and carbon in the microbial biomass. Therefore, eucalypt plantations, which replaced natural savanna vegetation, increased SOM, being the carbon stock dependent on the productivity of the eucalypt stands.

INTRODUÇÃO GERAL

O carbono (C) acumula-se na atmosfera à taxa de $3,5 \text{ Pg ano}^{-1}$, sendo a maior proporção resultante da queima de petróleo, carvão e da conversão de florestas tropicais para áreas de produção agrícola (Paustian et al., 2000). A concentração atual de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera é de $382 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (Millard et al., 2007). O cultivo de florestas, principalmente nas regiões tropicais, tem sido apontado como meio eficiente no seqüestro de C em razão da acumulação deste na madeira e aumento do estoque no solo. Há, contudo, poucas informações de pesquisa sobre a efetividade das plantações florestais nos trópicos na retirada do CO_2 da atmosfera, e por quanto tempo ele é mantido no ecossistema. Vários fatores, como clima, solo e condições sócio-econômicas, interferem nesses processos (Albrecht & Kandji, 2003). Em termos gerais, o potencial global de seqüestro de C pelas florestas é considerado alto; cerca de $0,4 \text{ Pg ano}^{-1}$ de C em solos florestais, e $1-3 \text{ Pg ano}^{-1}$ de C total em biomassa florestal (Lal, 2005). Especificamente para as regiões tropicais úmidas e sub-úmidas, o potencial de mitigação da emissão de CO_2 por meio do seqüestro de C pelas florestas e seu aporte ao solo, aumentando o teor de C em carbono orgânico (CO), precisa ser quantificado (Palmer et al., 2002). No solo, o CO deveria ser distribuído em profundidade e ser imobilizado em microagregados estáveis, ficando protegido contra a degradação microbiana, ou permanecer em formas mais recalcitrantes (Lal, 2004).

Lima et al. (2006) observaram diferenças significativas entre os estoques de COT da mata nativa e pastagem em todas as profundidades do solo estudadas, mas não entre a mata nativa e o eucalipto nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm na região do Vale do Rio Doce – MG. O eucalipto em comparação à pastagem apresentou o maior teor de COT na profundidade de 10-20 cm devido, possivelmente, à contribuição do sistema radicular mais profundo do eucalipto.

No Brasil, a maior área de florestas plantadas é constituída pelo eucalipto, que, além do suprimento de madeira, contribui para o seqüestro de CO_2 da atmosfera. Todavia, há pouca informação sobre a taxa de acumulação e sobre a dinâmica de CO no solo sob cultivo de eucalipto no Brasil e como elas se comparam com outros sistemas de uso da terra. É provável que o estoque de C do solo das formações vegetais se relacione positivamente

com sua produtividade primária. A taxa de crescimento de eucalipto no Brasil é geralmente alta e, para ser obtida, é necessário o uso de corretivos e fertilizantes, em virtude da baixa fertilidade da maioria dos solos onde essa essência florestal é cultivada (Barros & Comerford, 2002). Condições que favorecem o rápido crescimento de eucalipto, provavelmente, também contribuem para a mais rápida decomposição dos resíduos depositados e da matéria orgânica do solo (MOS). A redução da MOS pode comprometer a sustentabilidade da produção florestal em razão de seu efeito em processos relacionados à disponibilidade de água e de nutrientes para as plantas (Nambiar, 1999).

O objetivo deste trabalho foi avaliar os estoques de C e N de diferentes frações da matéria orgânica em solos cultivados com eucalipto e compará-los com aqueles sob vegetação de Cerrado e pastagem, e em povoamentos de eucalipto submetidos a diferentes intensidades de adubação e tempos de cultivo no Vale do Jequitinhonha - MG.

Esta tese é composta por três capítulos: no primeiro capítulo o foco é o estoque de C e N nas frações da MOS sob eucalipto, Cerrado e pastagem; o segundo aborda a qualidade da matéria orgânica em solos sob eucalipto, Cerrado e pastagem; o terceiro aborda os estoques de C e N nas frações da MOS em plantios de eucalipto com diferentes tempos de cultivo.

CAPÍTULO 1

ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO EM DIFERENTES FRAÇÕES (LÁBEIS E ESTÁVEIS) DA MATÉRIA ORGÂNICA DE SOLOS SOB EUCALIPTO, PASTAGEM E CERRADO NO VALE DO JEQUITINHONHA – MG

RESUMO

A substituição da vegetação nativa na região de Cerrado por florestas plantadas de eucalipto pode levar à mudanças nos estoques de C e N das diferentes frações da MOS. Contudo, a intensidade e a direção da mudança nos teores de MOS dependem do tipo de solo, clima e manejo da área plantada. O objetivo deste trabalho foi determinar o efeito do plantio de eucalipto em região de Cerrado no Vale do Jequitinhonha, MG nos estoques de C e N em frações mais lábeis e estáveis da MOS. O estudo foi desenvolvido utilizando-se amostras de solos provenientes de povoamentos de *Eucalyptus urophylla* e de áreas adjacentes com vegetação natural de Cerrado e cultivo de pastagem. Para o plantio do eucalipto, a vegetação do Cerrado foi cortada, a lenha removida e os resíduos enleirados e queimados. As plantações de eucalipto com 20 anos apresentaram teores de COT similares aos da vegetação de Cerrado e pastagem. Nas frações ácido húmico e fração ácido fúlvico (FAH e FAF) os teores de C foram cerca de 16,6 e 17,5 % maiores para o eucalipto quando comparados com a pastagem e 17,5 e 36,9 % em relação ao solo de Cerrado, respectivamente. O cultivo do eucalipto não reduziu o estoque de C e N da biomassa microbiana do solo em comparação com a do Cerrado e pastagem, e adicionou maiores quantidades de C e N pela matéria orgânica leve (MOL), o que contribui para o aumento da MOS. Assim, a substituição da vegetação nativa do Cerrado por eucalipto não resultou na diminuição do estoque de C das diferentes frações da MOS.

1. INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo (MOS) constitui reservatório heterogêneo de C, sendo uma complexa combinação de materiais, diferindo em origem, composição e dinâmica (Christensen, 2000; Carter, 2001). A dinâmica da MOS é influenciada pelo clima, temperatura, cobertura florestal, tipo de solo e seu uso e manejo. Estes fatores interferem nas características físicas e químicas da MOS. Juntos, eles regulam a qualidade e a

quantidade da MOS, a composição e a atividade das comunidades decompositoras, inclusive as taxas de processos tais como mineralização, lixiviação de compostos orgânicos e perdas por erosão (Ussiri & Johnson, 2003).

Assim, o C do solo pode se encontrar em frações lábeis ou estáveis, o que pode ter implicações na durabilidade do seu efeito quanto à retenção de C-CO₂ atmosférico, bem como nas alterações nas propriedades físicas e químicas do solo. A fração lábil ou ativa é constituída pela serapilheira das plantas, fração leve, biomassa microbiana e substâncias não- húmicas. Assim, a fração lábil é aquela que serve como recurso prontamente disponível de nutrientes (N, P e S) e, é a responsável pela agregação do solo e quelação de micronutrientes (Blair & Crocker, 2000), sendo utilizada como indicadora em avaliações das mudanças de manejo. A fração leve é constituída por materiais orgânicos derivados, principalmente, de restos vegetais, com quantidades razoáveis de resíduos microbianos e da microfauna (Molloy & Speir, 1977). Conforme Loveland & Webb (2003), a porção lábil da MOS é mais importante na mudança das propriedades do solo do que a MOS total. Já, a porção estável, representada pelas substâncias húmicas (SH), tem a função de reserva de nutrientes para as plantas e são de grande importância a longo prazo para o solo (Stevenson, 1994). As substâncias húmicas são consideradas o estágio final da evolução dos compostos de C no solo (Stevenson, 1994).

A substituição da cobertura vegetal e práticas de preparo do solo influenciam o estoque de C por alterar a taxa de adição e de decomposição da MOS e reduzir a proteção física da MOS pelos agregados do solo, respectivamente (Post & Kwon, 2000). Estudos demonstram que a substituição de florestas naturais por outros usos da terra pode levar à redução da MOS. Na Austrália, no norte de New South Wales, estudos relatam a diminuição de 23 % do COS após reflorestamento com eucalipto e coníferas em sítios anteriormente ocupados por pastagens ou florestas nativas (Specht & West, 2003). A substituição de floresta nativa mista (floresta pluvial/arbustiva) dominada pela *Araucária bidwili* Hook e *Terminalia oblongata* e outras por cultivo de *Araucaria cunninghamii* na região subtropical da Austrália, levou à redução no COT do solo e nos pools de C lábil, além de causar mudanças na qualidade do C do solo, com aumento de C O-alquil e decréscimo de C- alquil (Chen et al., 2004). Essas alterações na quantidade e qualidade do C do solo entre floresta natural e de floresta plantada de *A. cunninghamii* foram atribuídas à

combinação de fatores, tais como diversidade de comunidades microbianas e melhor qualidade da serapilheira sob floresta nativa do que sob *A. cunninghamii*, e distúrbio local durante o estabelecimento da primeira rotação (Chen et al., 2004). O cultivo de plantas lenhosas em substituição ao de pastagem também resultou em decréscimo no COT. Apesar das plantas lenhosas produzirem grande quantidade de material mais recalcitrante, elas podem apresentar menor contribuição para o estoque de COT do que gramíneas perenes, em determinados ambientes (Post & Kwon, 2000).

As mudanças do COT em solos agrícolas em diversas regiões brasileiras demonstraram que as perdas médias de COT sob sistemas intensivos e não intensivos são pequenas em comparação com resultados obtidos em ecossistemas temperados. Isto pode ser em razão dos baixos estoques de COT na superfície, quando comparados com os solos de regiões temperadas e a forte interação dos óxidos de Fe e Al da argila com COT (Zinn et al., 2005). Roscoe et al. (2001) constataram que, após 23 anos de cultivo de pastagem em substituição ao Cerrado, os teores de COT nos primeiros 100 cm de profundidade do solo não demonstraram diferenças significativas. Isso foi atribuído à alta produção de biomassa das pastagens tropicais e, especialmente, ao efeito protetor da MOS pela argila desses solos. Neufeldt et al. (2002) também constatou grande aumento na concentração de COT em solos sob pastagem comparados com solos sob vegetação nativa de Cerrado. Wilcke & Lilienfein (2004) constataram que após 20 anos do plantio de *Pinus caribaea* em solos argilosos anteriormente ocupados por vegetação de Cerrado em Uberlândia- MG, houve o restabelecimento do teor de C na superfície (0–30 cm), enquanto que o C na camada mais inferior (30–200 cm) não foi afetado pela mudança do uso do solo. De modo geral, na região de Cerrado, as pastagens promovem a manutenção dos estoques de MOS e aquelas submetidas a boas práticas de manejo, às vezes, permitem a estocagem de C no solo superior ao observado sob a vegetação nativa (Roscoe et al., 2006).

Grande parte dos plantios de eucalipto no Brasil tem sido realizada na região de cerrados, em substituição à vegetação natural ou a outros usos de terra. Contudo, pouco se sabe sobre as alterações na MOS que essa prática causa. Por isso, este trabalho objetivou determinar o efeito do plantio de eucalipto em região de Cerrado no Vale do Jequitinhonha, MG nos estoques de C e N em frações mais lábeis e estáveis da MOS.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Características da área

Este estudo foi desenvolvido no município de Itamarandiba, no Vale do Jequitinhonha- MG, em solos sob povoamentos de *Eucalyptus urophylla* com 20 anos de idade, numa área de produção de sementes (APS) e com espaçamento de 3x2 m, implantado após a derrubada, enleiramento e queima do Cerrado nativo. Para fins de comparação foram amostrados solos em áreas de pastagem e de Cerrado adjacentes. O solo das áreas amostradas é Latossolo Vermelho Amarelo muito argiloso, com topografia plana a suavemente ondulada. O clima é do tipo Cwa, pela classificação de Köppen, com a temperatura média anual de 20° C, sendo que a temperatura média máxima anual de 26° C e a temperatura média mínima de 15° C. A precipitação pluvial média anual é de 1.160 mm concentradas entre os meses de outubro e março com verões quentes e chuvosos e invernos amenos e secos (Figura 1). A altitude é de 1.100 m. Os dados climáticos correspondentes ao período do experimento foram obtidos em estações meteorológicas da Acesita Energética.

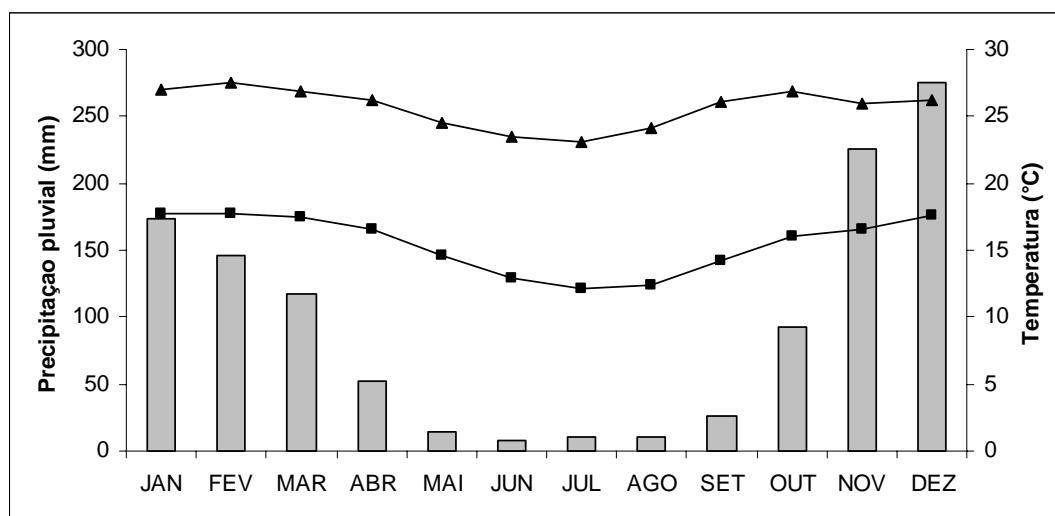


Figura 1 - Variação da média mensal de precipitação pluvial e temperatura em Itamarandiba – MG, durante o período de 1988 a 2004. Fonte: ACESITA Energética (2004).

2.2. Amostragem do solo e serapilheira

As amostras de solo foram coletadas em quatro parcelas de 600 m², alocadas em áreas com eucalipto, pastagem e Cerrado, mas que originalmente eram cobertas com vegetação de Cerrado (Goodland & Ferri, 1979). O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com quatro repetições. Coletaram-se amostras compostas de solos nas trincheiras, formadas por quatro amostras simples cada uma, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-100 cm. Essas profundidades foram utilizadas em razão da menor alteração do solo nas camadas mais profundas. Em cada uma das quatro parcelas, às mesmas profundidades, foram coletadas amostras indeformadas com anéis volumétricos para determinar a densidade do solo.

A amostragem do material vegetal acumulado sobre o solo foi realizada utilizando-se um gabarito de 0,25 m², em quatro repetições; para o Cerrado foram coletadas folhas, galhos finos e grossos à superfície do solo, para a pastagem foram coletadas as folhas mortas que estavam na superfície do solo e para o eucalipto foram coletadas folhas, galhos finos e grossos superficiais, os quais foram denominados de camada L. As folhas, galhos e raízes da cultura de eucalipto que se encontravam em contato direto com o solo e, portanto, em estado mais avançado de decomposição, foram denominados de camada F. O material das camadas L + F constituiu a serapilheira. Esses materiais foram acondicionados em sacos plásticos e transportados para o laboratório. Posteriormente, foi realizada a separação das folhas, galhos finos e grossos da camada L e folhas, galhos e raízes da camada F, antes da secagem em estufa a 72° C por cinco dias para, então, se fazer a determinação da massa seca.

2.3. Caracterização química do solo

As amostras de solo foram secadas ao ar, passadas em peneira com malha de 2 mm, e submetidas à análise química (Embrapa, 1997). A análise granulométrica foi feita pelo método da pipeta (Quadro 1).

Quadro 1 - Características químicas e físicas de amostras de um Latossolo Vermelho Amarelo, coletadas à profundidade de 0-20 cm sob Cerrado, pastagem e *Eucalyptus urophylla*

Cobertura vegetal	pH H ₂ O	CO	N	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC Efetiva	m	
		---g kg ⁻¹ ---				--mg dm ⁻³ --			-----cmol _c dm ⁻³ -----			%	
Cerrado	4,8	24,8	1,42	0,5	24	0,04	0,17	0,39	8,9	0,27	0,66	59,1	
Pastagem	5,03	27,1	1,56	1,7	21	1,18	0,14	0,29	9,4	1,37	1,66	17,5	
Eucalipto	5,63	25,5	1,23	0,8	14	0,00	0,09	0,64	10,5	0,13	0,77	83,1	
		Areia Grossa			Areia Fina		Silte		Argila		Densidade do solo		
		-----g kg ⁻¹ -----										g cm ⁻³	
Cerrado		50			50		90		810		0,88		
Pastagem		60			60		120		760		0,91		
Eucalipto		40			60		80		820		0,82		

O carbono orgânico total do solo (COT) foi determinado a partir de amostras de TFSA trituradas em almofariz, passadas em peneira de 0,5 mm e submetidas à determinação do teor de CO por oxidação úmida, com aquecimento externo (Yeomans & Bremner, 1988). O nitrogênio total (NT) foi determinado utilizando o método Kjeldahl, modificado por Tedesco (1985). Sub-amostras de TFSA foram pesadas e passadas em peneira de 0,2 mm (60 mesh) e colocadas em tubo no qual foram adicionados 5 mL de solução concentrada de H₂SO₄ e 0,7 g de mistura digestora. A digestão foi conduzida em bloco digestor com temperatura em torno de 360° C. Após resfriamento, o extrato foi submetido à destilação, seguida da titulação com solução de HCl 0,1104 mol L⁻¹ (Tedesco, 1985).

A matéria orgânica leve (MOL), fracionada fisicamente, foi separada conforme método proposto por Sohi et al. (2001). O método consiste em agitar 15 g de amostra de solo seco e peneirado (2 mm) com 30 mL de iodeto de sódio (NaI, d= 1,8 g mL⁻¹) em tubo de centrífuga de 50 mL por 30 min, em agitador horizontal. Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 2800 rpm, por 15 min, em temperatura de 5° C, a fim de promover a sedimentação das partículas minerais do solo. A fração orgânica sobrenadante na solução (fração leve livre) foi lavada com água destilada, visando eliminar o excesso de NaI na fração. A fração orgânica foi seca a, aproximadamente, 65° C, pesada e macerada em almofariz. Os teores de CO da matéria orgânica leve (MOL) foram determinados por combustão via seca em analisador elementar (Perkin Elmer CHNS/O 2400).

As substâncias húmicas (SH) foram extraídas de amostras de TFSA. Após serem maceradas e passadas em peneira de 100 mesh (0,149 mm), as amostras foram submetidas ao fracionamento de SH segundo o método da International Humic Substances Society (IHSS) (Swift, 1996). Foram obtidas as frações correspondentes aos ácidos fúlvicos (FAF), ácidos húmicos (FAH) e huminas (FH), com base na solubilidade diferencial em soluções alcalinas e ácidas. Do somatório de todas essas frações húmicas foram obtidas as substâncias húmicas (SH). A determinação do C de cada fração húmica foi realizada pelo método de oxidação úmida, com aquecimento externo (Yeomans & Bremner, 1988). Para a determinação de N total nas substâncias húmicas foi utilizado o método Kjeldahl (Tedesco, 1985).

O C e N da biomassa microbiana (C-BM e N-BM) foram determinados a partir de amostras de solo acondicionadas em frascos plásticos com tampas perfuradas, e que foram incubados por 16 dias, a 25° C, com a umidade correspondente a 80 % do equivalente de umidade (-33 kPa), para permitir o crescimento da comunidade microbiana. A umidade das amostras foi aferida a cada dois dias. Findo o período de incubação, foram determinados os teores de C-BM e N-BM pelo método da irradiação-extração (Islam & Weil, 1998), utilizando forno microondas com potência de 900 W e frequência de 2.450 MHz. Após a irradiação as amostras foram submetidas ao extrator K_2SO_4 0,5 mol L⁻¹. O C nos extratos foi quantificado por meio de oxidação úmida, sem aquecimento externo. O fator de conversão (K_C) usado para converter o C determinado para C da biomassa microbiana foi de 0,33 (Sparling & West, 1988). O N contido no extrato foi quantificado por meio de digestão sulfúrica, seguida da destilação e titulação com solução de HCl (Tedesco, 1985). O fator de conversão (K_N) utilizado para converter o N determinado em N-BM foi de 0,54 (Brookes et al., 1985). Os teores de C-BM e N-BM foram expressos com base na massa de solo seco em estufa a 65° C por 48 h.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e teste de médias com DMS protegido para cada profundidade estudada. Essas análises foram realizadas com o programa estatístico SAEG 5,0 (FUNARBE, 1993). Os estoques de C e N das diferentes frações da MOS, nas distintas camadas do solo, foram calculados multiplicando-se o teor de C ou N pelo volume de solo em cada camada de solo e pela densidade do solo sob Cerrado nas diferentes profundidades. O delineamento experimental foi em blocos ao

acaso, com parcelas subdivididas. O uso do solo (Cerrado, pastagem, eucalipto) foi considerado como a parcela principal, enquanto as profundidades de amostragem foram consideradas como sub- parcelas.

Para a análise da abundância natural do ^{13}C , as amostras de solo da camada de 0-10 cm foram passadas em peneira de 100 mesh (0,149 mm) e a relação $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ foi medida por combustão da matéria orgânica no espectrômetro de massa de alta sensibilidade (20–20, Sercon, Crewe, UK). A razão isotópica foi expressa em partes por 1000 ‰, em relação ao padrão de Pee Dee Belemnita (PDB), conforme a equação (Bernoux et al., 1998).

O compartimento de C derivado da pastagem (C_4) foi calculado conforme Vitorello et al. (1989).

2.4. Caracterização química da serapilheira

As amostras de serapilheira foram postas para secar em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de $70 \pm 2^\circ \text{C}$, até peso constante e, posteriormente, trituradas em moinho tipo Wiley e, então, submetidas à digestão nítrico-perclórica para a determinação dos teores de K (fotometria de chama), de P (colorimetria, pelo método da vitamina C, modificado por Braga & Defelipo, 1974), Ca, Mg, Cu, Zn (espectroscopia de absorção atômica). A análise do N e C total foi realizada por combustão a seco em analisador elementar CHNS/O 2400 (Perkin Elmer).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Teor e Estoque de Carbono e Nitrogênio na serapilheira

A quantidade de matéria seca da camada L do eucalipto foi superior ($p < 0,05$) à do Cerrado e da pastagem (Figura 2), possivelmente por sua maior produção de serapilheira outra possível explicação é a pobreza nutricional destes (Quadro 2) especialmente em P e K em comparação aos demais materiais vegetais e a participação de galhos finos e grossos na

serapilheira do eucalipto, materiais com baixa concentração de nutrientes. A pobreza da serapilheira de eucalipto tem sido atribuída à eficiente ciclagem bioquímica (Gama-Rodrigues & Barros, 2002). Baixos teores de nutrientes no material vegetal, geralmente correlacionam-se com baixas taxas de decomposição (Cobo et al., 2002).

O estoque de N na camada L foi menor para o Cerrado, cerca de 27 % em comparação com o eucalipto, o que pode ser decorrente da maior produção de litter pelo eucalipto e baixos teores de nutrientes dos materiais que compõem a serapilheira do eucalipto, que contribui para menor taxa de decomposição, conforme registrado por vários autores (Adams & Attiwill, 1986; Louzada et al., 1997; Gama-Rodrigues & Barros, 2002). Também, os materiais com elevada relação C/N (>25) e altos teores de lignina e polifenóis sofrem decomposição mais lenta (Myers et al. 1994 citado por Ndaw, 2003). Estudos mostram que quando os componentes de planta são mais lignificados e aromáticos estes decompõem mais lentamente favorecendo a manutenção de substâncias mais orgânicas no solo (Gosz, 1984; Kuzyakov & Domanski, 2000).

A serapilheira de eucalipto apresenta alta relação C/N de 30 a 100 em função da parte da planta estudada e também pela alta relação C/P e C/S, o que contribui para lenta decomposição do resíduo (Skorupa, 2001).

A esses fatos são atribuídos os incrementos nos teores de COT a longo prazo, principalmente nas camadas mais superficiais. Estudos demonstram que a serapilheira do eucalipto é decomposta de forma lenta, e resulta na imobilização e estocagem de quantia significativa de nutrientes, principalmente N na serapilheira da superfície do solo (Adams & Attiwill, 1986; Chander et al., 1995).

A quantidade da serapilheira do eucalipto na região estudada foi considerada baixa, cerca de 13,8 t ha⁻¹, quando comparada com determinadas regiões, que foram entre 14,8 e 18,1 t ha⁻¹ em serapilheira acumulada em plantações de eucalipto (Kolm & Poggiani, 2003; Martins et al., 1995).

A vegetação nativa de Cerrado da região estudada apresentava baixa densidade populacional, com baixa produtividade primária líquida e, assim, baixos valores de massa da serapilheira, cerca de 2,24 t ha⁻¹ (Figura 2). Vieira (1998), em Itatinga (SP), encontrou 11 t ha⁻¹ de serapilheira acumulada sob vegetação natural de Cerrado.

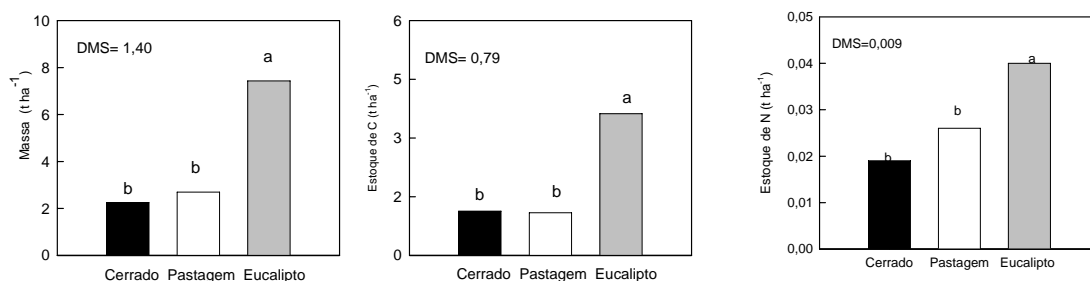


Figura 2 - Quantidade de matéria seca ($t\ ha^{-1}$) e estoque de C e de N ($t\ ha^{-1}$) da camada L sob Cerrado, pastagem e eucalipto. DMS (5 %).

Quadro 2 - Características químicas da camada L (folha, galho fino e galho grosso) sob Cerrado (três repetições para folhas e uma (para galhos), pastagem e *Eucalyptus urophylla*

Cobertura vegetal	Frações da Camada L	N	C	g kg^{-1}				C/N	mg kg^{-1}		Peso $t\ ha^{-1}$
				K	P	Mg ²⁺	Ca ²⁺		Zn	Cu	
Cerrado	Folha	9,3 a	503,6 a	2,31 a	0,43 a	2,5 a	4,8 a	54 a	8,6 b	3,4 a	2,24 a
	Galho Fino	7,5	489,8	2,98	0,34	1,6	4,7	65	14,4	7,7	1,10
	Galho Grosso	7,5	478,9	2,08	0,26	1,8	5,2	64	14,65	7,20	0,70
Pastagem	Folha	9,7 a	407,8 c	2,60 a	0,48 a	1,7 a	5,5 a	42 a	17,0 a	4,60 a	2,69 a
Eucalipto	Folha	8,6 a	484,5 b	0,36 b	0,27 b	1,1 a	2,4 a	56 a	5,6 b	3,30 a	2,79 a
	Galho Fino	3,4	494,1	0,26	0,15	0,7	1,5	145	5,0	3,00	2,04
	Galho Grosso	3,7	487,1	0,11	0,16	0,3	0,4	131	3,0	2,20	2,59

Para as folhas, médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo Teste de DMS (5 %).

3.2. Teor e Estoque de C e N no solo e nas substâncias húmicas

Não houve diferenças significativas para os teores de COT no solo entre as coberturas vegetais estudadas, nas diferentes profundidades, embora houvesse diminuição do teor do COT com o aumento da profundidade (Figura 3). Isso indica ou que a substituição de Cerrado por pastagem e eucalipto não resultou em decréscimo do COT ou que o aporte por estas duas coberturas foi semelhante àquele de Cerrado. Os teores de NT foram maiores no solo da pastagem e menores naquele de eucalipto nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade (Figura 3). A relação C/N foi maior para o eucalipto (em torno de 22:1), ao passo que o solo das outras coberturas apresentou uma relação C/N menor que 20 (Figura 3).

Os maiores teores de C nas coberturas vegetais estudadas foram encontrados na fração húmica (FH), sendo que o eucalipto apresentou o menor valor ($12,1\ g\ kg^{-1}$) em

comparação com as outras coberturas. No entanto, nas frações ácido húmico e fração ácido fúlvico (FAH e FAF) os teores de C foram cerca de 16,6 e 17,5 % maiores para o eucalipto quando comparados com a pastagem e 17,5 e 36,9 % em relação ao solo de Cerrado, respectivamente (Figura 3). Estudos em solos sob clima tropical apresentaram resultados similares quanto ao maior teor de C na FH (Mendonça, 1988; Coelho, 1991; Leite, 2002). Este fato pode ser atribuído à interação da matéria orgânica com a fração mineral desses solos. O maior estoque de C na FAH e FAF do solo sob eucalipto deve-se, provavelmente, a maior produção de resíduos vegetais dessa cultura e sua menor taxa de decomposição.

As três coberturas vegetais apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) nas camadas superficiais para os teores de NT nas FAF e FH, sendo que o Cerrado apresentou os maiores valores de NT para todas as frações exceto FAH, e a FH apresentou os maiores valores de NT em todas as coberturas estudadas (Figura 3). A relação CAH/CAF foi menor para o solo sob Cerrado (Figura 4) em todas as profundidades estudadas, em comparação com a pastagem e eucalipto, ficando abaixo de 1,0 nas maiores profundidades. No entanto, a relação NAH/NAF foi menor para a pastagem (Figura 4). A relação CAH/CAF tendeu a diminuir com a profundidade para as diferentes coberturas vegetais, sendo que foi superior a 1,0 para a pastagem e o eucalipto. Volkoff & Cerri (1988) verificaram que em Latossolos sob Cerrado, a MOS humificada era constituída de, aproximadamente, 50 % de humina, e que esta proporção permaneceu constante em profundidade. De maneira geral, o baixo teor de bases trocáveis nos solos mais intemperizados diminui a intensidade dos processos de humificação (condensação e síntese), e em consequência a relação CAH/CAF é menor (Canellas & Santos, 2005).

A retirada da vegetação nativa para introdução de pastagens leva à importantes modificações na dinâmica das substâncias húmicas. Neste estudo, foi observado que, para o Cerrado e a pastagem, cerca de mais de 60 % do COT foi proveniente da FH e para o eucalipto cerca de 50 % do COT foram provenientes da FH, seguidas das FAH e FAF. A influência da pastagem nas frações húmicas de Latossolos distróficos sob Cerrado e da floresta Amazônica foi estudada por Longo & Espíndola (2000), que constataram diminuição dos estoques das FAF e FAH e FH, decorrente da mudança da vegetação natural para outros usos, evidenciando o efeito do manejo sobre o teor e sobre a distribuição dos componentes orgânicos em solos tropicais.

Verificou-se menor relação CH/(CAH +CAF) no solo de eucalipto em todas as profundidades estudadas, em comparação com as outras coberturas. Essa menor relação pode resultar em uma menor estabilidade estrutural da matéria orgânica, em razão da composição química da serapilheira do eucalipto, talvez uma MO mais recente (Figura 4).

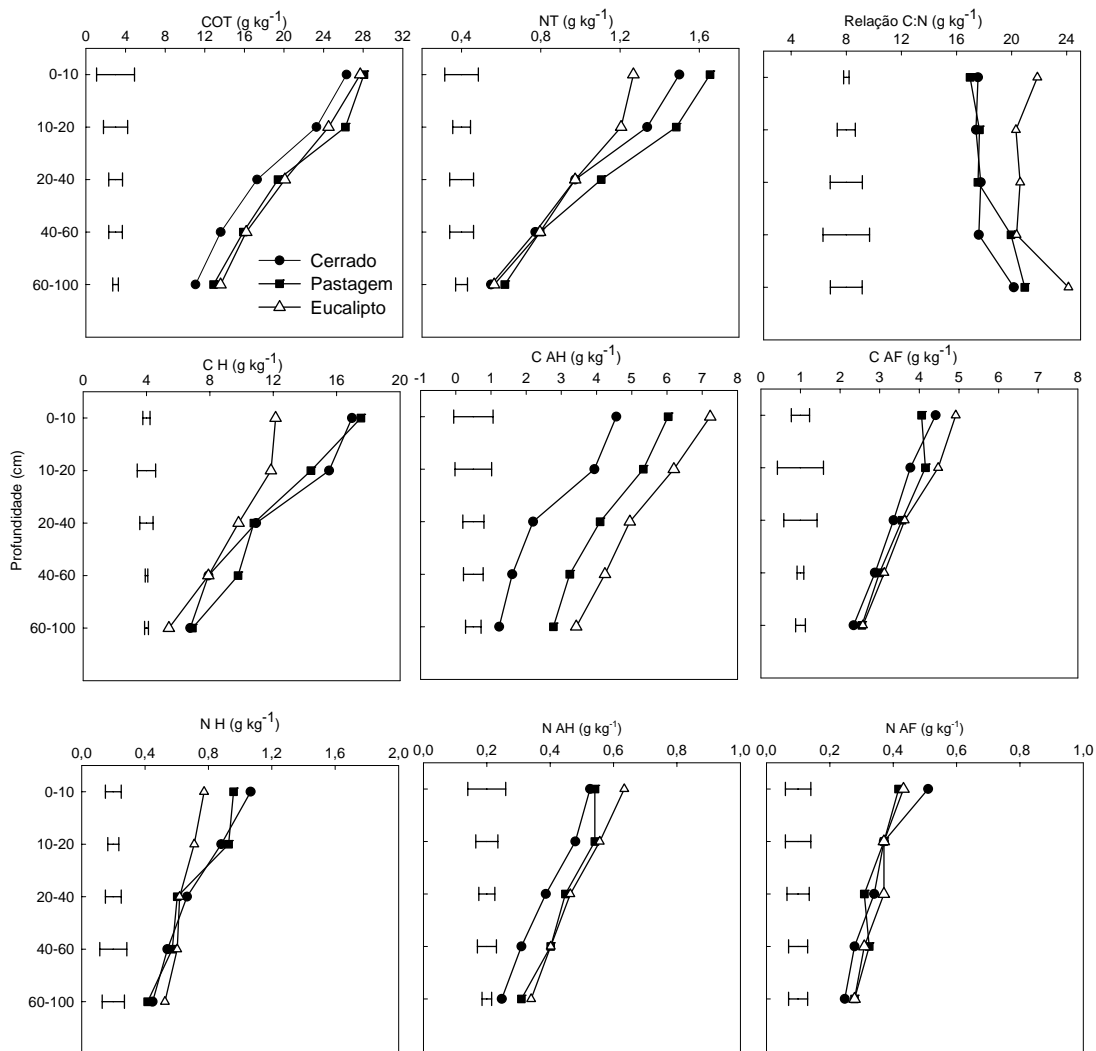


Figura 3 - Teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) do solo e das frações humina (H), ácidos húmicos (AH) e ácidos fúlvicos (AF), nas diferentes coberturas vegetais (Cerrado, pastagem e eucalipto). As barras horizontais indicam a DMS (5%), entre as médias, de acordo com a camada de solo amostrada.

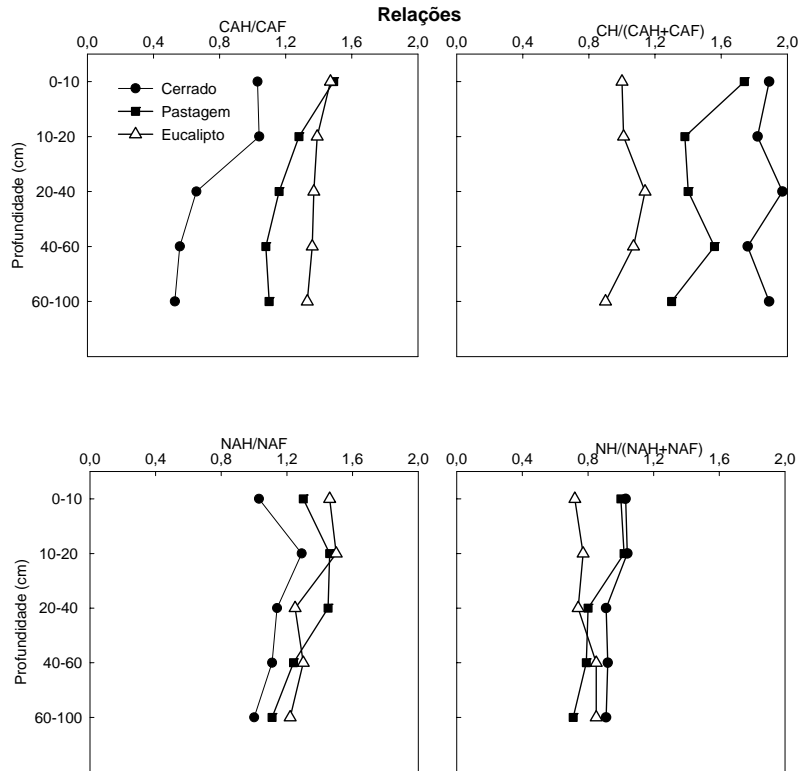


Figura 4 - Relações de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) das frações humina, ácidos húmicos (AH) e ácidos fúlvicos (AF), nas diferentes coberturas vegetais (Cerrado, pastagem e eucalipto).

Os cultivos do eucalipto e da pastagem aumentaram os estoques de COT na camada de 0-100 cm de profundidade em relação ao Cerrado. Isso se deve provavelmente ao maior tempo de cultivo da pastagem e à maior produção de serapilheira no eucalipto (Figura 5). Os estoques de N até 1 m de profundidade também foram maiores para solo sob pastagem, enquanto não houve diferenças significativas entre os solos de eucalipto e aqueles de Cerrado (Figura 5). Ao contrário do observado para o estoque COT, as maiores diferenças para os estoques de NT entre as coberturas ocorreram na camada de 0-10 cm de profundidade (Figura 5).

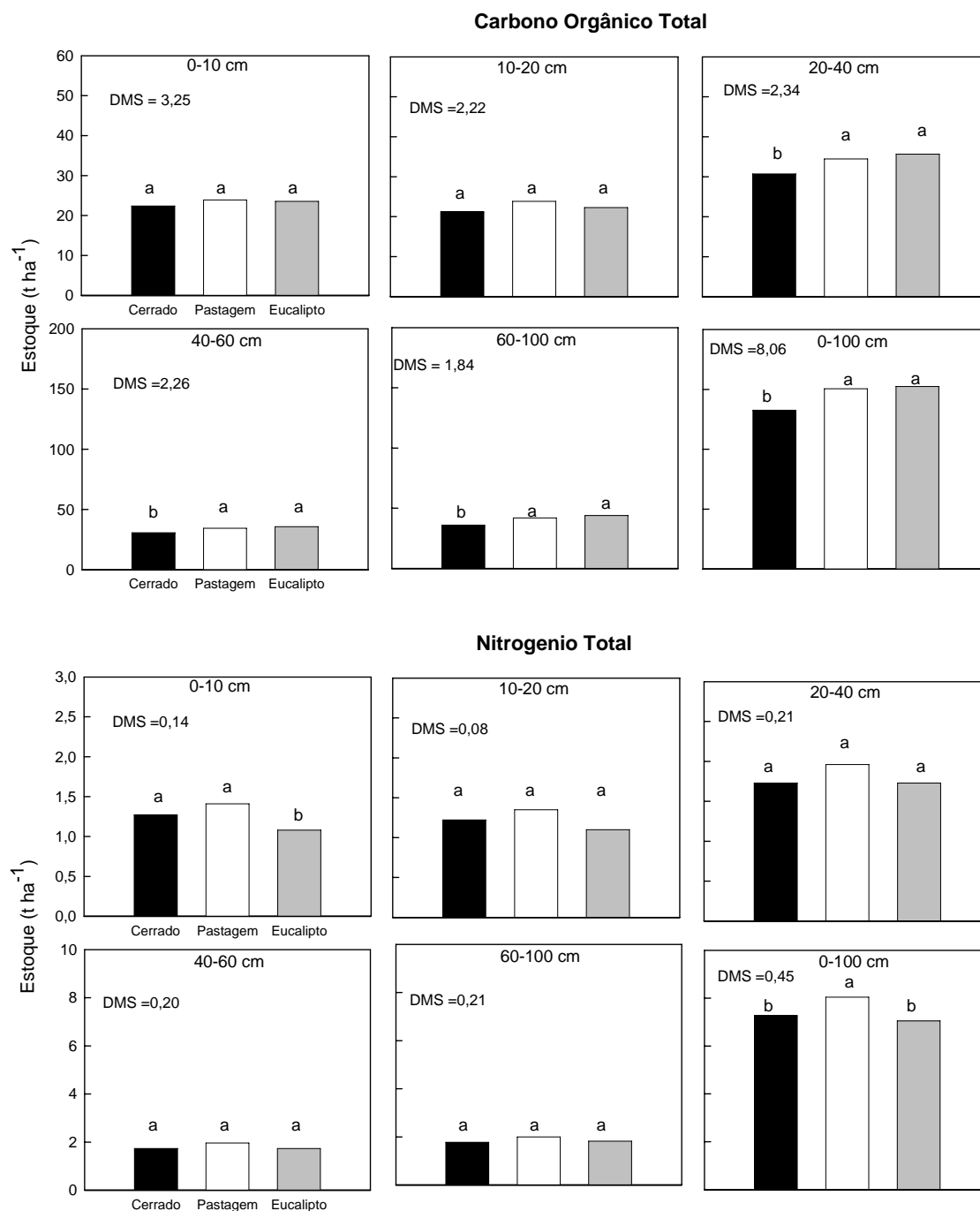


Figura 5 - Estoque de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) nas diversas camadas de solo sob Cerrado, pastagem e eucalipto. DMS (5 %).

Os dados demonstram que sempre que a pastagem substituiu o Cerrado houve aumento dos estoques de COT e NT na camada de até 100 cm de profundidade do solo (Figura 5). Assim, a substituição da vegetação do Cerrado no Vale do Jequitinhonha pelo

eucalipto não resultou em redução do estoque de COT, e sim aumento de 13 % na camada de 0-100 cm. Contudo observou-se a diminuição do estoque de NT em 15 % na camada de 0-10 cm, 10 % na camada de 10-20 cm e 3 % na camada de 0-100 cm. A maior parte do N no solo apresenta-se ligado a compostos orgânicos, portanto, modificações na MOS alteram significativamente os teores deste elemento no solo (Whiethölter, 2000). Em áreas de vegetação de Cerrado na Amazônia estoque de 1,3 t ha⁻¹ de N na camada de 0-10 cm foi reduzido em aproximadamente 30 % quando da mudança de uso da terra para cultivo de arroz (Carvalho, 2006).

O estoque de C no solo na camada de 0-100 cm e na serapilheira do eucalipto correspondeu 166,2 t ha⁻¹, onde cerca de 8 % se encontra na serapilheira e 92 % no solo sob eucalipto. Esta quantidade é 60 % maior do que o Cerrado e 36 % maior do que a pastagem. Assim, a cultura de eucalipto e a pastagem tenderam a apresentar os maiores estoques de COT, provavelmente em virtude da quantidade de resíduos na forma de serapilheira, para o eucalipto, e de raízes finas para a pastagem, que contribuíram com maior aporte de resíduos. O eucalipto em comparação à pastagem apresentou o maior teor de COT na profundidade de 10-20 cm, possivelmente, à contribuição do sistema radicular mais profundo do eucalipto.

Nos solos estudados, a FH apresentou menor diferença entre os tipos de cobertura vegetal nas camadas mais profundas (Figura 7), possivelmente por ser esta fração mais recalcitrante, além da sua íntima associação com as frações texturais mais finas do solo.

O estoque de C e N da FH foi maior do que o da FAF e FAH, representando cerca de 60 e 50 % respectivamente do estoque das SH. O estoque de C na FH foi menor no solo do eucalipto em comparação com o solo sob pastagem e Cerrado. No entanto, o estoque de C nas FAH e FAF foi maior para o eucalipto, indicando a menor estabilidade do C no solo desta cobertura vegetal (Figuras 6 e 7).

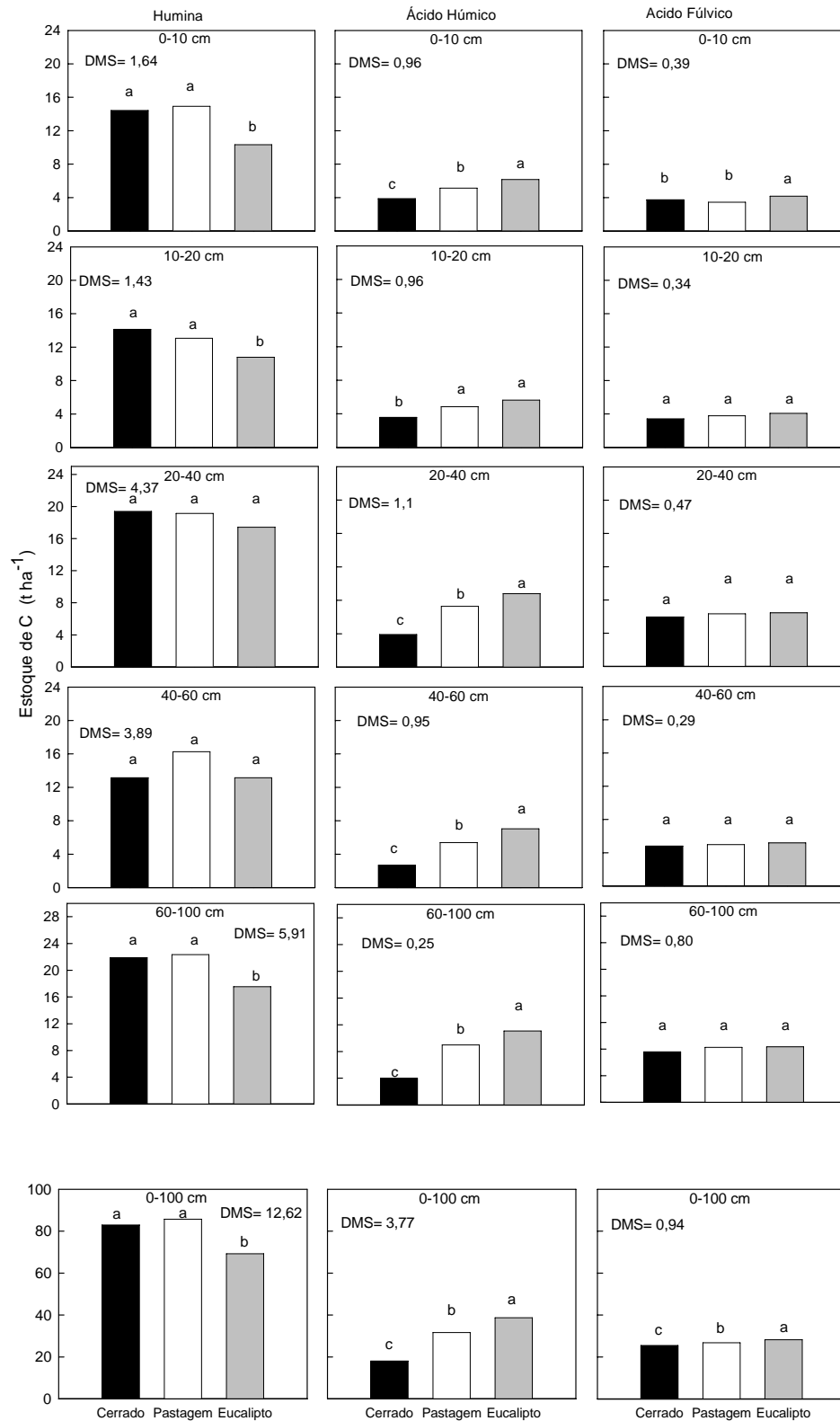


Figura 6 - Estoque de carbono nas frações humina, ácido húmico, ácido fúlvico em diversas camadas sob Cerrado, pastagem e eucalipto. DMS (5 %).

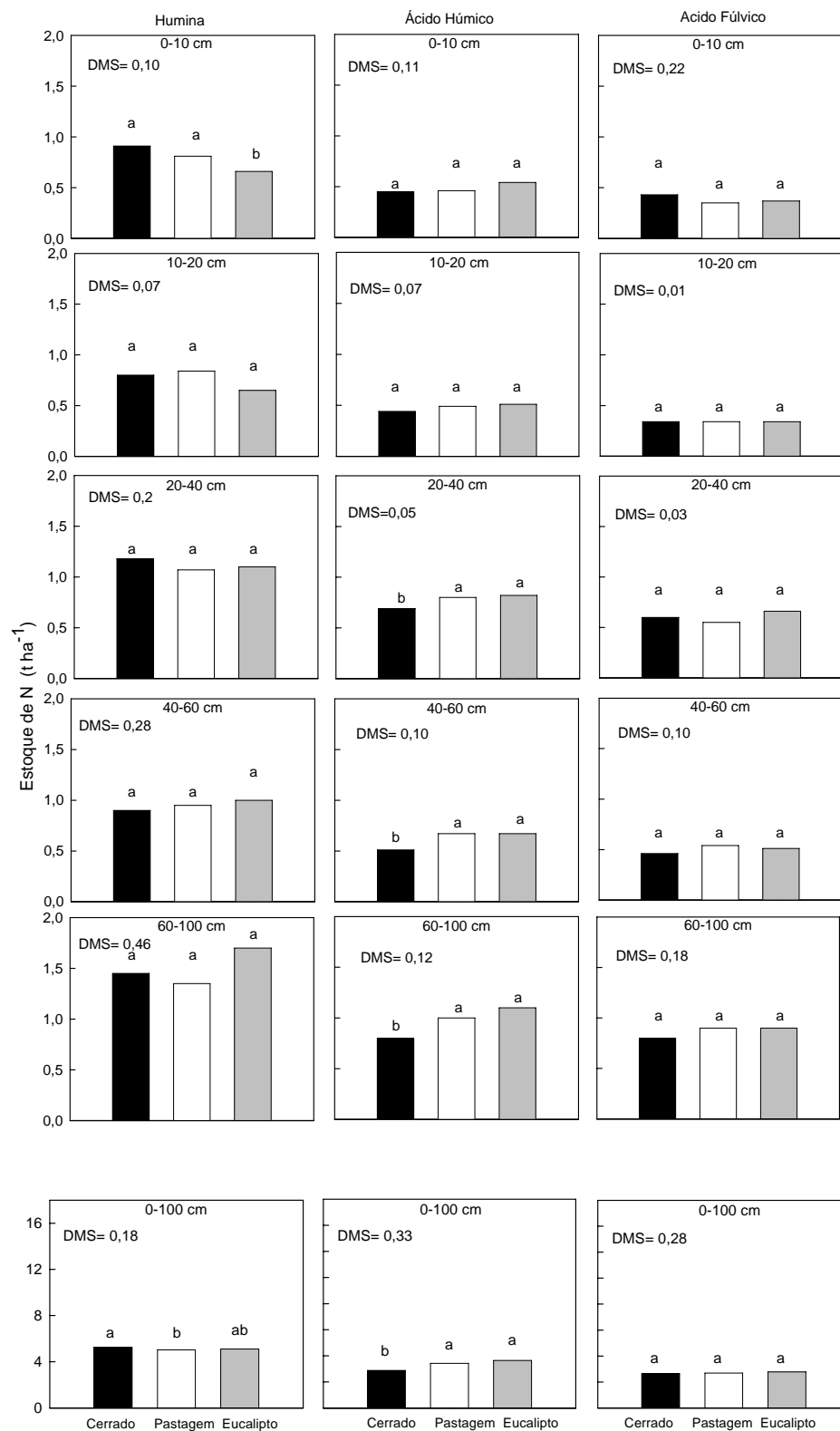


Figura 7 - Estoque de nitrogênio nas frações humina, ácidos húmicos e humina nas diversas camadas sob Cerrado, pastagem e eucalipto. DMS (5 %).

3.3. Estoque de C e N na Matéria Orgânica Leve

Os maiores estoques de C de matéria orgânica leve (C-MOL) encontravam-se na camada mais superficial do solo das três coberturas vegetais (Figura 8). No solo sob cultivo de eucalipto foram observados os maiores valores de C-MOL em comparação com os outros usos, sendo 58 % superior na camada de 0-10 cm no solo do Cerrado e 42 % superior na camada de 0-100 cm para a pastagem. Isso devido ao maior aporte de resíduos advindos do plantio de eucalipto. Roscoe et al. (2001) observaram elevada quantidade de C-MOL na camada de 0-7,5 cm em solos sob Cerrado (39 % do COT), enquanto que na pastagem (6 % do COT) não foi observado tal acúmulo, levando os autores a afirmar que a área em estudo está degradada com relação a MOS. Neste estudo, o cultivo da pastagem não diminuiu o estoque de C-MOL em comparação com a vegetal nativa de Cerrado.

O cultivo de eucalipto adicionou maiores quantidades de C pela MOL, o que contribui para o aumento da MOS. O eucalipto apresentou o maior aporte de resíduos ao solo, sendo que a quantidade de matéria seca da camada L do eucalipto foi cerca de 70 e 67 % superior, ($p < 0,05$), respectivamente àqueles de Cerrado e pastagem (Figura 2). As plantações de eucalipto por apresentarem taxa de crescimento maior do que o Cerrado, depositam sobre o solo maior quantidade de folhas e resíduos finos, o que contribuem para o aumento da MOL. Além disso, a baixa qualidade química desses resíduos não permite a rápida decomposição destes, o que contribui para um maior estoque de MOL em comparação com as outras coberturas.

Para os estoques de N-MOL houve diferença significativa somente para a camada de 0-10 cm, sendo que o solo de eucalipto apresentou os maiores valores (Figura 8), em razão do maior aporte de matéria seca, e morte de raízes desta cobertura.

Nos solos sob eucalipto a relação C-MOL/COT foi superior àquela dos outros usos da terra, principalmente na camada de 0-10 cm, na qual esta relação superou em cerca de 56 e 61 % a correspondente ao Cerrado e à pastagem, respectivamente. A relação C-BM/C-MOL foi maior para o Cerrado na camada de 0-10 cm com cerca de 47 e 79 % em comparação com a pastagem e o eucalipto, respectivamente e na camada de 20-40 cm com cerca de 70 e 48 % menores para a pastagem e o eucalipto em comparação ao Cerrado.

As tendências verificadas para C-BM e C-MOL demonstraram que os estoques das frações mais biologicamente ativas do solo foram reduzidas com maior intensidade na camada abaixo da superfície no solo, principalmente no Cerrado. Frações da MOS que têm ciclagem mais rápida, como a BM e a MOL, são extremamente importantes, pois contribuem para ciclagem de nutrientes, desde que são fontes de energia mais prontamente disponíveis para os microrganismos responsáveis por esta ciclagem (Janzen et al., 1992).

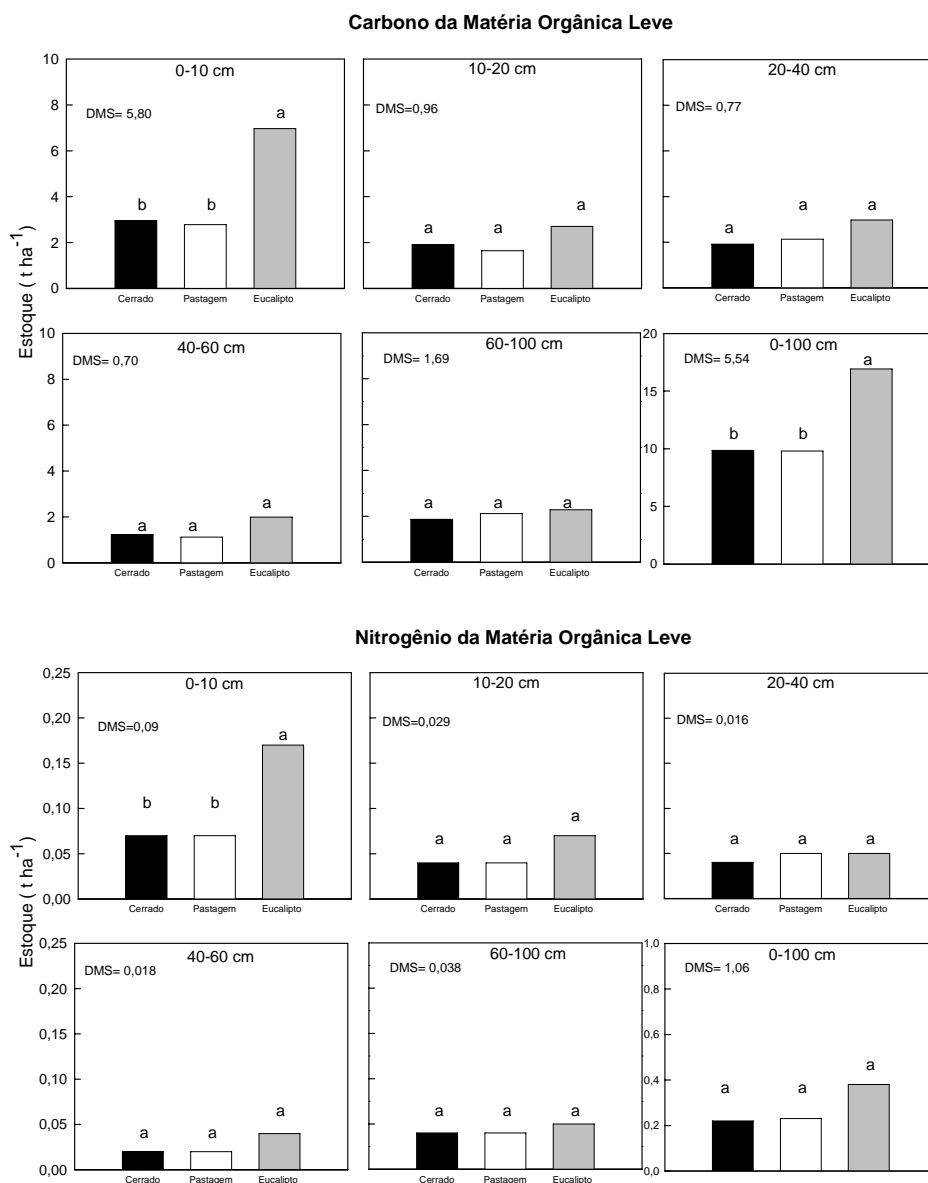


Figura 8 - Estoque de carbono e nitrogênio da matéria orgânica leve (C-MOL) nas diversas camadas de solo sob cerrado, pastagem e eucalipto. DMS (5 %).

3.4. Estoque e teor de C e N na Biomassa Microbiana (C-BM, N-BM)

Para o C-BM houve diferença significativa somente para a pastagem na camada de 20-40 cm, sendo menor quando comparada com as outras coberturas, provavelmente pelo menor aporte de raízes finas provenientes da pastagem nessa camada. Para o N-BM não houve diferença significativa entre as coberturas estudadas (Figura 9).

Em plantações de eucalipto, Gama-Rodrigues et al. (2005), estudando a atividade da biomassa microbiana do solo, constataram que os teores de CO e C-BM variaram de 2,78 a 12,32 g kg⁻¹ e de 43,39 a 401,06 mg kg⁻¹ de solo, respectivamente. No solo estudado, na camada de 0-10 cm, os teores de C-BM foram de 374,1; 188,3 e 184,2 mg kg⁻¹ para Cerrado, pastagem e eucalipto, respectivamente. Esses valores são baixos comparativamente aos encontrados em outras culturas, sendo, portanto, indicadores de pobre crescimento microbiano nessas condições (Behera & Sahani, 2003).

Maiores valores da proporção C-BM/COT foram observados no solo sob Cerrado (1,42; 0,93; 1,32) respectivamente, nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm em relação ao solo da pastagem (0,67; 0,87; 0,39) e eucalipto (0,67; 0,88; 0,92) respectivamente, indicando maior quantidade de C imobilizado como BM no Cerrado. Quanto maior a relação C-BM/COT do solo, mais ativa é a MO e mais sujeita a transformação (Garcia et al., 1997). O valor da relação C-BM/COT pode indicar se o C está em equilíbrio, acumulando ou diminuindo. A maior relação de C-BM/COT em florestas naturais ou regeneradas pode ser explicada com base na maior diversidade do substrato orgânico produzido e aportes destes no local (Anderson & Domsch, 1989). Os menores valores da proporção C-BM/COT nas diversas camadas das coberturas estudadas poderiam indicar que a disponibilidade de substrato para os microrganismos do solo foi relativamente baixa.

O C-BM geralmente compreende 2 a 4 % do COT (Gama-Rodrigues, 1999). No entanto, no solo estudado esses valores foram menores, em torno de 0,39 e 1,42 % do COT indicando o pobre crescimento e atividade microbiana desse solo. Para N-BM/COT o solo sob Cerrado também obteve os maiores valores nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, seguido do eucalipto e da pastagem, indicando maior quantidade de N imobilizado como biomassa microbiana no eucalipto.

A BM do solo neste estudo foi pouco afetada pelo uso do solo, possivelmente pela época de coleta das amostras e maior instabilidade desta fração ao longo do tempo.

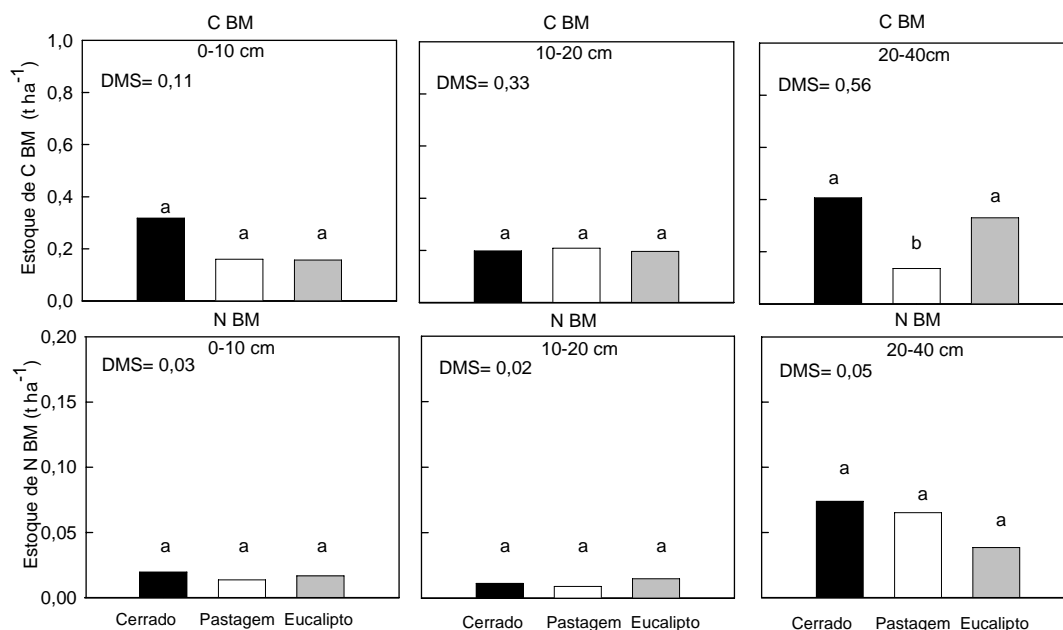


Figura 9 - Estoque de carbono e de nitrogênio da biomassa microbiana (C-BM, N-BM) em diversas camadas de solo sob Cerrado, pastagem e eucalipto. DMS (5 %).

3.5. Abundância Natural de ^{13}C

A razão isotópica do ^{13}C foi determinada para que se pudesse quantificar a influência de cada uma das espécies vegetais (eucalipto ou gramínea) na MOS de Cerrado. O teor de C no solo e no material vegetal das amostras do Cerrado e eucalipto foi semelhante (Quadro 3).

A contribuição do C-C₄ na vegetação de Cerrado foi cerca de 65 % em comparação com C oriundo de plantas C₃ que foi 35 %. No eucalipto a contribuição de C-C₃ foi de 95 % e de C-C₄ cerca de 5 % (Quadro 3). Após 20 anos de cultivo de eucalipto em área anteriormente ocupada por Cerrado houve perda de cerca de 3 % de C-C₄ por ano.

Quadro 3 - Teor de C e abundância natural de ^{13}C de amostras de solo de Cerrado e eucalipto na camada de 0-10 cm

	C (%) solo	$\delta^{13}\text{C}$ (V-PBD) solo	C (%) material vegetal	$\delta^{13}\text{C}$ (V-PBD) material vegetal	Contribuição C4(‰)	Contribuição C3 (‰)
Cerrado	3,69	-22,84	33,91	-26,5	65	35
Eucalipto	3,59	-23,07	36,45	-27,5	5	95

Assim, o cultivo do eucalipto provocou o declínio de C derivado de plantas C₄ e maior acumulação daquele derivado de plantas C₃, quando comparado com o solo sob vegetação natural de Cerrado.

4. CONCLUSÕES

O cultivo do eucalipto causou alteração no estoque de COT nas frações da matéria orgânica do solo, levando a menor estoque da fração humina e maior das frações ácido húmico e fúlvico em comparação com o Cerrado e pastagem.

O cultivo do eucalipto não alterou o estoque de C e N da biomassa microbiana (BM) do solo em comparação com o Cerrado e pastagem.

O cultivo de eucalipto por 20 anos em área de Cerrado provocou perda de cerca de 3 ‰ de C-C₄ por ano.

O cultivo de eucalipto adicionou maiores quantidades de C e N pela matéria orgânica leve (MOL) o que contribui para o aumento da MOS.

De modo geral o cultivo do eucalipto levou ao aumento do estoque de C das diferentes frações de MOS em comparação com o Cerrado original.

5. LITERATURA CITADA

- ADAMS, M. A. & ATTIWILL, P.M. Nutrient cycling and nitrogen mineralization in eucalypt forests South-Eastern Australia. I. Nutrient Cycling and nitrogen turnover. *Plant Soil*, 92; 319-339, 1986.
- ALBRECHT, A. & KANDJI, S.T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agric. Ecosys. Environ.*, 99: 15-27, 2003.
- ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.*, 10: 215-221, 1978.
- BARROS, N.F. & COMERFORD, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V. & COSTA, L.M., ed. *Tópicos em ciência do solo*. v. II. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, Folha de Viçosa, p. 487-592, 2002.

- BEHERA, N. & SAHANI, U. Soil microbial biomass and activity in response to Eucalyptus plantation and natural regeneration on tropical soil. *For. Ecol. Manag.*, 174: 1-11, 2003.
- BERNOUX, M.; CERRI, C.C.; NEILL, C. & MORAES, J.F.L. The use of stable carbon isotopes for estimating soil organic matter turnover rates. *Geoderma*, 82:43-58, 1998.
- BLAIR, N., & CROCKER, G.J. Crop rotation effects on soil carbon and physical fertility of two Australian soils. *Aust. J. Soil Res.*, 38:71-84, 2000.
- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extrato de solo e material vegetal. *R. Ceres*, 21: 73-85, 1974.
- BROKES, P.C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G. & JENKINSON, D.S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method for measuring microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 17: 837-842, 1985.
- CANELLAS, L.P. & SANTOS G.A. *Humosfera: Tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas*. Campos de Goytacazes. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2005. 309p.
- CARTER, M.R. Organic matter and sustainability. In: REES, R.M. BALL, B.C.; CAMPBELL, C.D. & WATSON, C.A. eds. *Sustainable management of soil organic matter*. New York: CABI, 2001. p. 9-22.
- CARVALHO, J.L.N. *Conversão do Cerrado para fins agrícolas na Amazônia e seus impactos no solo e no ambiente*. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. - Piracicaba. 2006, 95 p. (Dissertação de Mestrado)
- CHANDER, K.; GOYAL, S. & KAPOOR, K. K. Microbial biomass dynamics during the decomposition of leaf litter of poplar and eucalyptus in a sandy loam. *Biol. Fert. Soils*, 19: 357-362, 1995.
- CHEN, C.R.; XU, Z.H. & MATHERS, N.J. Soil carbon pools in adjacent natural and plantation forests of subtropical Australia. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68: 282-291, 2004.
- CHRISTENSEN, B.T. Organic matter in soil: Structure, function and turnover. *Plant Prod.*, 30:95, 2000.
- COBO, J.G.; BARRIOS, E.; KASS, D.C.L. & THOMAS, R.J. Nitrogen mineralization and crop uptake from surface-applied leaves of green manure on a tropical volcanic-ash soil. *Biol. Fert. Soil*, 36:87-92, 2002.
- COELHO, R.M. Influência da vinhaça, da fertilização mineral e do cultivo em características químicas da matéria orgânica e da fração mineral de um Latossolo

- Vermelho-Escuro. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1991. 84p. (Tese de Mestrado)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de levantamento e Conservação de solos. Rio de Janeiro. Manual de métodos de análise de solo, SNLCS, 1997. 212p.
- FUNARBE, SAEG—Sistema para análise estatística e genética 5.0. Viçosa, MG. 1993.
- 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: 893-901, 2005.
- GAMA-RODRIGUES, A.C. & BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dandá no sudeste da Bahia, Brasil. R. Árvore, 26: 193-207, 2002.
- GAMA-RODRIGUES, E.F. 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. Porto Alegre: Gênese, p.227-243. 1999.
- GOODLAND, R. & FERRI, M.G. Ecologia do Cerrado. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 193 p. 1979.
- GOSZ, J.R. Biological factors influencing nutrient supply in forest soils. Pp. 119-145. In: Bowen, G.D. & Nambiar, E.K.S. (ed.). Nutrition of Plantation Forests. London, Academic Press, 1984. 51p.
- ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. Biol. Fert. Soils, 27: 408-416, 1998.
- JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C.A.; BRANDT, S.A.; LAFOND, G.P. & SMITH, T. L. Light fraction organic matter in soils from long term crop rotations. Soil Sci. Soc. Am. J., 56: 1799-1806, 1992.
- KOLM, L. & POGGIANI, F. Ciclagem de nutrientes em plantações de *E. grandis* submetidas à prática de desbastes progressivos. Scientia Forestalis, 63:79-93, 2003.
- KUZYAKOV, Y. & DOMANSKI, G. Carbon input by plants into the soil. J. Plant Nutr. Soil Sci., 163: 421-431, 2000.
- LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. For. Ecol. Manag., 220: 242-258, 2005.
- LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on climate change and food security. Science, 304: 1623–1627, 2004.

- LEITE, L.F.C. Compartimentos e dinâmica da matéria orgânica do solo sob diferentes manejos e sua simulação pelo Modelo Century. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 146p. 2002. (Tese de Doutorado)
- LIMA, A.M.N.; SILVA, I.R.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; MENDONÇA, E.S.; SMYTH, T.J.; MOREIRA, M.S. & LEITE, F.P. Soil organic carbon dynamics following afforestation of degraded pastures with eucalyptus in Southeastern Brazil. *For. Ecol. Manag.*, 235: 219-231, 2006.
- LONGO, R.M. & ESPÍNDOLA, C.R. C-orgânico, N-total e substâncias húmicas sob influência da introdução de pastagens (*Brachiaria sp.*) em áreas de Cerrado e Floresta Amazônica. *R. Bras. Ci. Solo*, 24: 723-729, 2000.
- LOUZADA, J.N.C. SCHOEREDER, J.H. & MARCO JR, P. Litter decomposition in semideciduous forest and *Eucalyptus spp.* Crop: An comparison in Southern Brazil. *For. Ecol. Manag.*, 94: 31-36, 1997.
- LOVELAND, P. & WEBB, J. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil Tillage Res.*, 70: 1-18, 2003.
- MARTINS, S.V.; BARROS, N.F. & SAMPAIO, O.B. & GOMES, R. T. Liberação e lixiviação de nutrientes pela queima da manta orgânica de três coberturas vegetais. *R. Árvore*, 19:149-156, 1995.
- MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica e características químicas de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob mata natural, seringueira e pastagem. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1988. 78p. (Tese de Mestrado)
- MILLARD, P.; SOMMERKORN, M. & GRELET, G. Environmental change and carbon limitation in trees: A biochemical, ecophysiological and ecosystem appraisal. *New Phytologist*, 1-18, 2007.
- MOLLOY, L.F. & SPEIR, T.W. Studies on a climosequence of soil in tussock grasslands. 12. Constituents of the soil light fraction. *New Zealand J. Soil Sci.*, 20: 167-177, 1977.
- NAMBIAR, E.K.S. Pursuit of sustainable plantation forestry. *South. Afr. For. J.*, 184: 45-61, 1999.
- NDAW, S.M. Diversidade, biomassa e atividade microbiana como indicadores de qualidade do solo e da serapilheira em sítios sob diferentes coberturas vegetais na Região Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2003. 98p. (Tese de Mestrado)
- NEUFELDT, H.; RESCK, D.V.S. & AYARZA, M. A. Texture and land-use effects on soil organic matter in Cerrado Oxisols, Central Brazil. *Geoderma*, 107: 151-164, 2002.

- PALMER, C.J.; SMITH W. D. & CONKLING, B.L. Development of a protocol for monitoring status and trends in forest soil carbon at a national level. *Environ. Poll.*, 166: S209-219, 2002.
- PAUSTIAN, K.; SIX, J.; ELLIOTT, E.T. & HUNT, H.W. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. *Biogeochem.*, 48: 147-163, 2000.
- POST, W.M. & KWON, K.C. Soil Carbon sequestration and land-use change: Processes and potential. *Global Change Biol.*, 6: 317-327, 2000.
- ROSCOE, R.; BUURMAN, P.; VELTHORST, E.J. & VASCONCELLOS, C.A. Soil organic matter dynamics in density and particle size fractions as revealed by the ¹³C/¹²C isotopic ratio in a Cerrado's Oxisol. *Geoderma*, 104:185-202, 2001.
- ROSCOE, R.; BODDEY, R. M. & SALTON, J.C. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: Roscoe, R.; Mercante, F.M. & Salton, J.C. org. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: Modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 17-41, 2006.
- SKORUPA, A.L.A. Acumulação e decomposição de serapilheira em povoamento de eucalipto, na Região do Baixo do Rio Doce-MG. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 64p. (Tese de Mestrado)
- SOHI, S.P.; MAHIEU, N.; ARAH, J.R.M.; POWLSON, D.S.; MADARI, B. & GAUNT, J.L. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65:1121-1128, 2001.
- SPARLING, G.P. & WEST, A.W. A direct extration method to estimate soil microbial C: calibration in situ using microbial respiration and ¹⁴C labeled cells. *Soil Biol. Biochem.*, 20: 337-343, 1988.
- SPECHT, A. & WEST, P.W. Estimation of biomass and sequestered carbon on farm forest plantation in northern New South Wales, Australia. *Biom. & Bioen.*, 25: 363-379, 2003.
- STEVENSON, F.J. *Humus Chemistry: Genesis, composition and reactions*. 2.ed. New York, Willey & Sons Inc., 496 p. 1994.
- SWIFT, R.S. Method for extraction of IHSS soil fulvic and humic acids. In. SPARKS, D.L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAI, M.A.; JOHNSTON, C.T. & SUMMER, M.E., eds. *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. Soil Sci. Soc. Am. Books. p.1018-1020, 1996.
- TEDESCO, H.J., VOLKWEISS, S.J. & BOHNEN, H. *Análises de solo, plantas e outros materiais*. Porto Alegre, UFRGS, 50p. 1985. (Boletim Técnico, 5)

- USSIRI, D.A.N. & JOHNSON, C.E. Characterization of organic matter in a Northern hardwood forest soil by ^{13}C NMR spectroscopy and chemical methods. *Geoderma*, 111:123-149, 2003.
- VIEIRA, S.A. Efeito das plantações florestais (*Eucalyptus* sp.) sobre a dinâmica de nutrientes em região de Cerrado do Estado de São Paulo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo. 1998. 73p. (Dissertação de Mestrado)
- VITORELLO, V.A.; CERRI, C.C.; ANDREAUX, F.; FELLER, C. & VICTORIA, R.L. Organic matter and natural carbon-13 distribution in forested and cultivated Oxisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53:773-778, 1989.
- VOLKOFF, B. & CERRI, C.C. L'humus des sols du Brésil: nature et relation avec l'environnement. *Cah. ORSTOM, Ser. Ped.* 24: 83-95, 1988
- WHIETHÖLTER, S. Nitrogênio no solo sob plantio direto. *Rev. Plantio Direto, Passo Fundo*, 58: 38-42, 2000.
- WILCKE, W. & LILIENFEIN, J. Soil carbon-13 natural abundance under native and managed vegetation in Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68:827-832, 2004.
- ZINN, Y. L.; LAL, R. & RESCK, D.V.S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. *Soil Tillage Res.*, 84: 28-40, 2005.
- YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil: *Commun. Soil Sci. Plant Analysis*, 19: 1467-1476, 1988.

CAPÍTULO 2

Alterações na Qualidade da Matéria Orgânica pelo Cultivo do Eucalipto em Região de Cerrado avaliadas por Espectroscopia no Infravermelho e Termogravimetria

RESUMO

A composição, natureza e estrutura da matéria orgânica do solo (MOS) e de suas frações são fundamentais para se entender as funções que a mesma exerce. Neste trabalho, procedeu-se a caracterização físico-química das substâncias húmicas (SH) extraídas de solos, matéria orgânica leve (MOL) e componentes de serapilheira de Cerrado, pastagem e eucalipto no Vale do Jequitinhonha, MG. Por meio da análise elementar, espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR) e termogravimetria, caracterizaram-se grupos funcionais e as mudanças na estrutura e composição dos ácidos húmicos e ácidos fúlvicos (AH e AF). A relação C:N indicou que a humificação do AF do Cerrado apresentasse em estado mais avançado que o do eucalipto e da pastagem. O AH da pastagem apresentou maior quantidade de C alifáticos, enquanto o AF do Cerrado apresentou a maior banda de C alifático e também a maior banda de C=O de aldeídos em comparação com a pastagem e o eucalipto. Os espectros de FT-IR dos AH e AF apresentaram agrupamentos funcionais similares aos encontrados nas folhas, galhos e raízes da serapilheira e casca do tronco de eucalipto.

1. INTRODUÇÃO

A MO do solo é dividida em três compartimentos: a) Ativo: constituído pela biomassa microbiana do solo e seus produtos, que apresentam fácil decomposição e apresenta curto tempo de reciclagem, dependendo do ambiente e teor de argila; b) Lento: derivado de material vegetal mais recalcitrante (lignina) e da MO química e fisicamente protegida, com tempo de reciclagem intermediário (20 a 40 anos) e; c) Passivo: material muito resistente à decomposição, sendo quimicamente recalcitrante e protegido fisicamente, com longo tempo de reciclagem (200 a 500 anos) (Leite & Mendonça, 2003). As substâncias húmicas (SH) desempenham importante função no solo, influenciando sua estrutura, formação de quelatos com metais, a absorção de nutrientes pelas plantas e facilitando a adsorção de pesticidas e outros contaminantes (Stevenson, 1994; Canellas &

Rumjanek, 2005). Acredita-se que a funcionalidade das SH é devida a sua composição estrutural (Hayes, 1989). A composição química dos ácidos húmicos extraídos do solo pelos procedimentos clássicos depende das características de solubilidade de vários polímeros no solo. A maior parte dos componentes das plantas e microrganismos são solúveis em solventes alcalinos e, desta forma, constituem no ácido fúlvico (AF) (principalmente polissacarídeos) e no ácido húmico (AH) (polissacarídeos, peptídeos e lignina) (Ertel & Hedges, 1985).

A síntese das SH envolve a degradação parcial de compostos recalcitrantes como ligninas, suberinas, cutinas, entre outros, bem como de produtos microbianos. Dependendo da suscetibilidade à hidrólise de cada tipo de lignina, diferentes “esqueletos” húmicos podem ser formados (Saliba et al., 2001). Até meados da década de 90, acreditava-se que as SH eram constituídas essencialmente de centros aromáticos policondensados com alto grau de substituição. Contudo, graças principalmente aos dados obtidos por espectroscopia de ressonância magnética nuclear de carbono-13 (^{13}C -RMN), verificou-se que o grau de aromaticidade é muito menor do que o esperado. Piccolo (2001), por meio de experimentos de cromatografia de exclusão por tamanho e utilizando ácido acético, cujas propriedades anfífilas tornam-no apto a interagir com as partes hidrofílicas e hidrofóbicas das SH, concluiu que as SH seriam formadas por moléculas relativamente pequenas ligadas por ligações de H e forças de Van der Waals, ou seja, as SH teriam estrutura denominada supramolecular. De acordo com esse modelo, os ácidos fúlvicos seriam formados por pequenas partículas coloidais estáveis que permaneceriam dispersas pela repulsão das cargas negativas originadas da dissociação da grande quantidade de grupos ácidos na sua estrutura. As partículas coloidais de ácidos húmicos, por outro lado, por apresentarem menor quantidade de grupos funcionais ácidos, poderiam aproximar-se o suficiente para formar agregados de elevada massa molecular (Hayes & Clapp, 2001).

Simpson et al. (2007), estudando os componentes da humina do solo por ^{13}C -RMN constataram que as amostras de humina estudadas apresentavam contribuições de cinco categorias de estruturas como: peptídeos, espécies alifáticas, carboidratos, peptidoglicano e lignina, sendo que a lignina era claramente identificável como um aporte de plantas, enquanto o peptidoglicano (principal componente estrutural da parede celular de bactérias) era indicativo de aportes microbianos.

As teorias apresentadas sobre as SH ainda provocam grande discussão entre pesquisadores de ciência do solo. Segundo Burdon (2001), as SH são misturas de carboidratos de plantas e de microrganismos, proteínas de plantas e microrganismos, lipídeos de plantas e de microrganismos, etc., juntamente com ligninas e taninos parcialmente decompostos e seus produtos de decomposição microbiana. Kelleher & Simpson (2006), com uso de técnicas de ressonância nuclear magnética em 2D (RMN- 2D) demonstraram que as SH são constituídas predominantemente de componentes derivados de plantas, e essa informação pode ser utilizada para prever, de modo mais acurado, suas transformações químicas e também determinar mecanismos pelos quais essas frações aumentam a recalcitrância no ambiente.

Assim, conhecer a composição, natureza e estrutura da MOS e de suas frações é fundamental para se entender as funções que a mesma exerce. A espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR) permite analisar a natureza química, reatividade e arranjo estrutural de grupos funcionais contendo O, e a presença de proteínas e carboidratos (Stevenson, 1994). Essa técnica baseia-se no fato de que os diversos tipos de ligações químicas e de estruturas moleculares em uma molécula absorvem radiação eletromagnética na região do infravermelho, em comprimento de onda característico, e isso leva à vibração cada ligação química em uma faixa espectral específica, a qual reflete o ambiente químico. Embora o espectro de infravermelho seja característico da molécula como um todo, certos grupos de átomos dão origem a bandas que ocorrem mais ou menos na mesma frequência, independentemente da estrutura da molécula. A presença destas bandas características de grupos permite a obtenção, por meio do exame do espectro e consulta a tabelas com informações estruturais úteis (Silverstein & Webster, 2000). Diferentemente das poucas bandas de absorção observadas na região do ultravioleta e do visível para SH, o espectro de infravermelho fornece maior quantidade de bandas de absorção mais bem definidas. Algumas dessas bandas são de difícil atribuição, ou seja, o reconhecimento da função química responsável pela absorção é difícil, dada à complexidade intrínseca do material húmico e das numerosas sobreposições de espectros que podem ocorrer. Contudo, as bandas que podem ser assinaladas fornecem um conjunto de informações estruturais relevantes sobre as SH e sua reatividade (Canellas & Rumjanek, 2005).

Este trabalho teve por objetivo caracterizar alterações dos grupos funcionais e da estrutura e composição dos AH e AF dos solos, e componentes da serapilheira decorrentes da substituição do Cerrado por plantações de eucalipto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local de estudo e tratamentos

O estudo foi desenvolvido com materiais provenientes de povoamentos de *Eucalyptus urophylla*, com 20 anos de idade, implantados após derrubada do Cerrado nativo, plantados a partir de mudas de semente com espaçamento 3x2 m e, de áreas de Cerrado e pastagem adjacentes, no município de Itamarandiba, no Vale do Jequitinhonha, MG. O solo é um Latossolo Vermelho-Amarelo, muito argiloso (Quadro 1) e o clima da região é do tipo Cwa, de acordo com a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 20° C, temperatura média máxima anual de 26° C e temperatura mínima anual de 15° C. A precipitação média anual é de 1.160 mm (Figura 1). A altitude é de 1.100 m. O sítio tem como coordenadas UTM 722124 a 741120.

Quadro 1. Características químicas e físicas de amostras de um Latossolo Amarelo sob Cerrado, pastagem, *Eucalyptus urophylla*, coletadas à profundidade de 0-20 cm

Cobertura vegetal	pH H ₂ O	CO	N	P	K	Ca	Mg	Al ⁺³	H+Al	SB	CTC Efetiva	m
		---g kg ⁻¹ ---		mg dm ⁻³				-----cmol _c dm ⁻³ -----				%
Cerrado	4,8	24,8	1,42	0,5	24	0,04	0,17	0,39	8,9	0,27	0,66	59,1
Pastagem	5,0	27,1	1,56	1,7	21	1,18	0,14	0,29	9,4	1,37	1,66	17,5
Eucalipto	5,6	25,5	1,23	0,8	14	0,00	0,09	0,64	10,5	0,13	0,77	83,1
		Areia Grossa		Areia Fina		Silte		Argila		Densidade do solo		
		-----g kg ⁻¹ -----								g cm ⁻³		
Cerrado		50		50		90		810		0,88		
Pastagem		60		60		120		760		0,91		
Eucalipto		40		60		80		820		0,82		

2.2. Coleta de amostras de solo e de serapilheira

As amostras foram coletadas em quatro parcelas de 600 m², alocadas em áreas de 30-40 ha atualmente utilizadas com eucalipto, pastagem e Cerrado, originalmente cobertas

com vegetação de Cerrado, da tipologia Cerrado (Goodland & Ferri, 1979). Coletaram-se amostras compostas de solos, formadas por quatro amostras simples cada uma, na profundidade de 0-10 cm e amostras de serapilheira.

A amostragem da serapilheira foi efetuada utilizando um quadrado de 0,25 m², em quatro repetições. Da serapilheira coletada foram separadas: raízes, folhas e galhos. As amostras foram postas para secar em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 70 ± 2 °C, até peso constante e, posteriormente, trituradas em moinho tipo Wiley e em moinho de bola, e passadas em peneira de 100 mesh. Essas amostras foram usadas para a caracterização química e espectroscópica. Os teores de C dos componentes da serapilheira foram determinados por combustão seca em analisador elementar Perkin Elmer CHNS. Determinou-se o índice de hidrofobicidade (IH) que é a relação entre a absorbância na região da banda de absorção no comprimento de onda 2929 cm⁻¹, e a absorbância da banda em 1050 cm⁻¹, que corresponde ao estiramento C-O de grupamentos hidrofílicos de polissacarídeos (Freixo, 2000).

$$IH = \frac{\text{Abs } 2929 \text{ cm}^{-1}}{\text{Abs } 1050 \text{ cm}^{-1}}$$

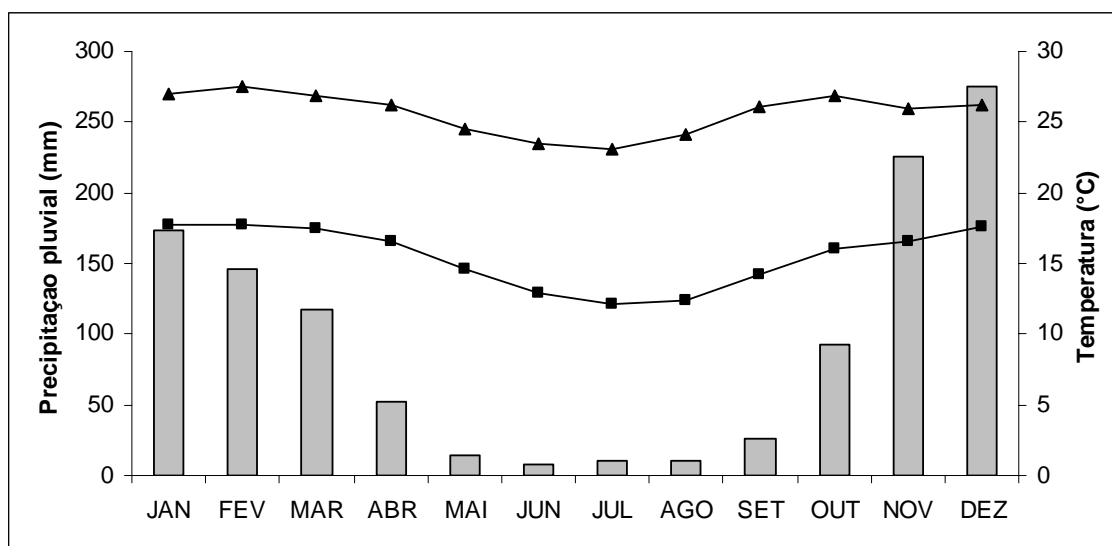


Figura 1 - Variação da média mensal de precipitação pluvial e temperatura em Itamarandiba – MG, durante o período de 1988 a 2004. Fonte: ACESITA Energética (2004).

2.3. Extração e caracterização das substâncias húmicas e matéria orgânica leve

As frações de ácidos húmicos foram isoladas de acordo com a técnica de extração, fracionamento e purificação sugerida pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS) (Swift, 1996). A extração foi realizada agitando-se 4 g de solo e 40 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹, na proporção de 1:10, sob atm de N₂, por 12 h, em agitador horizontal a 160 pulsos min⁻¹, seguida de centrifugação a 7.500 rpm por 15 min. O sobrenadante (fração ácido fúlvico (FAF) + fração ácido húmico (FAH)) foi recolhido e o pH ajustado a 2,0 com solução de HCl 20 % (v/v). A solução, contendo as FAF e FAH, após aferido o pH, ficou em repouso por 18 h, para total precipitação da FAH. Em seguida, após a centrifugação a 5.000 rpm por 15 min., o sobrenadante (FAF) foi filtrado, em filtro lento, e armazenado em refrigerador para posterior tratamento. Ao precipitado (FAH) foram adicionados 40 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹, sob atm de N₂. Esta mistura foi agitada por 1 h a 160 pulsos min⁻¹, sob temperatura ambiente e, em seguida, foi centrifugada a 3.000 rpm por 10 min, com o intuito de eliminar a fração húmica (FH) co-precipitada. Em seguida, o sobrenadante foi recolhido e seu pH ajustado a 2,0 com solução de HCl 20 % (v/v), deixado em repouso por 1 h. O material remanescente foi centrifugado novamente a 3.000 rpm por 10 min. O sobrenadante foi descartado, e repetiu-se todo o processo por três vezes.

Para a purificação da FAF, seguiu-se o processo descrito por Aiken (1985) citado por Benites (2001), onde a solução contendo a FAF filtrada foi percolada à taxa de 10 mL min⁻¹ através de coluna cromatográfica (20 x 2 cm Ø) preparada com 50 mL de resina Amberlite XAD-8, pré-condicionada. O percolado foi descartado e a coluna foi lavada com 200 mL de HCl (pH= 2), seguidos de 100 mL de H₂O ultrapura. O material adsorvido na resina foi recolhido, eluindo-o com NaOH 0,1 mol L⁻¹ a uma taxa de 4 mL min⁻¹. O eluído foi recuperado quando apresentava coloração bastante escura. O pH do material foi ajustado a 2 com HCl 20 % (v/v), e percolado a um fluxo de 2,5 mL min⁻¹ em coluna cromatográfica (30 cm x 1 cm Ø) preenchida com resina de troca catiônica Amberlite IR 120⁺, pré-condicionada, para a eliminação de sais (Na⁺). A solução percolada foi congelada e liofilizada. Após a liofilização, o AF foi recolhido e conservado em dessecador para análises posteriores.

Para a purificação da FAH foram adicionados 40 mL de solução de ácido fluorídrico 10 % (v/v) e ácido clorídrico 0,5 % (v/v) na FAH. Agitou-se por 2 h, em agitador horizontal a 160 pulsos min^{-1} e centrifugou-se a 3.000 rpm, por 10 min. O sobrenadante foi descartado e repetiu-se o processo por 16 vezes, para a eliminação de argila agregada à FAH. A estas amostras foram adicionados 40 mL de HCl 0,01 mol L^{-1} para o processo de lavagem. Agitou-se por 2 h em agitador horizontal a 160 pulsos min^{-1} , centrifugou-se por 10 min a 3.000 rpm. O sobrenadante foi descartado e repetiu-se o processo com H_2O ultra pura. Após a lavagem, diluiu-se a FAH em NaOH 0,1 mol L^{-1} até obtenção de coloração clara, semelhante àquela da FAF extraída. O pH foi ajustado a 4, com solução de HCl 20 % (v/v). O eluído foi transferido para tubo de diálise (10000 D) sendo o foram dialisados individualmente em recipientes de 1 L. A água foi trocada por fluxo contínuo, até que não houvesse aumento maior que $1\mu\text{S}$ na água de diálise uma hora após a troca desta (Benites, 2001). O extrato foi recolhido, congelado e liofilizado. Após a liofilização, o AH foi recolhido e conservada em dessecador para análises posteriores (Benites, 2001).

A matéria orgânica leve (MOL), fracionada fisicamente, foi separada conforme método proposto por Sohi et al. (2001), a partir de sub-amostras de TFSA coletadas na profundidade de 0 - 10 cm. O método consistiu em agitar 15 g de amostra de solo seco e peneirado (2 mm) com 30 mL de iodeto de sódio (NaI, $d= 1,8 \text{ g mL}^{-1}$) em tubo de centrífuga de 50 mL por 30 min. em agitador horizontal. Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 2800 rpm, por 15 min., em temperatura de 5°C , a fim de promover a sedimentação das partículas minerais do solo. A fração orgânica sobrenadante na solução (fração leve livre) foi lavada com água destilada, visando eliminar o excesso de NaI na fração. A fração orgânica foi seca a 65°C , pesada e macerada em almofariz. Os teores de CO da matéria orgânica leve (MOL) foram determinados por combustão via seca em analisador elementar Perkin Elmer CHNS.

2.4. Caracterização físico-químicas das substâncias húmicas

As amostras das frações de ácido húmico (FAH) e ácido fúlvico (FAF) dos solos de Cerrado, pastagem e eucalipto e amostras finamente moídas de matéria orgânica leve (MOL) dos solos de eucalipto e Cerrado, componentes da serapilheira de eucalipto (folhas,

galhos, raízes) casca do tronco do eucalipto e componentes da serapilheira de Cerrado (folhas, galhos) foram preparadas utilizando pastilhas de KBr. Foram pesados 2 mg de amostra previamente macerada em gral de ágata e misturados com 200 mg de KBr. A mistura foi transferida para prensa hidráulica, obtendo-se uma pastilha transparente, que foi analisada em espectrofotômetro de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR). Essas operações foram realizadas em curto espaço de tempo, de forma a evitar a absorção de umidade do ambiente pela pastilha, em virtude da alta higroscopicidade do KBr. Os espectros de absorbância foram obtidos em espectrômetro (Perkin-Elmer, FTIR Spectrum 1000) no alcance entre 4000 e 400 cm^{-1} . A identificação das bandas de absorção foi realizada com base nos dados publicados por Stevenson (1994), Silverstein & Webster (2000), Canellas & Rumjanek (2005). Calculou-se o índice de hidrofobicidade (IH) dos diferentes componentes estudados.

Análise termogravimétrica do AH e AF foi realizada em analisador termogravimétrico TGA-50 SHIMADZU, usando amostras de $3,300 \pm 0,100$ mg, conforme método padronizado por Benites (2001). Calculou-se o índice termogravimétrico (ITG), que é o quociente entre a perda de massa na faixa de 350 a 650 °C e entre 105 a 350 °C. As curvas de termodecomposição foram adquiridas por microcomputador acoplado ao aparelho, utilizando o programa TA-50 WSI (Shimadzu, 1989), à razão de um ponto a cada 10 s, num total de 800 pontos por curva. A perda de peso até 105 °C, incluído o tempo de espera, foi considerada como umidade da amostra. O resíduo, ao final da queima, após 3 h sob a temperatura de 650 °C foi utilizado para estimar o teor de cinzas.

A composição de C,H,N dos AH e AF foi determinada por combustão seca em analisador elementar (Perkin Elmer PE-2400 CHNS). As análises foram feitas em duplicatas, utilizando-se amostras de $1,1000 \pm 0,1000$ mg pesadas em microbalança acoplada ao aparelho. Os teores de C, H e N foram corrigidos para base seca e sem cinzas, utilizando dados da análise termogravimétrica, de acordo com a equação:

$$\% \text{ corrigido} = \% \text{ original} \times 100 / [100 - (\% \text{ umidade} - \% \text{ cinzas})].$$

Do teor de H determinado pelo aparelho foi subtraído o H da água, determinada pela termogravimetria, previamente à correção para base seca e sem cinza. O teor de oxigênio foi determinado por subtração a partir dos dados corrigidos (Benites, 2001). Calcularam-se as razões molares atômicas:

$$C:H = ((\% C / 12) / (\% H / 1)) ,$$

$$C:N = ((\% C / 12) / (\% N / 14)) , e$$

$$O:C = ((\% O / 16) / (\% C / 12)) .$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Características da Serapilheira, Matéria Orgânica Leve (MOL) e Substâncias Húmicas (SH) por FT-IR

Os espectros no infravermelho obtidos dos AH e AF demonstraram feições semelhantes nos vários materiais analisados para o Cerrado, pastagem e eucalipto, com picos característicos em determinadas regiões, variando em intensidade, mas com poucas variações nas frequências de absorvância (Figuras 2 e 3). Em geral, os espectros da MOS apresentam bandas largas, possivelmente pelo alto teor de argila do Latossolo Vermelho-Amarelo em estudo (800 g kg^{-1}), que pode oferecer maior proteção à MO intra-agregado, fazendo com que o sinal de absorção da argila se misture com o da MOS. Nos espectros de AF e AH observou-se a banda específica de Si-O (1041 cm^{-1}), indicando a presença de argilosilicatados que permaneceram após a purificação da amostra, devido, principalmente, ao alto teor de argila do solo estudado.

A principal diferença entre os espectros de AH e AF foi encontrada na intensidade de banda de 1720 cm^{-1} que é mais forte no AF em razão da maior ocorrência do grupo COOH e, também, pela banda mais larga na região de 1280 a 1200 cm^{-1} . Esses resultados indicam que o AF, além de estruturas alifáticas e aromáticas, apresenta, proporcionalmente, maior quantidade de grupos carboxílicos e C-O do que o AH.

As bandas a cerca de 2918 e 2849 , 1632 e 1241 cm^{-1} (Figuras 2 e 3) foram mais intensas para a pastagem e o eucalipto em comparação com o Cerrado, ou seja, ocorreu aumento dos grupos alifáticos em relação aos aromáticos, provavelmente devido ao maior aporte de resíduos e qualidade destes resíduos nos solos sob pastagem e eucalipto em comparação ao solo de Cerrado, aumentando os compostos orgânicos menos transformados, os quais estão ligados a moléculas de AH.

O espectro do AH para as três coberturas vegetais foi classificado, conforme Stevenson (1994), do Tipo III, ou seja, apresentou fortes bandas próximas a 1540 cm^{-1} .

Assim, comparando-se os espectros dos ácidos húmicos e fúlvicos extraídos das amostras de solos sob diferentes coberturas vegetais (Figuras 2 e 3), foram observadas alterações quanto à natureza dos grupamentos na estrutura das macromoléculas húmicas. Ding et al. (2002), estudando as características da matéria orgânica afetadas pelo cultivo convencional e pelo cultivo conservacionista, concluíram pelas análises de DRIFT que os espectros de AH estudados também tiveram picos similares entre os diferentes tipos de manejo. Estudos utilizando CPMAS ^{13}C RMN têm mostrado que a estrutura química da MOS tem pouca mudança com o cultivo (Skjemstad & Dalal, 1987; Oades et al., 1988).

A relação entre as bandas de absorção de 2929 cm^{-1} , correspondente ao estiramento C-H do grupamento hidrofóbico $-\text{CH}_3$ alifático, e a absorbância da banda entre 1050 cm^{-1} , que corresponde ao estiramento C-O de grupamentos hidrofílicos de polissacarídeos, fornece a medida da hidrofobicidade do material, sendo esta denominada como índice de hidrofobicidade (IH) (Freixo, 2000). Assim, quanto maior o IH de uma molécula orgânica, maior será sua recalcitrância, ou seja, sua resistência à degradação (Freixo, 2000).

O IH do AH da pastagem foi maior (0,83) em comparação com o AH do Cerrado (0,38) e do eucalipto (0,29), indicando maior recalcitrância do AH do solo sob pastagem, ou seja, maior resistência à degradação. O AF da pastagem também apresentou o maior IH (1,43) seguido do Cerrado (0,92) e do eucalipto (0,50) (Quadro 2). Esse maior valor de IH nos AH e AF do solo sob pastagem pode estar relacionado também com o maior aporte ao solo de materiais orgânicos menos recalcitrantes advindos da pastagem, favorecendo o aumento da atividade microbiana, resultando numa degradação mais rápida, o que aumenta a presença no solo de materiais mais recalcitrantes. A quantidade de unidades C-H alifáticos controla a afinidade por água, a qual influencia as propriedades da MOS como a resistência à degradação microbiana, umidade e processos de adsorção (Capriel, 1997). Capriel et al. (1995), caracterizando o índice de hidrofobicidade (IH) da MOS, encontraram relação entre a hidrofobicidade da MOS e a textura do solo, em que os solos mais arenosos contêm menos unidades de C-H alifáticos do que os solos argilosos, ou seja, os solos arenosos são mais hidrofóbicos.

Kelleher & Simpson (2006), com uso de técnicas de ressonância nuclear magnética em 2D (RMN 2D), constataram que as SH são predominantemente misturas de

componentes derivados de plantas e microrganismos. E que sua resistência à biodegradação pode ser parcialmente explicada por propriedades particulares dos componentes do COS.

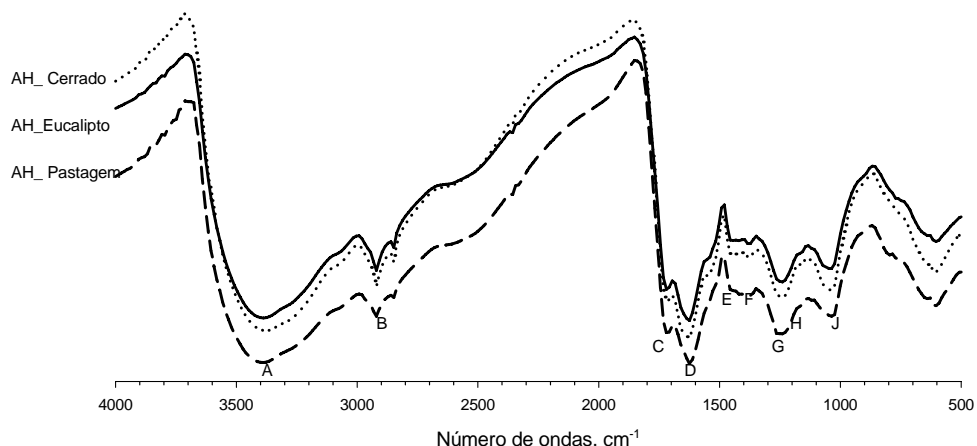


Figura 2 - Espectro de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) de ácido húmico de solos sob vegetação de cerrado e eucalipto. A: 3386 cm^{-1} (ν O-H), B: 2918 cm^{-1} (ν C-H alifático), C: 1714 cm^{-1} (C=O de cetonas), D: 1632 cm^{-1} (ν C=O de amida, C=O de quinona e/ou C=O ligados) E: 1454 cm^{-1} (δ C-H alifático e de grupos metila), F: 1417 cm^{-1} (δ O-H e ν C-O de OH fenólico, δ C-H de CH_2 e CH_3 , ν COO assimétrico), G: 1241 cm^{-1} (ν C-O de ácidos carboxílicos e δ OH de COOH, ν C-O (aril- éteres, ésteres, aromático, fenólico), H: 1160 cm^{-1} (ν C-O de estruturas tipo polissacarídeos), J: 1041 cm^{-1} (Si-O).

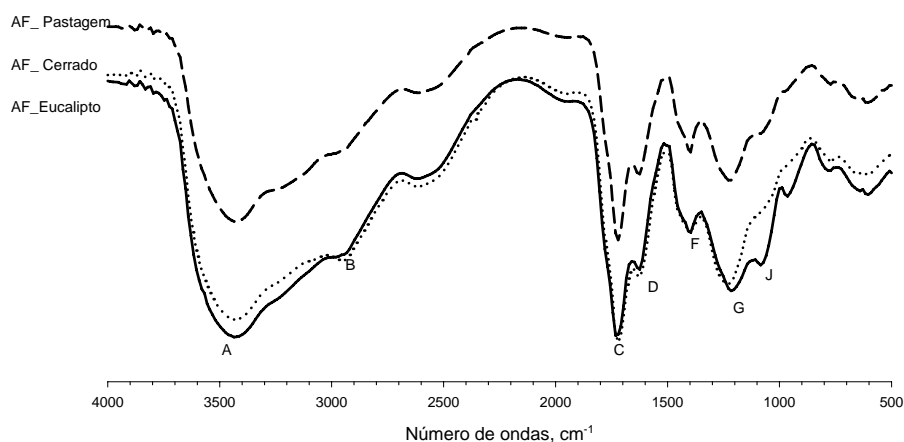


Figura 3 - Espectro de FTIR de ácido fúlvico de solos sob vegetação de cerrado e eucalipto. A: 3435, 3429 cm^{-1} (ν O-H), B: 2948 cm^{-1} (ν C-H alifático), C: 1720 cm^{-1} (ν C=O de C=O de COOH e cetonas) D: 1632 cm^{-1} (ν C=O de amida, C=O de quinona e/ou C=O ligados); F: 1402 cm^{-1} (δ (deformação) C-H alifático e de grupos metila), G: 1231 cm^{-1} (ν C-O de ácidos carboxílicos e δ OH de COOH, ν C-O (aril- éteres, ésteres, aromático, fenólico), J: 1041 cm^{-1} (Si-O).

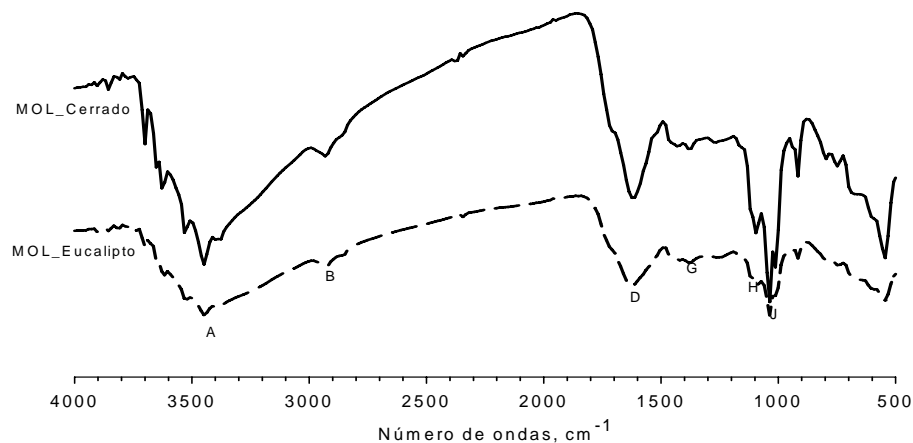


Figura 4 - Espectro de FTIR da matéria orgânica leve (MOL): A: 3446, 3378 cm^{-1} (ν O-H), B: 2928, 2856 cm^{-1} (ν C-H alifático), D: 1618 cm^{-1} (C=C aromático), G: 1376, 1380 cm^{-1} (CH_3), H: 1262 cm^{-1} (ν C-O de ácidos carboxílicos), H: 1118 cm^{-1} (C-O de álcoois e fenóis), J: 1036 cm^{-1} (Si-O).

Os espectros de FT-IR da folha e galho da serapilheira de Cerrado e folha, galho, casca e raízes de eucalipto apresentaram feições semelhantes, diferenciando-se somente na intensidade dos picos, essas bandas se localizaram entre: A: 3600-3200 cm^{-1} (estiramento (ν) O-H); B: 2960-2850 cm^{-1} (ν C-H alifático); C: 1740-1720 cm^{-1} (C=O de aldeídos); D: 1620-1420 cm^{-1} (C aromático); E: 1580-1495 cm^{-1} (NH), F: 1470-1430 cm^{-1} (CH_2), G: 1390-1370 cm^{-1} (CH_3), H: 1300-1200 cm^{-1} (ν C-O de ácidos carboxílicos); I: 1200-1050 cm^{-1} (C-O de álcoois e fenóis); J: 1170-950 cm^{-1} (Si-O); (Figuras 5 a 8).

A folha do Cerrado apresentou menor intensidade do pico da banda característica de C=O aldeídos quando comparado com a folha do eucalipto e o galho do eucalipto apresentou maior pico da banda B em comparação com o Cerrado (Figura 5).

O material vegetal proveniente do eucalipto apresentou maiores valores de IH (Quadro 2), indicando menor quantidade de C alifáticos no eucalipto em comparação com o Cerrado, ou seja, o material vegetal do eucalipto apresentou maior recalcitrância. A MOL do solo sob eucalipto e Cerrado não apresentaram as bandas C, E e F, desta forma, apresentando menor quantidade de grupos carboxílicos e C-O.

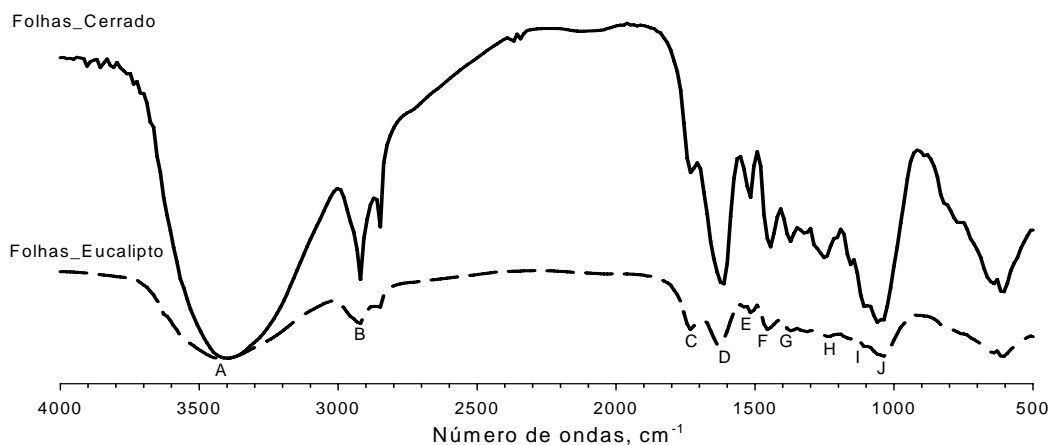


Figura 5 - Espectro de FTIR de folhas de serapilheira de vegetação de cerrado e eucalipto. A: 3420 cm^{-1} (ν O-H), B: 2919, 2850; cm^{-1} (ν C-H alifático), C: 1732 cm^{-1} (C=O de aldeídos), D: 1633 cm^{-1} (C=O de amidas) E: 1557 cm^{-1} (N-H), F: 1455 cm^{-1} (CH_2), G: 1371 cm^{-1} (CH_3), H: 1237, 1176, cm^{-1} (ν C-O de ácidos carboxílicos), I: 1106 cm^{-1} (C-O de álcoois e fenóis); J: 1035 cm^{-1} (Si-O).

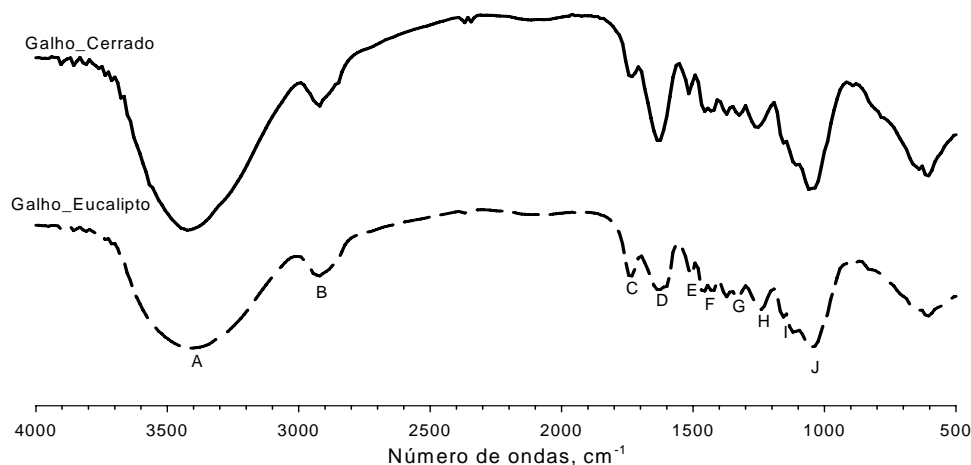


Figura 6 - Espectro de FTIR de galhos de serapilheira de vegetação de cerrado e eucalipto. A: 3406 cm^{-1} (ν O-H), B: 2936, 2918; cm^{-1} (ν C-H alifático), C: 1735 cm^{-1} (C=O de aldeídos), D: 1624 cm^{-1} (C=O de amidas) E: 1507 cm^{-1} (N-H), F: 1459 cm^{-1} (CH_2), G: 1366 cm^{-1} (CH_3), H: 1242, 1160, cm^{-1} (ν C-O de ácidos carboxílicos), I: 1110 cm^{-1} (C-O de álcoois e fenóis); J: 1051 cm^{-1} (Si-O).

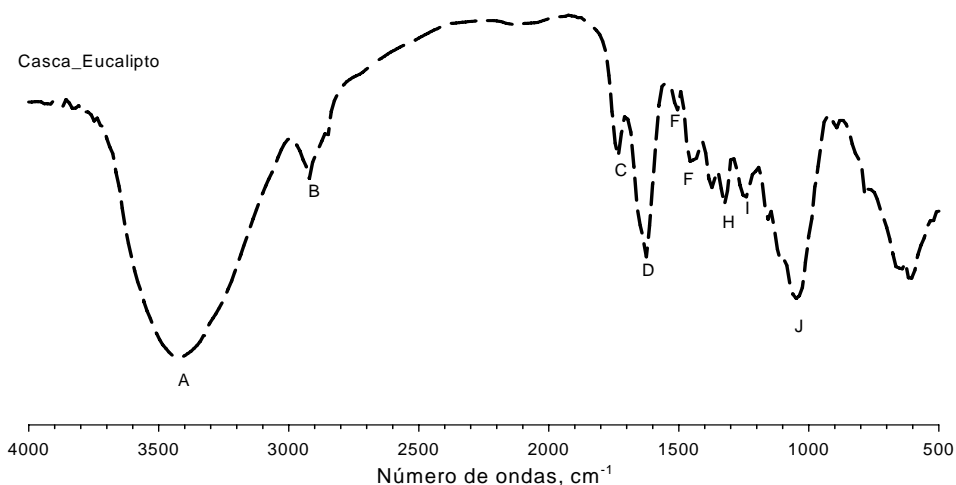


Figura 7 - Espectro de FTIR da casca do terço médio do caule de eucalipto. A: 3424 cm^{-1} (ν O-H), B: 2918,2850; cm^{-1} (ν C-H alifático), C: 1731 cm^{-1} (C=O de aldeídos), D: 1623 cm^{-1} (C=O de amidas) E: 1504 cm^{-1} (NH), F: 1462 cm^{-1} (CH_2), G: 1372 cm^{-1} (CH_3), H: 1245, 1158 cm^{-1} (ν C-O de ácidos carboxílicos), I: 1106, 1148 cm^{-1} (C-O de álcoois e fenóis), J: 1035 cm^{-1} (Si-O).

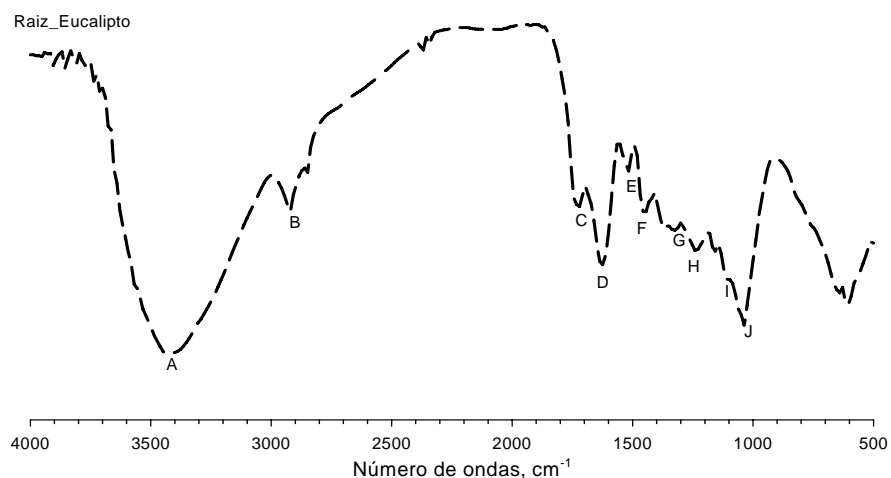


Figura 8 - Espectro de FTIR da raiz proveniente da serapilheira do eucalipto. A: 3422 cm^{-1} (ν O-H), B: 2919, 2852 cm^{-1} (ν C-H alifático), C: 1736 cm^{-1} (C=O de aldeídos), D: 1622 cm^{-1} (C=O de amidas) E: 1508 cm^{-1} (N-H), F: 1450 cm^{-1} (CH_2), G: 1366 cm^{-1} (CH_3), H: 1237, 1160 cm^{-1} (ν C-O de ácidos carboxílicos), I: 1118 cm^{-1} (C-O de álcoois e fenóis); J: 1035 cm^{-1} (Si-O).

Quadro 2 - Índice de hidrofobicidade de substâncias húmicas e material vegetal de áreas sob Cerrado, pastagem e eucalipto

Amostra	IH
AH Cerrado	0,38
AH pastagem	0,82
AH eucalipto	0,29
AF Cerrado	0,80
AF pastagem	0,36
AF eucalipto	0,55
MOL Cerrado	0,80
MOL eucalipto	0,73
Folha Cerrado	0,70
Folha eucalipto	0,19
Galho Cerrado	0,27
Galho eucalipto	3,30
Casca eucalipto	4,20
Raízes eucalipto	1,55

3.2. Características termogravimétricas das substâncias húmicas

A perda de peso foi mais expressiva nas temperaturas acima de 350° C, ou seja, atribuída à degradação térmica de compostos aromáticos. A perda de peso por ignição (PPI) no segundo evento (350-650° C) foi, em média, de 41,2 % e a PPI no primeiro evento (105-350° C) foi, em média, de 45,04 %. A perda inicial de peso é dominada pela decomposição exotérmica de grupos carboxil e alifáticos lábeis ($\approx 300^\circ \text{C}$), enquanto a perda exotérmica do C aromático mais refratário ocorre em altas temperaturas ($\approx 450^\circ \text{C}$) (Flaig et al., 1975; Benites, 2001; Czimeczik et al., 2002).

O Índice termogravimétrico (ITG) foi baixo, variou entre 0,57 e 1,61. O eucalipto apresentou os menores valores de ITG para o AF em comparação com o Cerrado e pastagem, indicando menor resistência a termodegradação (Quadro 3). Já o AH da pastagem apresentou o maior ITG indicando maior resistência a termodecomposição. Os AH apresentaram os menores teores de cinza (3,64 - 5,75 %) quando comparados com o AF (4,18- 10,22 %) (Quadro 3). As amostras de AF e AH apresentaram percentual de perda de massa variando de 30,2 a 57,4 % e de 78,8 a 95,2 %, respectivamente, no primeiro e segundo evento.

Quadro 3 - Resultados da análise termogravimétrica dos ácidos húmicos (AH) e ácidos fúlvicos (AF) extraídos de solos de diferentes vegetações

Vegetação	Fração	Umidade	Cinzas	PPI		ITG
				105-350° C	350-650° C	
		-----%-----		-----%-----		
Cerrado	AF	9,20	4,18	43,85	51,34	1,17
	AH	11,87	4,35	35,48	45,16	1,27
Pastagem	AF	9,65	7,4	46,67	44,56	0,95
	AH	11,29	5,75	30,18	48,59	1,61
Eucalipto	AF	6,28	10,22	57,44	33,06	0,57
	AH	8,78	3,64	33,42	47,55	1,41

PPI – Perda do peso por ignição. ITG – Índice termogravimétrico.

3.3. Composição Elementar

Os AF e AH dos solos sob diferentes tipos de vegetação apresentaram teores de C variando entre 38-47 e 53-56 %, respectivamente, e teor de H entre 3 e 6 % (Quadro 4). O teor de C do AF foi maior no Cerrado e menor no eucalipto. Já no AH, esse teor foi semelhante entre as coberturas vegetais, mas ainda sendo o do eucalipto o mais baixo. A mesma tendência foi observada para o teor de H no AF. O teor de H no AH foi mais baixo no solo da pastagem. Os teores de N foram menores para o AF (entre 1,24 e 1,88 %) e maiores para o AH (entre 4,23 e 3,71 %). O teor de O no AF variou entre 57-47 %. Assim, o AF apresentou teor menor de C e N e maior de O do que o AH. De acordo com Rice & MacCarthy (1991), a composição elementar é a propriedade mais estável e fundamental das SH; por meio desta podem-se discriminar os ácidos fúlvicos, húmicos e huminas, revelando a distribuição relativa dos átomos que as compõem.

A relação C:N foi menor no AF do solo sob eucalipto e pastagem em comparação ao Cerrado. Porém ao analisar o AH, esses valores foram pouco alterados. O solo sob pastagem apresentou o maior teor de C no AH (55,97 %) em relação aos outros tipos de vegetação. O maior teor de N no AH indica aumento de humificação (Canellas et al., 1999). Segundo Canellas & Rumjanek (2005), o teor médio de C no AH é de 55,1 %, o de O é de

35,6 %, o de H é de 5,0 % e o de N de 3,5 %. Uma série de trabalhos com ácidos húmicos de clima tropical (Bravard & Rhrigi, 1991; Canellas et al., 2004) tem apresentado valores de C menores do que a faixa indicada e muito próxima da faixa normalmente encontrada para o AF, que variam de 35 a 75 %, sendo que os principais elementos nas SH são o C e o O. A menor relação H:C encontrada corresponde a estruturas orgânicas mais fechadas e com maior grau de aromaticidade (Benites, 2001). O alto teor de C e alta relação H:C indicam enriquecimento de grupos alquil com alta saturação de H (Kang et al., 2003; Xing et al., 2005). Neste estudo a relação H/C foi semelhante entre as três coberturas vegetais estudada.

A relação O:C foi maior para o AF e AH de eucalipto, quando comparado ao Cerrado e pastagem, indicando maior presença de grupos funcionais contendo O, como grupos carboxil e carbonil (Kang et al., 2003).

Quadro 4 - Análise elementar e razões atômicas de ácidos húmicos (AH) e fúlvicos (AF) corrigidos, extraídos de solos sob diferentes tipos de vegetação

Vegetação	Fração	C	H	N	O	C:N	H:C	O:C
		-----% base seca sem cinza-----				-----razão atômica-----		
Cerrado	AF	47,40	4,25	1,24	47,10	38,15	0,09	0,99
	AH	55,21	5,58	4,23	34,98	13,06	0,10	0,63
Pastagem	AF	41,01	3,76	1,88	53,34	21,79	0,09	1,30
	AH	55,97	4,40	3,71	35,92	15,11	0,08	0,64
Eucalipto	AF	38,52	3,41	1,40	56,67	27,42	0,09	1,47
	AH	53,72	5,43	3,84	37,01	14,00	0,10	0,69

4. CONCLUSÕES

A MOS do Cerrado está em estado de humificação mais avançado do que a do eucalipto e pastagem. O AH da pastagem apresenta maior resistência a termogradação do que os das demais coberturas. Já no caso do AF o eucalipto apresentou maior resistência à termod decomposição.

O índice termogravimétrico (ITG) do ácido húmico (AH) foi maior que o do AF, indicando maior resistência à termodecomposição. O índice de hidrofobicidade (IH) do AH da pastagem foi maior (0,83) em comparação com o AH do Cerrado (0,38) e do eucalipto (0,29), indicando maior recalcitrância do AH do solo sob pastagem, ou seja, maior resistência à degradação. O AF da pastagem também apresentou o maior IH (1,43) seguido do Cerrado (0,92) e do eucalipto (0,50).

O material vegetal proveniente do eucalipto apresentou maiores valores de IH em comparação com o Cerrado, o material vegetal do eucalipto apresenta maior recalcitrância do que a do Cerrado.

O AH da pastagem apresentou maior quantidade de C alifáticos; no entanto, o AF do Cerrado apresentou a maior banda de C alifático e também a maior banda de C=O de aldeídos, em comparação com a pastagem e o eucalipto.

A matéria orgânica leve (MOL) e o material vegetal apresentaram bandas similares aos AH e AF.

5. LITERATURA CITADA

- BENITES, V.M. Caracterização de Solos e de Substâncias Húmicas em Áreas de Vegetação Rupestre de Altitude. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 74 p. 2001. (Tese de Doutorado)
- BRAVARD, S. & RIGHI, D. Characterization of fulvic and humic acids from an Oxisol-Spodosol toposequence of Amazonia, Brazil. *Geoderma*, 48: 151-162, 1991.
- BURDON, J. Are the traditional concepts of the structures of humic substances realistic? *Soil Sci.*, 166: 752-769, 2002.
- CANELLAS, L.P. ; SANTOS, G.A. ; GURIDI, F. ; RUMJANEK, V.; FREIRE, R.B. Compostos heterocíclicos nitrogenados em ácidos húmicos extraídos de composto de resíduo sólido urbano. *Floresta e Ambiente*, 6: 1-7, 1999.
- CANELLAS, L.P.; ESPINDOLA, J.A.; REZENDE, C.E.; CAMARGO, P.B.; ZANDONADI, J.A.A.; RUMJANEK, V.M.; GUERRA, J.G.M.; TEIXEIRA, M.G. & BRAZ-FILHO, R. Organic matter quality in a soil cultivated with perennial herbaceous legumes. *Sci. Agric.*, 61: 53-61, 2004.
- CANELLAS, L.P. & RUMJANEK, V.M. Espectroscopia na região do infravermelho, In: CANELLAS, L.P., SANTOS, G.A. ed. *Humosfera*, UENF, p.143 –159, 2005.

- CAPRIEL, P. Hydrophobicity of organic matter in arable soils: influence of management. *Eur. J. Soil Sci.*, 48: 457-462, 1997.
- CAPRIEL, P.; BECK, T.; BORCHERT, H.; GRONHOLZ, J. & ZACHMANN, G. Hydrophobicity of the organic matter in arable soils. *Soil Biol. Biochem.*, 27: 1453-1458, 1995.
- CZIMCZIK, C.I.; PRESTON, C.A.; SCHMIDT, M.W.I.; WERNER, R.A. & SCHULZE, E.D. Effects of charring on mass, organic carbon, and stable carbon isotope composition of wood. *Org. Geochem.*, 33:1207–1223, 2002.
- ERTEL, J.R. & HEDGES, J.I. Sources of sedimentary humic substances: Vascular plant debris. *Geochim. Cosm. Acta*, 49: 2097-2107, 1985.
- FLAIG, W.; BEUTELSPACHER, H. & RIETZ, E. Chemical composition and physical properties of humic substances. In J.E.Gieseking (ed.) *Soil components*. Springer Verlag, New York. p. 1–211.1975.
- FREIXO, A.A. Caracterização da matéria orgânica de latossolo sob diferentes sistemas de cultivo através de fracionamento físico e espectroscopia de infravermelho. Seropédica, RJ. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 86 p. 2000. (Dissertação de Mestrado).
- GOODLAND, R. & FERRI, M.G. *Ecologia do Cerrado*. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 193 p. 1979.
- HAYES, M.H.B. Humic Substances II. In *Search of Soil Structure*. Wiley, Chichester, UK, 764p. 1989.
- HAYES, M.H.B. & CLAPP, C.E. Humic Substances: Considerations of Compositions, Aspects of Structure, and Environmental influences. *Soil Sci.*, 166:723-737, 2001.
- KANG, S.; AMARASIRIWARDENA, D.; VENEMAN, P.L. & XING, B. Characterization of ten sequentially extracted humic acids and a humin from a soil in western Massachusetts. *Soil Sci.*, 168: 880–887, 2003.
- KELLEHER, B.P. & SIMPSON, A.J. Humic Substances in Soils: are they really chemically distinct? *Environ. Sci. Technol.*, 40: 4605-4611, 2006.
- LEITE, L.F.C. & MENDONÇA, E.S. Modelo century de dinâmica da matéria orgânica do solo: Equações e pressupostos Century model of soil organic matter dynamics: equations and assumption. *Cienc. Rural*, 33: 679-686, 2003.

- OADES, J.M.; WATERS, A.G.; VASSALLO, A.M.; WILSON, M.A. & JONES, G.P. Influence of management on the composition of organic matter in a red-brown earth as shown by ^{13}C nuclear magnetic resonance. *Aust. J. Soil Res.*, 26: 289–299, 1988.
- PICCOLO, A. The supramolecular structures of humic substances. *Soil Sci.*, 166: 810-832, 2001.
- RICE, J.A. & MACCARTHY, P. Statistical evaluation of the elemental composition of humic substances. *Org. Geochem.*, 17: 635-648, 1991.
- SALIBA, S.O.E.; RODRIGUES, M.N.; MORAIS, L.A.S. & PILO-VELOSO, D. Ligninas-métodos de obtenção e caracterização química. *Ciência Rural*, 13: 917-928, 2001.
- SHIMADZU, Thermogravimetric analyser software T50WA: User guide, p.155, 1989.
- SILVERSTEIN, R.M. & WEBSTER, F.X. Identificação espectrométrica de compostos orgânicos. 6.ed. New York: John Wiley, 460p. 2000.
- SIMPSON, A.J.; SONG, G.; SMITH, E.; LAM, B.; NOVOTNY, E.H. & HAYES, M.H.B. Unraveling the Structural Components of Soil Humin by Use of Solution-State Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy. *Environ. Sci. Technol.*, 41: 876 -883, 2007.
- SKJEMSTAD, J.O. & DALAL, R.C. Spectroscopic and chemical differences in organic matter of two Vertisols subjected to long periods of cultivation. *Aust. J. Soil Res.*, 25: 323-335, 1987.
- SOHI, S.P.; MAHIEU, N.; ARAH, J.R.M.; POWLSON, D.S.; MADARI, B. & GAUNT, J.L. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65:1121-1128, 2001.
- STEVENSON, F.J. *Humus Chemistry: Genesis, composition and reactions*. 2.ed. New York, Willey & Sons Inc., 496 p. 1994.
- SWIFT, R.S. Method for extraction of IHSS soil fulvic and humic acids. In. SPARKS, D.L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAI, M.A.; JOHNSTON, C.T. & SUMMER, M.E., ed. *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. Soil Sci. Soc. Am. Books, p.1018-1020, 1996.
- XING, B.; LIU, J.D.; LIU, X.B. & HAN, X.Z. Extraction and characterization of humic acids and humins from a black soil of China. *Pedosphere*, 15: 1-8, 2005.

CAPÍTULO 3

Estoques de Carbono e de Nitrogênio em Frações Lábeis e mais Estáveis da Matéria Orgânica em Solos sob Diferentes Tempos de Cultivo de Eucalipto no Vale do Jequitinhonha

RESUMO

Há poucas informações sobre os efeitos do cultivo sucessivo de eucalipto sobre a matéria orgânica do solo (MOS). O objetivo deste trabalho foi avaliar as mudanças nos estoques de C e N em frações lábeis e mais recalcitrantes da MO em solos submetidos a ciclos sucessivos de cultivo com eucalipto comparativamente a áreas adjacentes com vegetação natural de Cerrado ou que foram substituídas por pastagem, no Vale do Jequitinhonha –MG. O estoque de COT foi maior em solos sob eucalipto, que sucederam a pastagem, do que naquele com três ciclos em sucessão ao Cerrado. O cultivo do eucalipto após o Cerrado tendeu a reduzir o estoque de NT. A maior quantidade de raízes finas do eucalipto, em comparação com o Cerrado, levou a maiores quantidades de C e N da matéria orgânica leve (MOL), e carbono da biomassa microbiana (C-BM). O número de ciclos de cultivo de eucalipto não diminuiu os estoques de C, em relação ao Cerrado, sendo esses estoques maiores em povoamentos mais produtivos.

1. INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo (MOS) influencia os principais processos químicos e físicos nos solos, e determina, muitas vezes, o comportamento químico e a fertilidade destes (Coleman et al., 1989). Os teores da MOS de regiões tropicais são, geralmente, baixos e regulados pela taxa de produção primária líquida de material orgânico, pela partição dos fotoassimilados entre parte aérea e raízes e, pela velocidade de decomposição dos compostos orgânicos (Batjes, 1996). Os nutrientes liberados pela decomposição da serapilheira podem afetar a produtividade primária de um ecossistema, à medida que se tornam disponíveis para as plantas, e que não sejam perdidos do sistema (Mathers et al., 2003). Assim, a serapilheira representa importante via de aporte de C e nutrientes minerais ao solo.

A quantidade de serapilheira acumulada varia, com as características das espécies, idade dos povoamentos, taxa de crescimento, condições climáticas e propriedades do solo,

e pode influenciar o teor e a quantidade de COS (O'Connell & Sankaran, 1997; Sariyildiz et al., 2005). Em geral, o aumento do tempo de cultivo florestal aumenta o estoque de C no solo, embora em povoamentos mais novos possa haver redução ou pouco efeito das árvores sobre o estoque de C (Schlesinger & Lichter, 2001). Segundo Kolm (2001), quanto maior a quantidade de material orgânico depositado pelas plantas e quanto menor sua velocidade de decomposição, maior será a camada de serapilheira acumulada. Carpanezzi (1980) observou, em talhões de eucalipto, o padrão comum de produção de serapilheira em relação à idade, em que a deposição vai aumentando com a idade até atingir um limite. Entretanto, há situações nas quais com o aumento da idade, o estoque de C tende a aumentar, conforme registrado por Guo & Gifford (2002). Isso também foi constatado no norte da Bélgica, onde o aumento da idade da floresta (69 anos) resultou em quantidades maiores de C no solo (232 t ha^{-1}) em comparação com a pastagem (128 t ha^{-1}) e floresta mais jovem (29 anos, 173 t ha^{-1}). Esses fatos podem ser conseqüências da maior contribuição de frações de C estáveis no solo (Schauwlieghé & Lust, 1999). Resultados contrários também têm sido relatados na literatura.

Post & Kwon (2000) constataram que o cultivo de plantas lenhosas em substituição à pastagem resultou em decréscimo no teor de carbono orgânico total (COT) do solo. Apesar das plantas lenhosas produzirem maiores quantidades de material mais recalcitrante, elas podem apresentar menor contribuição para o estoque de COT do que gramíneas perenes. Outra razão para a redução do COT são os distúrbios causados pela colheita florestal. Na Califórnia, a colheita da madeira levou à perda inicial do estoque de COT de 15 % no período de 1-7 anos devido a oxidação e erosão. Por 17 anos de restabelecimento da floresta, houve perda contínua de COT de 15 %. Apesar da pouca acumulação de litter e raízes, depois de 80 anos as taxas de acumulação de C excederam as perdas, mas o estoque de COS não foi recuperado ao nível que se encontrava antes da colheita (Black & Harden, 1995).

Chen et al. (2004), estudando os aportes de C no solo em florestas naturais e plantadas de pinus na Austrália, constataram que não houve diferença significativa no C total do solo entre a primeira e segunda rotação dos plantios, indicando que a colheita e preparação do sítio de povoamentos de pinus não tiveram impacto significativo sobre o C total do solo, ao final de um período curto (dois anos após a colheita).

Técnicas de manejo intensivo e rotações mais longas podem levar a alterações da quantidade de C e N nos solos florestais, mas pouco se sabe sobre os efeitos do cultivo sucessivo do eucalipto sobre o estoque de C e N do solo no Brasil. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito do cultivo sucessivo de eucalipto sobre o estoque de C e N na serapilheira e nas frações mais lábeis e mais recalcitrantes da MOS, no Vale do Jequitinhonha –MG.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da Área e dos Povoamentos

O estudo foi desenvolvido utilizando-se amostras de solos provenientes de povoamentos de *Eucalyptus urophylla*, com tempo de cultivo de um ciclo (7 anos), dois ciclos (14 anos) e três ciclos (21 anos), e de áreas adjacentes com vegetação de Cerrado, tomada como referência (Quadro 1) no município de Itamarandiba, no Vale do Jequitinhonha, MG. Para o plantio do eucalipto, a vegetação do Cerrado foi cortada, a lenha removida e os resíduos enleirados e queimados. Nos plantios de um e dois ciclos, o eucalipto foi plantado em áreas de pastagem que substituíram o Cerrado original nativo (Quadro 1). No plantio com dois ciclos foi feita uma reforma do povoamento inicialmente plantado, ao final do 10º ano. Os povoamentos de eucalipto foram estabelecidos com mudas de semente, e plantados no espaçamento de 3x2 m, em Latossolo Vermelho-Amarelo, muito argiloso, com topografia plana a suavemente ondulada. O clima na região é do tipo Cwa, conforme a classificação de Köppen, com a temperatura média anual de 20º C, sendo que temperatura média máxima anual de 26º C e a temperatura média mínima de 15º C. A precipitação média anual é de 1.160 mm, concentrada entre os meses de outubro e março, sendo o verão quente e chuvoso e o inverno ameno e seco (Figura 1). A altitude é de 1.100 m.

Os dados climáticos correspondentes ao período do cultivo de eucalipto foram obtidos em estações meteorológicas da Acesita Energética.

Quadro 1 - Características das coberturas e tempo de cultivo do eucalipto

Cobertura anterior	Cobertura vegetal atual	Identificação
Cerrado	Cerrado	Cerrado
Pastagem	Eucalipto (um ciclo)	Ciclo 1
Pastagem	Eucalipto (dois ciclos)	Ciclo 2
Cerrado	Eucalipto (três ciclos)	Ciclo 3

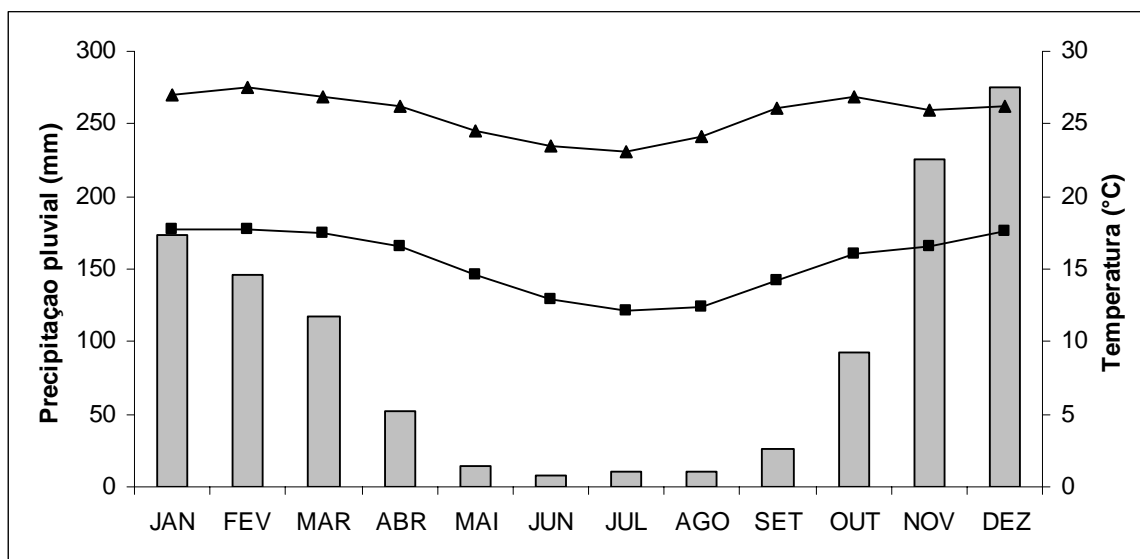


Figura 1 - Média mensal de precipitação pluvial e temperatura em Itamarandiba – MG, no período de 1988 a 2004. Fonte: ACESITA Energética (2004).

2.2. Amostragem do solo e da serapilheira

As amostras de solo foram coletadas em quatro parcelas de 600 m², alocadas em áreas com eucalipto e Cerrado, da tipologia Cerrado (Goodland & Ferri, 1979). Coletaram-se amostras compostas de solos em trincheiras, formadas por quatro amostras simples cada uma, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-100 cm. Essas profundidades foram definidas em razão da menor alteração do solo nas camadas mais profundas. Em cada parcela, às mesmas profundidades, em duas partes da trincheira, foram coletadas amostras indeformadas com anéis volumétricos para determinar a densidade do solo.

A amostragem do material vegetal acumulado sobre o solo foi realizada utilizando-se gabarito de 0,25 m², em quatro repetições, onde foram coletadas folhas, galhos finos e grossos. As folhas, galhos e raízes da cultura de eucalipto que se encontravam em contato direto com o solo e, portanto, em estado mais avançado de decomposição, foram denominados de camada F. O material mais superficial e mais preservado que foi

denominado de camada L. O material das camadas L + F constituiu a serapilheira. Esses materiais foram acondicionados em sacos plásticos e transportados para o laboratório. Posteriormente, foi realizada a separação das folhas, galhos finos e grossos da camada L e folhas, galhos e raízes da camada F, seguindo-se a secagem em estufa a 72° C por cinco dias, para então se fazer a determinação da massa seca.

2.3. Caracterização química do solo

As amostras de solo foram secadas ao ar, passadas em peneira com malha de 2 mm, e submetidas à análise química (Embrapa, 1997). A análise granulométrica foi feita pelo método da pipeta (Quadro 2).

Quadro 2 - Características químicas e físicas de amostras do solo sob vegetação de Cerrado e *Eucalyptus urophylla* com um, dois ou três ciclos de cultivo, na camada de 0-20 cm de profundidade

Cobertura vegetal	pH H ₂ O	CO	N	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC Efet.	m	
													-----g kg ⁻¹ -----
Cerrado	4,8	24,8	1,42	0,5	24	0,04	0,17	0,39	8,9	0,27	0,66	59,1	
ciclo1	4,9	25,6	1,43	0,8	13	0,22	0,17	0,44	9,7	0,42	0,86	51,2	
ciclo 2	5,6	35,6	1,76	1,0	17	0,03	0,10	0,78	12,8	0,17	0,95	82,1	
ciclo 3	4,6	26,3	1,19	1,0	10	0,00	0,11	0,59	10,0	0,14	0,73	80,8	
		Areia Grossa			Areia Fina			Silte		Argila		Densidade do solo	
		-----g kg ⁻¹ -----											g cm ⁻³
Cerrado		50			50			90		810		0,88	
ciclo1		60			50			110		780		0,80	
ciclo 2		50			40			90		820		0,72	
ciclo 3		70			90			60		780		0,92	

O carbono orgânico total do solo (COT) foi determinado em amostras de TFSA, trituradas em almofariz e passadas em peneira de 0,5 mm, por oxidação via úmida, com aquecimento externo (Yeomans & Bremner, 1988). O N total (NT) foi determinado pelo método Kjeldahl, modificado por Tedesco (1985). Sub-amostras de TFSA foram pesadas e passadas em peneira de 0,2 mm (60 mesh) e depois colocadas em tubo, no qual foram adicionados 5 mL de solução concentrada de H₂SO₄ e 0,7 g de mistura digestora. A digestão foi conduzida em bloco digestor com temperatura em torno de 360° C. Após resfriamento, o extrato foi submetido à destilação e titulado com solução de HCl 0,1104

mol L⁻¹. A matéria orgânica leve (MOL) foi separada por flotação em solução de iodeto de sódio (NaI), densidade de 1,8 kg L⁻¹. O material obtido foi lavado com água destilada e secado a ± 65° C e, posteriormente, pesado. Os teores de C e N da MOL (C-MOL e N-MOL) foram quantificados em analisador elementar Perkin Elmer CHNS/O 2400. As substâncias húmicas (SH) foram extraídas de amostras de TFSA, que, após maceradas e passadas em peneira de 100 mesh (0,149 mm), foram submetidas ao fracionamento de SH segundo o método da International Humic Substances Society (IHSS) (Swift, 1996). Foram obtidas as frações correspondentes aos ácidos fúlvicos (FAF), ácidos húmicos (FAH) e huminas (FH), com base na solubilidade diferencial em soluções alcalinas e ácidas. Do somatório de todas essas frações húmicas foram obtidas as substâncias húmicas (SH). A determinação do C de cada fração húmica foi realizada pelo método de oxidação úmida, com aquecimento externo (Yeomans & Bremner, 1988). Para a determinação de NT nas substâncias húmicas foi utilizado o método Kjeldahl (Tedesco, 1985). O C e N da biomassa microbiana (C-BM e N-BM, respectivamente) foram determinados a partir de amostras de solo incubadas por 16 dias a 25° C com a umidade correspondente a 80 % do equivalente de umidade (-33 kPa), para permitir o restabelecimento da comunidade microbiana. A umidade das amostras foi aferida a cada dois dias. Findo o período de incubação, foram determinados os teores de C-BM e N-BM pelo método da irradiação-extração (Islam & Weil, 1998), utilizando forno microondas com potência de 900 W e frequência de 2.450 MHz. Após a irradiação, as amostras foram submetidas à extração com K₂SO₄ 0,5 mol L⁻¹. O C nos extratos foi quantificado por meio de oxidação úmida, sem aquecimento externo. O fator de conversão (K_C) usado para converter o C determinado para C da biomassa microbiana foi de 0,33 (Sparling & West, 1988). O N no extrato foi quantificado por meio de digestão sulfúrica, seguida da destilação e titulação com solução de HCl (Tedesco, 1985). O fator de conversão (K_N) utilizado para converter o N determinado em N da biomassa microbiana foi de 0,54 (Brookes et al., 1985). Os teores de C-BM e N-BM foram expressos com base na massa de solo seco em estufa a 65° C por 48 h.

Os estoques de C e N das diferentes frações da MOS nas distintas camadas do solo foram calculados multiplicando-se o teor de C ou N pelo volume de solo em cada camada de solo e pela densidade do solo sob Cerrado nas diferentes profundidades.

2.4. Caracterização química da serapilheira

As amostras de serapilheira (camadas L e F) foram postas para secar em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de $70 \pm 2^\circ \text{C}$, até peso constante, trituradas em moinho tipo Wiley e submetidas à digestão nítrico-perclórica para a determinação dos teores de K (fotometria de chama), de P (colorimetria, pelo método da vitamina C, modificado por Braga & Defelipo, 1974), Ca, Mg, Cu, Zn (espectroscopia de absorção atômica). A análise do N e C total foi realizada em um analisador elementar CHNS/0 2400 (Perkin Elmer).

2.5. Análise estatística

O delineamento experimental adotado foi o de blocos inteiramente ao acaso, com parcelas subdivididas; O Cerrado e o eucalipto com diferentes ciclos de cultivo foram alocados às parcelas principais, enquanto as profundidades de amostragem foram alocadas às sub- parcelas. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e teste de médias, com DMS protegido para cada profundidade estudada. Essas análises foram realizadas com o programa estatístico SAEG 5,0 (Funarbe, 1993).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Teor e Estoque de Carbono e Nitrogênio na Serapilheira

O Cerrado apresentou menor quantidade de resíduos vegetais da camada L; cerca de $4,04 \text{ t ha}^{-1}$ (Quadro 3), enquanto os povoamentos de eucalipto apresentaram quantidades superiores a $5,5 \text{ t ha}^{-1}$ (Figura 2). No Cerrado não foi possível distinguir a camada F, em razão da menor quantidade de resíduos depositada. A quantidade de serapilheira dos povoamentos de eucalipto foi maior do que no Cerrado, no ciclo 1 foi cerca de $15,4 \text{ t ha}^{-1}$, no ciclo 2 cerca de $12,1 \text{ t ha}^{-1}$ e no ciclo 3 cerca de $11,4 \text{ t ha}^{-1}$ o que reflete a maior produtividade dos plantios em relação ao Cerrado. No Cerrado, a produção de serapilheira

varia com sua tipologia, mas uma quantidade média entre 2 e 3 t ha⁻¹ ano⁻¹ tem sido relatada, (Haridasan, 2000).

A massa na camada L foi maior ($p < 0,05$) para o eucalipto com um ciclo em comparação com os outros tratamentos, apresentou maiores valores em comparação com a camada F, provavelmente pela maior relação C/N dos galhos grossos da camada L deste ciclo (Quadro 3). O teor de N das folhas pouco decompostas e que constituem a camada L foi quase o dobro daquele da camada F, mas a relação C/N foi maior, o que pode ser indicativo de uma possível menor taxa de decomposição (Quadro 3).

Em solos de baixa fertilidade, a deposição da serapilheira torna-se a principal fonte de nutrientes para o crescimento da planta. Em plantações de eucalipto, o retorno de N ao solo pode variar entre 18 e 140 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (Reis & Barros, 1990; Attiwill & Adams, 1993). O povoamento de eucalipto com dois ciclos de cultivo apresentou os maiores teores de C na folha e galho fino da camada L (Quadro 3), e apresentou a menor quantidade de matéria seca na camada L em comparação com aquela do eucalipto com um e três ciclos. No entanto, na camada F, esse tratamento apresentou a maior quantidade de raízes, cerca de 54 e 74 % superior à determinada para os povoamentos com um e três ciclos, respectivamente (Quadro 3). Em ambientes com condições restritivas ao crescimento, devido à baixa fertilidade, maior proporção do C fixado é alocado para o sistema radicular (Reis & Reis, 1995; Stape et al., 2002). Este poderia ser o caso do povoamento de eucalipto com dois ciclos de cultivo. A taxa de decomposição da serapilheira em plantios de eucalipto é baixa, acarretando acúmulo de material orgânico e aumento da quantidade de nutrientes na interface serapilheira-solo (Adams & Attiwill, 1986; Gama Rodrigues & Barros, 2002) o que representa um estímulo ao crescimento radicular entre as folhas em decomposição.

A relação C/N dos componentes da camada L dos diferentes povoamentos de eucalipto não diferiu entre si (Quadro 3) exceto para os galhos grossos. A relação C/N desta camada foi elevada (89 a 357), principalmente para os galhos (Quadro 3). Relações C/N na serapilheira acima de 25 a 34 levam à imobilização de N em relação à mineralização deste nutriente (Blair et al., 1998). A relação C/N da camada F mostrou-se distinta entre os povoamentos com diferentes ciclos de cultivo (Quadro 3), sendo os menores valores observados no eucalipto com um ciclo para todos os componentes da camada. Contudo, no

povoamento deste ciclo houve tendência da massa de resíduos das camadas L e F, principalmente, de folhas da camada L ser maior (Quadro 2 e Figura 2).

Os teores de N das folhas da camada L foram inferiores a 10 g kg^{-1} e, aparentemente, insuficientes para manter elevada atividade microbiana (Quadro 3). Essa condição favorece a imobilização de N. Quanto menor o teor de N, mais lentamente ocorrerá à decomposição da serapilheira (Firme, 2005).

Quadro 3 - Quantidade e características químicas da camada L (folha, galho fino (GF) e galho grosso (GG)) e camada F (folha, galho, raiz) sob vegetação do cerrado e de *Eucalyptus urophylla*, com diferentes tempos de cultivo

Cobertura vegetal	Frações da Camada L					Frações da Camada F				
		Quantidade t ha^{-1}	N g kg^{-1}	C	C/N		Quantidade t ha^{-1}	N g kg^{-1}	C	C/N
Cerrado	Folha	2,24	9,3	503,6	54	-----	-----	-----	-----	-----
	GF	1,10	7,5	489,8	65	-----	-----	-----	-----	-----
	GG	0,70	7,5	478,9	64	-----	-----	-----	-----	-----
ciclo 1	Folha	3,96 a	9,9 a	527,5 c	53 a	Folha	4,91 a	16,60 a	461,0 b	28 c
ciclo 2	Folha	1,87 c	9,8 a	554,8 a	56 a	Folha	4,51 a	11,30 b	537,4 a	48 a
ciclo 3	Folha	3,06 b	1,1 a	541,0 b	47 a	Folha	3,25 a	11,40 b	485,2 b	42 b
ciclo 1	GF	3,58 a	3,4 b	481,3 b	170 a	Galho	0,97 a	8,40 a	475,9 b	57 b
ciclo 2	GF	2,71 a	5,5 a	494,8 a	89 a	Galho	0,60 a	6,70 a	507,3 a	96 b
ciclo 3	GF	2,41 a	3,6 b	481,4 b	140 a	Galho	0,74 a	3,50 b	479,5 b	176 a
ciclo 1	GG	1,42 a	1,5 c	476,4 a	357 a	Raiz	0,52 a	14,80 a	483,7 b	33 c
ciclo 2	GG	1,33 a	4,5 a	478,9 a	106 b	Raiz	1,13 a	11,20 b	525,1 a	47 b
ciclo 3	GG	1,61 a	2,3 b	470,0 c	204 ab	Raiz	0,29 a	8,70 c	498,5 b	58 a

Para a Folha, GF e GG da camada L e para Folha, Galho, Raiz da camada F; médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo Teste de DMS (5 %).

A quantidade da serapilheira (L + F) observada sob eucalipto com um ciclo foi cerca de 25 e 18 % superior à do eucalipto com dois e três ciclos, respectivamente, (Figura 2), em razão da queda de maior quantidade de folhas e galhos finos (Quadro 3). Esse povoamento pode ter apresentado crescimento um pouco maior que os outros dois em virtude da soma de bases maior (Quadro 2).

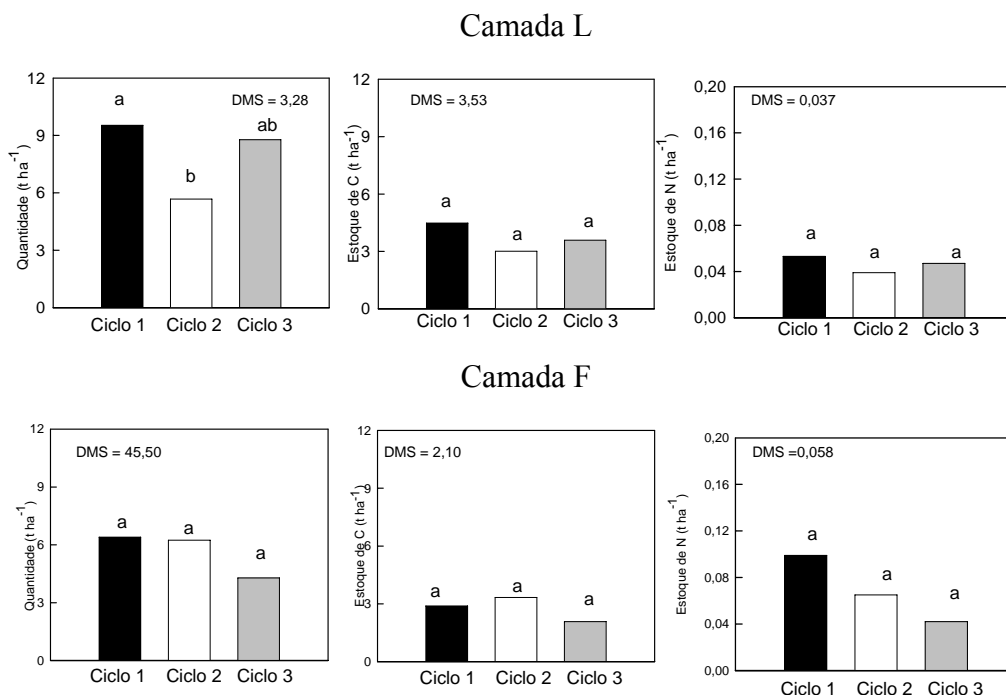


Figura 2 - Quantidade de matéria seca e estoque de carbono e nitrogênio das camadas L e F sob eucalipto com diferentes tempos de cultivo (ciclos 1, 2 e 3). DMS (5 %).

3.2. Teor e Estoque de C e N no solo e nas substâncias húmicas

O Cerrado e o eucalipto com um ciclo de cultivo apresentaram os menores teores de C no solo e valores da relação C/N na camada de 0-10 cm (Figura 3). Os teores de COT e NT foram maiores ($p < 0,05$) no solo e nas frações da matéria orgânica do eucalipto com dois ciclos nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm (Figura 3), onde a quantidade de raízes é maior, ou seja, os efeitos da serapilheira nas camadas mais superficiais foram mais marcantes. Assim, os maiores teores de COT na camada mais superficial do eucalipto com dois ciclos se deveu à maior quantidade de raízes na camada F. Os tecidos das raízes apresentam decomposição relativamente rápida, aumentando o teor de COT lábil do solo (Wagner & Wolf, 1998). Witschoreck et al. (2003), avaliando a biomassa e o comprimento de raízes finas em *Eucalyptus urophylla* no município de Santa Maria – RS, constataram que não só a serapilheira, mas também a concentração de raízes finas nesta camada está relacionada com teores mais altos de MOS e de nutrientes, e com as condições físicas favoráveis desta camada. Mendham et al. (2002) constataram que o acúmulo de resíduos aumentou os teores de C e N da biomassa microbiana na superfície do solo (0-5 cm), um e

cinco anos após o plantio de eucalipto; os efeitos diminuíram depois de cinco anos do tratamento.

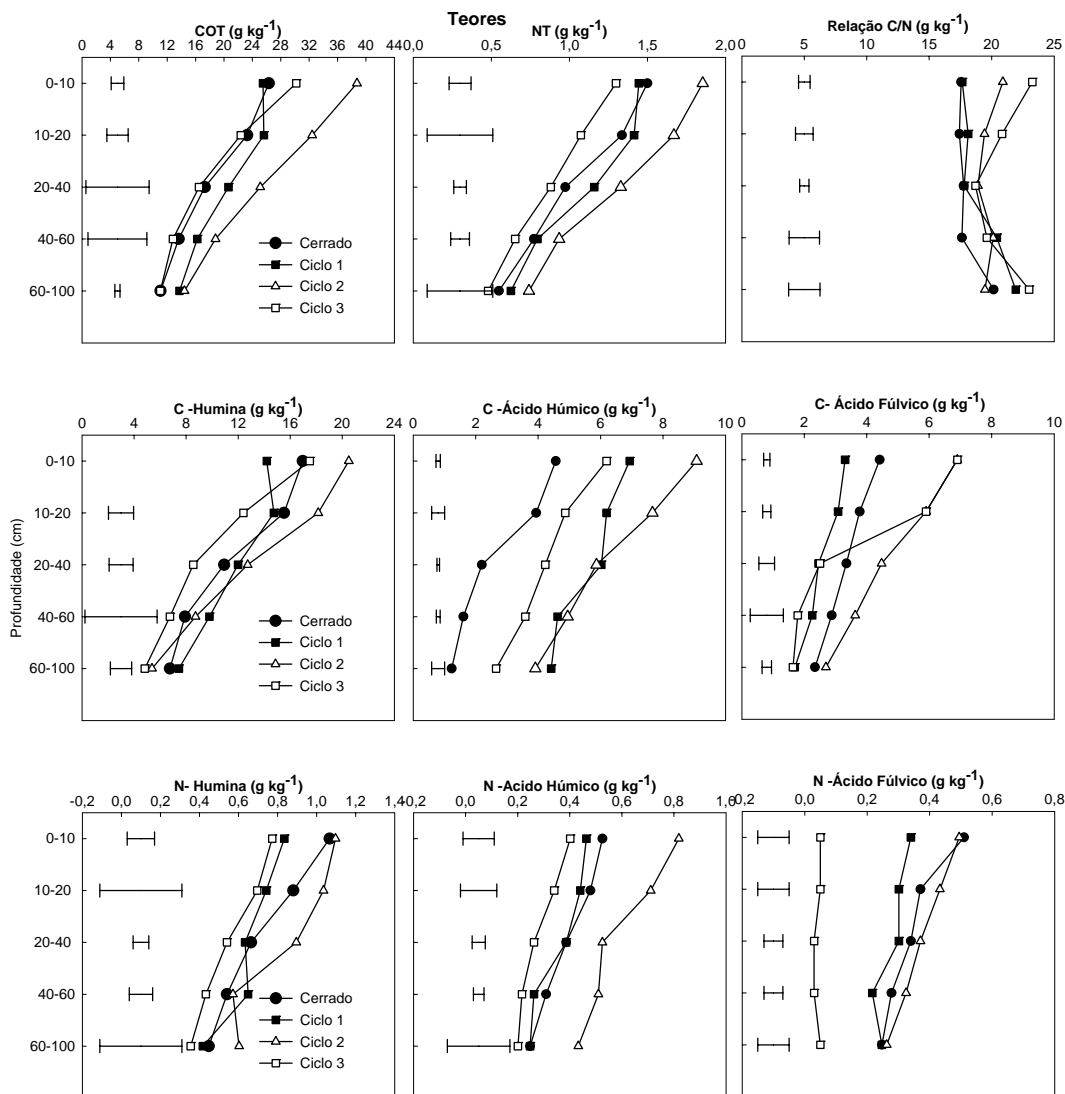


Figura 3 - Teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) do solo e de das frações humina, ácido húmico e ácido fúlvico, no Cerrado e eucalipto com diferentes tempos de cultivo, onde Ciclo 1 (um ciclo de cultivo), Ciclo 2 (dois ciclos de cultivo) Ciclo 3 (três ciclos de cultivo). As barras horizontais indicam a DMS (5 %), entre as médias, de acordo com a camada de solo amostrada.

Os teores de COT e NT do solo e substâncias húmicas diferenciaram significativamente entre os povoamentos com diferentes ciclos de cultivo de eucalipto (Figura 3). O maior aporte de resíduos do eucalipto levou a maiores teores de C na FAF e FAH do que na FH em relação ao Cerrado. À medida que se aumentou o número de ciclos após Cerrado e pastagem, isto é, o eucalipto no segundo e terceiro ciclos, ocorreu maior

relação C/N que o Cerrado na camada até 20 cm de profundidade. O teor de COT e NT das substâncias húmicas foi maior ($p < 0,05$) para o eucalipto com dois ciclos de cultivo nas camadas mais superficiais em comparação com o Cerrado e eucalipto um e três ciclos de cultivo (Figura 3).

A relação CAH/CAF foi maior para o solo sob Cerrado em todas as profundidades estudadas em comparação com o eucalipto com diferentes ciclos de cultivo (Figura 4). A relação CAH/CAF tendeu a diminuir com a profundidade em todos os tratamentos sob cultivo de eucalipto, mostrando a perda da FAH e uma melhor recuperação da FAF. A relação NAH/NAF foi maior para o segundo ciclo de cultivo de eucalipto (Figura 4). Assim, coerentemente com a menor quantidade de serapilheira, os maiores teores de COT nas substâncias húmicas no eucalipto com dois ciclos representariam uma transformação mais rápida do C no sistema, fato suportado também pelo maior estoque de C nestas substâncias nas camadas superficiais do solo (Figura 3).

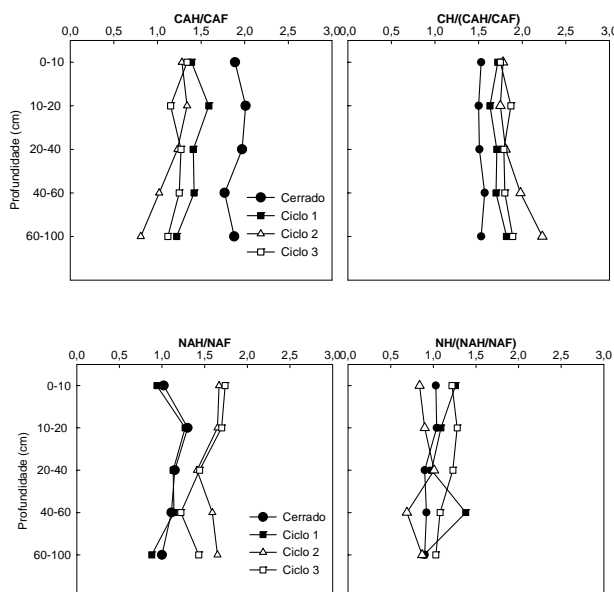


Figura 4 - Relações de carbono e nitrogênio das frações húmica, ácidos húmicos (FAH) e ácidos fúlvicos (FAF), no Cerrado e nos diferentes ciclos de cultivo do eucalipto (ciclos 1, 2 e 3).

Foi observado que no solo de Cerrado, na camada de 0-100 cm, cerca de 63 % do COT foi proveniente da FH; no entanto, esta vegetação apresentou os menores teores de C na FAH (Figura 3). Para os povoamentos de eucalipto, esses percentuais foram mais baixos: de 58, 50 e 54 % para os ciclos 1, 2 e 3, respectivamente. Verificou-se menor

relação $CH/(CAH + CAF)$ no solo sob Cerrado (Figura 4) em todas as profundidades estudadas em comparação com os outros tratamentos. Essa menor relação é devida ao menor valor de C na FAH no Cerrado (Figura 3), e pode ser indicativa de menor estabilidade estrutural da MO, devido, provavelmente, à composição química da serapilheira no Cerrado. A relação $CH/(CAH + CAF)$ indica a estabilidade estrutural da MO, e quanto mais elevado seu valor maior é a sua estabilidade (Labrador Moreno, 1996).

O maior estoque de C ($185,05 \text{ t ha}^{-1}$) na camada de 0-100 cm ocorreu no solo que teve dois ciclos de cultivo do eucalipto em substituição à pastagem. Sempre que a pastagem substituiu o Cerrado (ciclos um e dois), houve aumento dos estoques de C e N do solo (Figura 5). Este aumento se deve, possivelmente, ao aumento dos resíduos (serapilheira + galhada e raízes) depois de dois ciclos de eucalipto, além dos resíduos da pastagem, em especial do sistema radicular.

Considerando-se a camada de 0-100 cm, o cultivo do eucalipto após o Cerrado tendeu a causar redução no estoque de NT (Figura 5). Para a produtividade média (em torno de $45 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) de eucalipto na região, cerca de 390 kg ha^{-1} de N são imobilizados nas árvores e também grande quantidade de NT é imobilizada na serapilheira. Os maiores estoques de N foram encontrados nos povoamentos de eucalipto com um e dois ciclos, que foram precedidos por pastagem.

Resultados de pesquisa são contraditórios quanto às alterações do estoque de C com o tempo de cultivo do solo. Lima et al. (2006) observaram mudanças nos estoques de COT, na região de Belo Oriente- MG, depois que a pastagem foi substituída por eucalipto com rotação curta, em que os maiores estoques ocorreram até a terceira rotação de eucalipto.

O estoque de C na camada de 0-100 cm e a serapilheira, no eucalipto no segundo ciclo foi de $189,42 \text{ t ha}^{-1}$, superior ao eucalipto com um e três ciclos de cultivo em, aproximadamente, 16 e 28 %, respectivamente (Figura 5), em razão da maior produtividade deste povoamento.

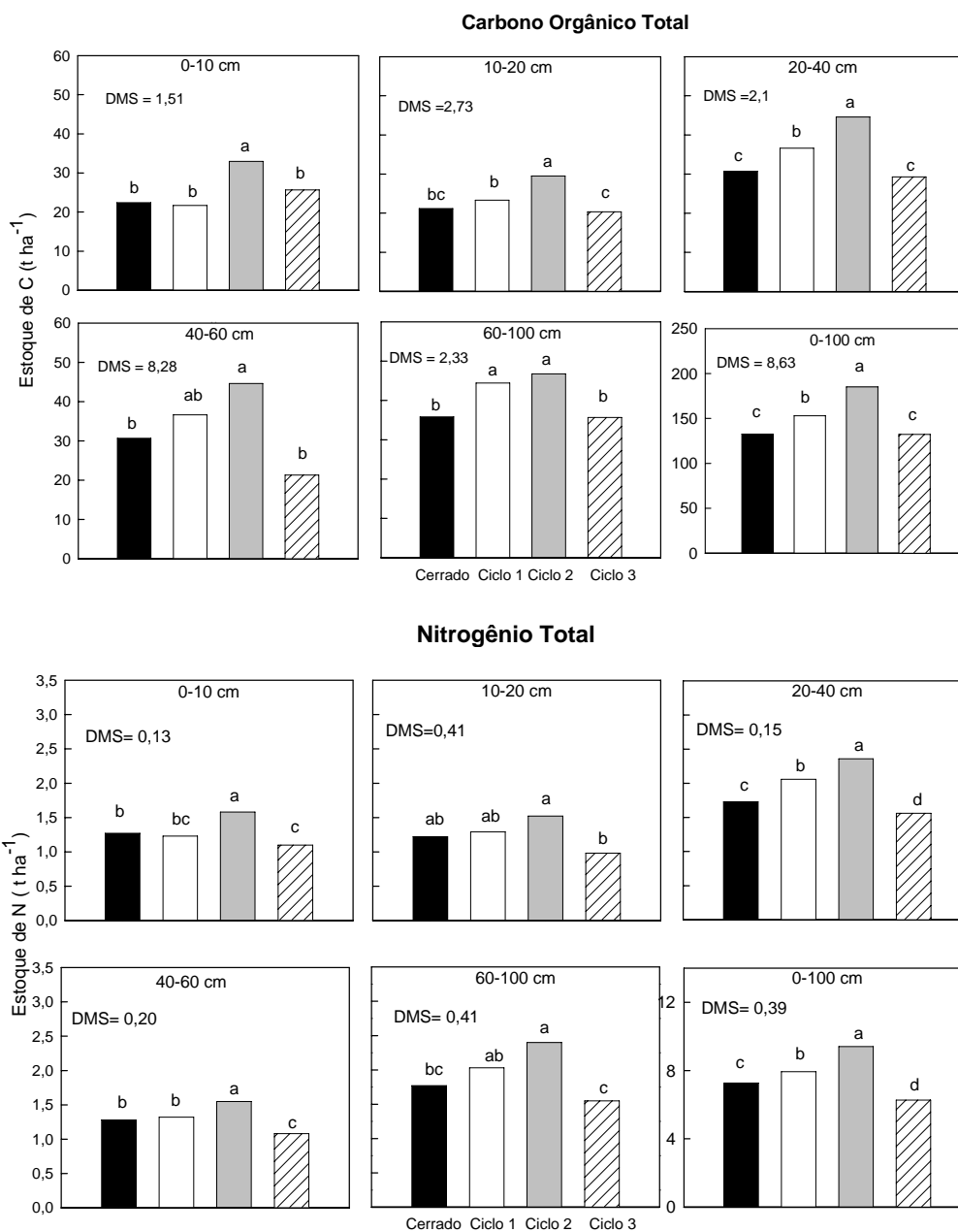


Figura 5 - Estoques de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) nas diversas camadas de solo sob cerrado e eucalipto com diferentes ciclos de uso. DMS (5 %).

O solo sob plantio de eucalipto no segundo ciclo apresentou maior estoque de COT e NT nas substâncias húmicas (Figuras 6 e 7) em relação ao solo sob Cerrado. A vegetação de Cerrado deste estudo correspondente à tipologia Cerrado (Goodland & Ferri, 1979) que não é de grande porte e cujo aporte de material vegetal é bastante reduzido (Quadro 3), limitando a quantidade de substrato disponível para a produção de substâncias húmicas. Por

outro lado, o eucalipto apresenta maior deposição de material vegetal, dando condições para maior acúmulo de substâncias húmicas em relação ao Cerrado.

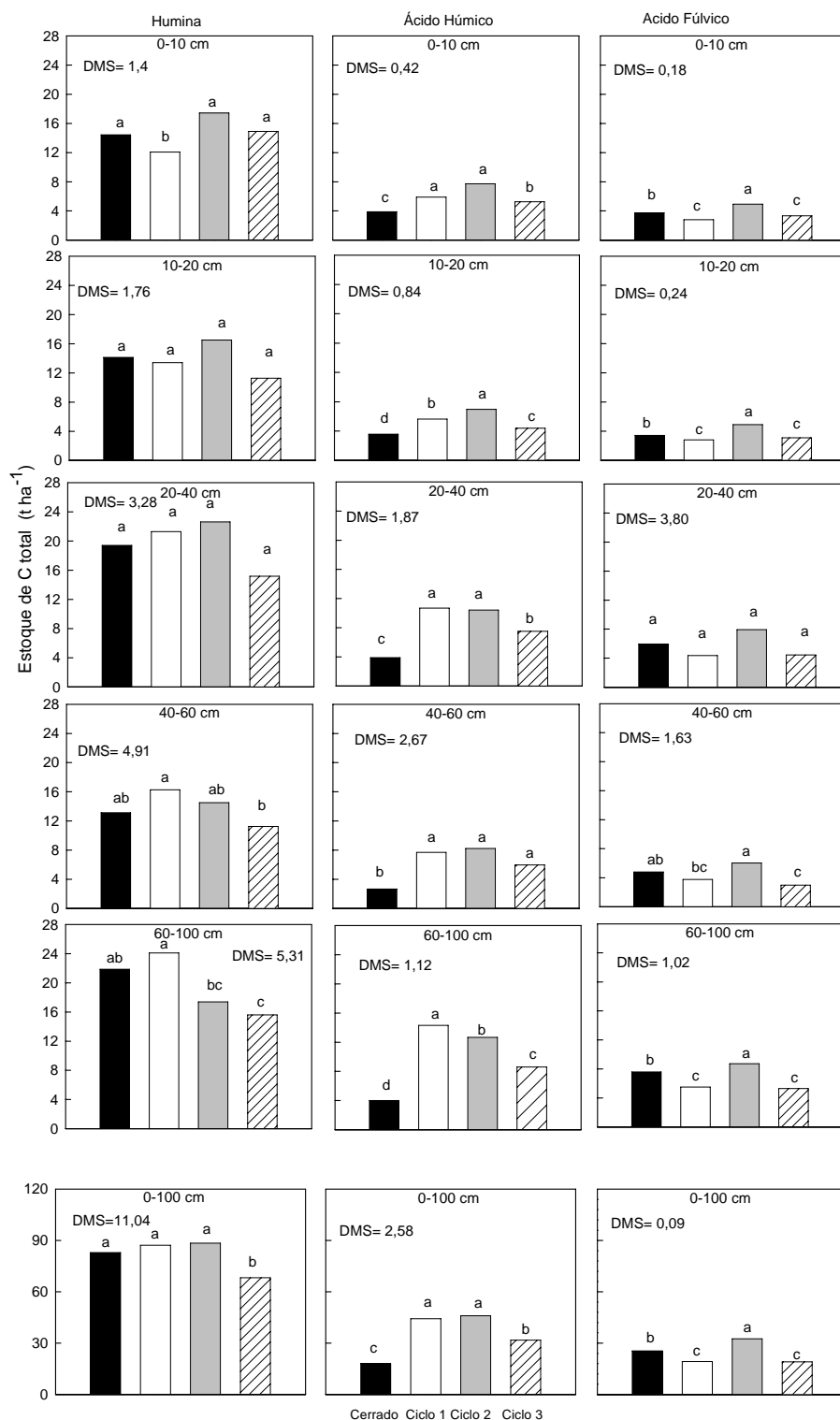


Figura 6 - Estoques de carbono orgânico total (COT) das frações humina, ácidos húmicos e ácidos fúlvicos nas diversas camadas sob Cerrado e eucalipto com diferentes ciclos de cultivo (ciclos 1, 2 e 3). DMS (5 %).

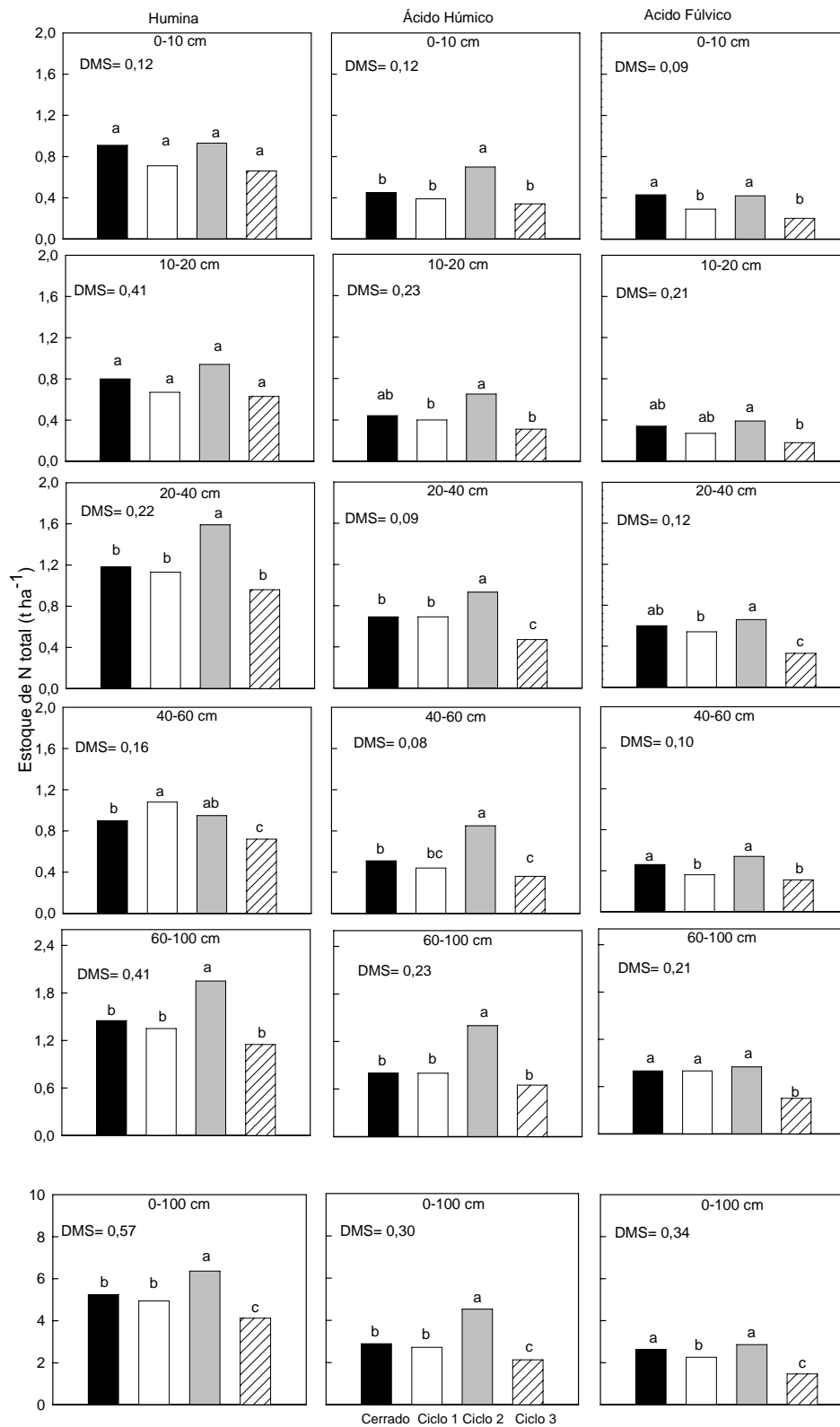


Figura 7 - Estoque de nitrogênio total (NT) das frações humina, ácidos húmicos e ácidos fúlvicos nas diversas camadas sob Cerrado e eucalipto com diferentes tempos de cultivo (ciclos 1, 2 e 3). DMS (5 %).

O estoque de C e N na FH foi maior do que o observado na FAH (Figura 6) e FAF (Figura 7) nos solos sob todas coberturas estudadas. Este fato tem sido também observado em outros estudos (Nascimento et al., 1988; Pizauro & Melo, 1995; Sikora & Yakovchenko, 1996), nos quais a humina continha cerca de 50 a 78 % do COT do solo. Ao contrário das outras frações, houve maior similaridade entre o Cerrado e povoamentos de eucalipto no que se refere à FH nas camadas de solo mais profundas amostradas. Essa maior similaridade pode ser decorrente da maior recalcitrância desta fração, além da íntima associação do C com as frações texturais mais finas do solo.

3.3. Estoque de C e N na Matéria Orgânica Leve

O solo sob Cerrado e sob o eucalipto, com diferentes tempos de cultivo, apresentou maiores estoques de C da matéria orgânica leve (C-MOL) e N da matéria orgânica leve (N-MOL) nas camadas mais superficiais (Figura 8). No solo sob eucalipto no segundo ciclo foram observados os maiores valores ($p < 0,05$) de C-MOL e N-MOL, em quase todas as camadas estudadas, em comparação com o Cerrado e eucalipto com um e três ciclos. O eucalipto no segundo ciclo adicionou maior quantidade de MOL, que contribuiu para o aumento da MOS, em razão do maior aporte de raízes neste tratamento (Quadro 3). Também a quantidade de folhas da camada L foi menor, indicando maior transferência do C para outras frações da MOS. O C da superfície do solo é derivado, principalmente, dos resíduos da parte aérea das plantas, enquanto o C da camada abaixo da superfície é derivado de material proveniente das raízes ou transportado pela fauna ou por lixiviação. O C abaixo da superfície é mais dependente do efeito da textura e da estabilização de compostos orgânicos. Neufeldt et al. (2002), estudando a textura e o efeito do uso da terra sobre a MOS em Latossolos do Cerrado no Brasil Central, constataram que a maior quantidade de MOL no eucalipto, em comparação ao pinus, pastagem e Cerrado, deveu-se ao seu elevado aporte de serapilheira.

Nos solos estudados, o C-MOL representou 20, 21, 26 e 34 % do COT na camada de 0-10 cm, para o Cerrado, eucalipto nos ciclos 1, 2 e 3, respectivamente. Essa elevada contribuição para o COT se deve à grande quantidade de raízes nessa camada. As proporções apresentadas foram semelhantes àquelas obtidas por Tiessen & Stewart (1983),

em que o C-MOL respondeu por 20 a 30 % do COT nos solos sob floresta e de 8 a 14 % nos solos cultivados.

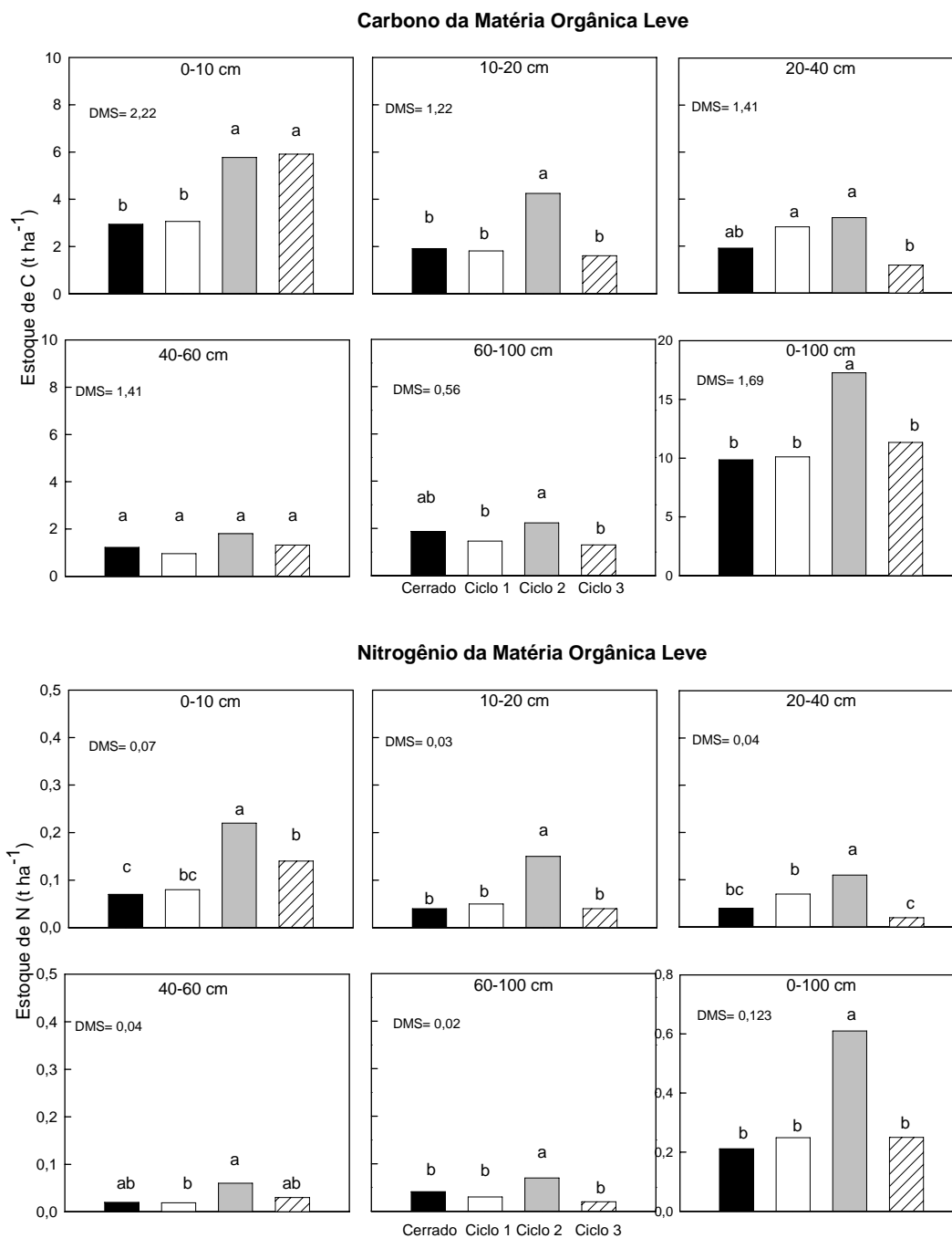


Figura 8 - Estoques de carbono na matéria orgânica leve (C-MOL) e nitrogênio da matéria orgânica leve (N-MOL) nas diversas camadas de solo sob Cerrado, e eucalipto com diferentes tempos de cultivo (ciclos 1, 2 e 3). DMS (5 %).

O N-MOL correspondeu a 8, 10, 20 e 19 % do NT da camada de 0-10 cm para o Cerrado e eucalipto nos ciclos 1, 2 e 3, respectivamente, sendo que esses valores de C-MOL e N-MOL diminuíram com a profundidade no perfil do solo. As tendências verificadas para o carbono da biomassa microbiana (C-BM) e C-MOL demonstram que os estoques das frações mais lábeis do COS foram reduzidas com maior intensidade na primeira camada abaixo da superfície, principalmente no Cerrado e eucalipto no terceiro ciclo. As frações da MOS que têm ciclagem mais rápida, como a biomassa microbiana e a fração leve, são extremamente importantes, pois contribuem para ciclagem de nutrientes, sendo fontes de energia mais prontamente disponíveis para os microrganismos responsáveis por esta ciclagem (Janzen et al., 1992).

Assim, o aumento do número de cultivos de eucalipto na região estudada não diminuiu os estoques de C-MOL e N-MOL do solo e, pelo contrário, contribuiu para aumentar seus estoques em comparação com o Cerrado.

3.4. Estoque de C e N na Biomassa Microbiana

O estoque de C da biomassa microbiana (C-BM) do solo diferiu significativamente ($p < 0,05$) apenas na comparação entre povoamentos de eucaliptos com um e dois ciclos de cultivo na camada de 20-40 cm de profundidade, na qual os valores foram mais elevados (Figura 9).

Quanto ao estoque de N-BM, houve diferença significativa somente na camada de 20-40 cm, na qual o Cerrado apresentou valor mais elevado. O eucalipto no ciclo 1 apresentou os maiores valores de C-BM nas camadas estudadas. Mudanças no sistema de cultivo refletem na biomassa microbiana do solo, que responde por grande parte da dinâmica de decomposição do material orgânico. Avaliando a dinâmica do C-BM em diferentes profundidades de um Latossolo no Cerrado, sob diferentes sistemas de manejo, Ferreira et al. (2002) observaram que, em relação ao comportamento médio no perfil, o valor encontrado para o C-BM na área com vegetação típica de Cerrado foi significativamente maior.

As relações C-BM/COT e N-BM/NT expressam a eficiência da biomassa microbiana em imobilizar C e N, de acordo com a qualidade nutricional da MOS. Maiores valores da proporção C-BM/COT foram observados no solo sob eucalipto no primeiro ciclo (1,91;

0,98; 2,17), respectivamente, nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm em relação ao solo de Cerrado (1,42; 0,93; 1,32), indicando quantidade de C imobilizado ligeiramente maior, como biomassa microbiana, no eucalipto no primeiro ciclo. A maior relação de C-BM/COT em florestas naturais ou regeneradas pode ser explicada com base na maior diversidade do substrato orgânico produzido e aportes destes no local, mantendo maior interdependência entre substratos, o que permite a manutenção do maior teor de C-BM por unidade de COS (Anderson & Domsch, 1980). Os menores valores da proporção C-BM/COT nas diversas camadas das coberturas estudadas poderiam indicar que a disponibilidade de substrato para os microrganismos do solo foi relativamente baixa. Para N-BM/NT, o solo sob eucalipto no primeiro ciclo também apresentou os maiores valores nas camadas de solo de 0-10 e 10-20 cm, seguido do Cerrado e eucalipto nos ciclos 2 e 3 (Figura 9).

Assim, os maiores valores de C-BM foram encontrados nos solos sob eucalipto com um e dois ciclos de cultivo, que tiveram pastagem como vegetação anterior, produzindo grande quantidade de matéria seca, na forma de raízes finas, garantindo maior aporte de resíduos e menores taxas de decomposição, o que gerou maior acúmulo de C no solo.

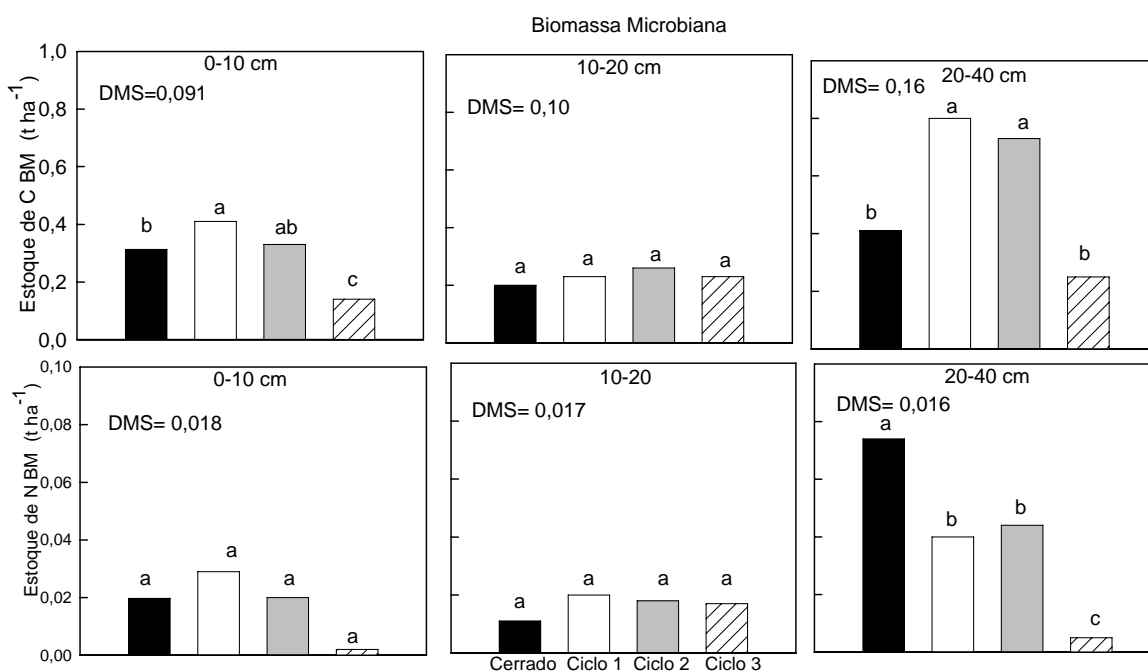


Figura 9 - Estoque de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) da biomassa microbiana do solo nas diversas camadas de solo sob cerrado e eucalipto com diferentes ciclos de cultivo (ciclos 1, 2 e 3). DMS (5 %).

4. CONCLUSÕES

O estoque de carbono orgânico total (COT) aumentou nos solos sob eucalipto com um e dois ciclos de cultivo em sucessão a pastagem em comparação com aquele que sucedeu o Cerrado. O cultivo do eucalipto após o Cerrado reduziu o estoque de nitrogênio total. Houve aumento da FAH nos solos cultivados com eucalipto.

A maior quantidade de raízes finas existentes na serapilheira do eucalipto levou a maiores quantidades de matéria orgânica leve (MOL) e maiores estoques de COT e carbono da biomassa microbiana (C-BM).

O aumento de cultivos sucessivos com eucalipto levou a maiores estoques de C-MOL e N-MOL do solo em comparação com o Cerrado.

O aumento do número de ciclos de cultivo de eucalipto aumentou os estoques de C, podendo haver flutuações em decorrência da produtividade dos povoamentos.

5. LITERATURA CITADA

- ADAMS, M. A. & ATTIWILL, P.M. Nutrient cycling and nitrogen mineralization in eucalypt forests south-eastern Australia. I. Nutrient Cycling and nitrogen turnover. *Plant Soil*, 92: 319-339, 1986.
- ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. *Soil Sci.*, 130:211-216, 1980.
- ATTIWILL, P.M. & ADAMS, M.A. Nutrient cycling in forests. *New Phyt.*, 124: 561-582, 1993.
- BATJES, N.H. Total carbon and nitrogen in soils of the world. *European J. Soil Sci.*, 47: 151-163, 1996.
- BLACK, T.A. & HARDEN, J.W. Effect of timber harvest on soil carbon storage at Blodgett Experimental Forest. *Califórnia, Can. J. Forest Res.*, 25: 1385-1396, 1995.
- BLAIR, G.J.; CHAPMAN, L.; WHITBREAD, A.M.; BALL-COELHO, B.; LARSEN, P. & TIESSEN, H. Soil carbon changes resulting from sugarcane thash management at two locations in Queensland, Australia, and in North-East Brazil. *Aust. J. Soil Res.*, 36: 873-881, 1998.

- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extrato de solo e material vegetal. R. Ceres, 21: 73-85, 1974.
- BROKKES, P.C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G. & JENKINSON, D.S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method for measuring microbial biomass nitrogen in soil. Soil Biol. Biochem., 17: 837-842, 1985.
- CARPANEZZI, A.A. Deposição de material orgânico e nutrientes em uma floresta natural e em uma plantação de eucaliptos no interior do Estado de São Paulo. Piracicaba, - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo. 1980. 115p. (Dissertação de Mestrado)
- CHEN, C.R.; XU, Z.H. & MATHERS, N.J. Soil carbon pools in adjacent natural and plantation forests of subtropical Australia. Soil Sci. Soc. Am. J., 68:282-291, 2004.
- COLEMAN, D.C.; OADES, J.M. & UEHARA, G. Introduction: soil organic matter: tropical vs temperate. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M. & UEHARA, G. . eds. Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Honolulu: NIFTAL Project, 1989, 249 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de levantamento e Conservação de solos. Rio de Janeiro. Manual de métodos de análise de solo, SNLCS, 212p. 1997.
- FERREIRA, E. A. B.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; RAMOS, M. L. G. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco profundidades de um Latossolo no cerrado sob diferentes sistemas de manejo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 9; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 7; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 4., 2002, Rio de Janeiro, 2002, 201p.
- FIRME, L.P. Cinética de degradação microbiológica de torta de filtro no solo na presença de cádmio e níquel. Piracicaba, SP. Escola Superior Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2005. 74p. (Dissertação de Mestrado)
- FUNARBE, SAEG—Sistema para análise estatística e genética 5.0. Viçosa, MG. 1993.
- GAMA-RODRIGUES, A.C. & BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dandá no sudeste da Bahia, Brasil. R. Árvore, 26: 193-207, 2002.
- GOODLAND, R. & FERRI, M.G. Ecologia do Cerrado. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 193 p. 1979.

- GUO, L.B. & GIFFORD, R.M. Soil carbon stocks and use change: a meta analysis. *Global Change Biol.*, 8:345-360, 2002.
- GUO, L.B. & SIMS, R.E.H. Eucalypt litter decomposition and nutrient release under a short rotation forest regime and effluent irrigation treatments in New Zealand: II. Internal effects. *Soil Biol. Biochem.*, 34: 913-922, 2002.
- HARIDASAN, M. Impactos de Processos Ecológicos: Estresse Nutricional. In: Alternativas de Desenvolvimento dos Cerrados: Manejo e Conservação dos Recursos Naturais. Braúlio Ferreira de Souza Dias (coordenador). Brasília, Fundação Pró-Natureza, Inst. Brasil. Do Meio Amb. e dos Rec Nat. Ren.- IBAMA, 1992. p.27-30.
- ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. *Biol. Fert. Soils*, 27:408-416, 1998.
- JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C.A.; BRANDT, S.A.; LAFOND, G.P. & TOWNLEY SMITH, L. Light fraction organic matter in soils from long term crop rotations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56: 1799-1806, 1992.
- KOLM, L. Ciclagem de nutrientes e variações do microclima em plantações de *E. grandis* Hill ex-Maiden manejadas através de desbastes progressivos. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. 2001. 73p. (Dissertação de Mestrado)
- LABRADOR MORENO, J. La matéria orgânica en los agrosistemas. Madri, Ministéria Agriculltura, 1996. 176p.
- LIMA, A.M.N.; SILVA, I.R.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; MENDONÇA, E.S.; SMYTH, T.J.; MOREIRA, M.S. & LEITE, F.P. Soil organic carbon dynamics following afforestation of degraded pastures with eucalyptus in Southeastern Brazil. *For. Ecol. Manag.*, 235: 219-231, 2006.
- MATHERS, N.J.; MENDHAM, D.S.; O'CONNELL, A.M.; GROVE, T.S.; XU, Z. & SAFFIGNA, P.G. How does residue management impact soil organic matter composition and quality under *Eucalyptus globulus* plantations in southwestern Australia? *For. Ecol. Manag.*, 179: 253-267, 2003.
- MENDHAM, D.S.; SANKARAN, K.V.; O'CONNELL, A.M. & GROVE, T.S. Eucalyptus globulus harvest residue management effects on soil carbon and microbial biomass at 1 and 5 years after plantation establishment. *Soil Biol. Biochem.*, 34:1903-1912, 2002.
- NASCIMENTO, V.M.; MELO, W.J. & NEPTUNE, A.M.L. Efeitos da rotação de culturas sobre frações da matéria orgânica de um Latossolo sob vegetação de cerrado. *Científica*, 16:13-19, 1988.

- NEUFELDT, H.; RESCK, D.V.S. & AYARZA, M. A. Texture and land-use effects on soil organic matter in Cerrado Oxisols, Central Brazil. *Geoderma*, 107: 151–164, 2002.
- O'CONNELL, A.M. & SANKARAN, K.V. Organic matter accretion, decomposition and mineralization. In: NAMBIAR, E.K.S. & BROWN, A.G. (eds). *Management of soil, nutrients and water in tropical plantations forests*. Canberra, ACIAR Austrália/CSIRO, 43:443-480, 1997.
- PIZAURO Jr., J.M. & MELO, W.J. Influência da incorporação da parte aérea de sorgo ou lablabe nas frações da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho-Escuro. *R. Bras. Ci. Solo*, 19, 95-103, 1995.
- POST, W.M. & KWON, K.C. Soil Carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global Change Biol.*, 6: 317-327, 2000.
- REIS, G.G. & REIS, M.G.F. Reflexo do cultivo mínimo no ambiente e na fisiologia da árvore. In: *Seminário sobre cultivo mínimo do solo em florestas*, Curitiba. *Anais...* Curitiba: CNP Floresta, 1: 148-162, 1995.
- 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: Folha de Viçosa, 1990. p. 265-301.
- SARIYILDIZ, T.; ANDERSON, J.M. & KUCUK, M. Effects of tree species and topography on soil chemistry, litter quality, and decomposition in Northeast Turkey. *Soil Biol. Biochem.*, 37:1695-1706, 2005.
- SCHAUVLIEGHE, M. & LUST, N. Carbon accumulation and allocation after afforestation of a pasture with pin oak (*Quercus palustris*) e ash (*Fraxinus excelsior*), *Silva Gandevensis*. 64:72-81, 1999.
- SCHLESINGER, W.H. & LICHTER, J., Limited carbon storage in soil and litter of experimental forest plots under increased atmospheric CO₂. *Nature*, 411: 466–469. 2001.
- SIKORA, L.J. & YAKOVCHENKO, V. Soil organic matter mineralization after compost amendment. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 60:1401-1404, 1996.
- SPARLING, G.P.; WEST, A.W. A direct extration method to estimate soil microbial C: calibration in situ using microbial respiration and ¹⁴C labeled cells. *Soil Biol. Biochem.*, 20: 337-343, 1988.
- STAPE, J.L.; RYAN, M.G. & BINKLEY, D. Carbon gain and allocation a *Eucalyptus* plantation: Irrigation and fertilization effects. Conference posters. In: *International Conference on Eucalypt Productivity*. Horbart, Tasmania, 2002. p.84.

- STEVENSON, F.J. Humus Chemistry: Genesis, composition and reactions. 2.ed. New York, Willey & Sons Inc., 496 p. 1994.
- SWIFT, R.S. Method for extraction of IHSS soil fulvic and humic acids. In. SPARKS, D.L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAI, M.A.; JOHNSTON, C.T. & SUMMER, M.E., ed. Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. Soil Sci. Soc. Am. Books, p.1018-1020, 1996.
- TEDESCO, H.J.; VOLKWEISS, S.J. & BOHNEN, H. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, UFRGS, 50p. (Boletim Técnico, 5), 1985.
- TIESSEN, H. & STEWART, 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 Sci.Soc. Am. J., 47:509-514, 1983.
- WAGNER, G.H., & WOLF, D.C. Carbon transformations and soil organic matter formation. In: SYLVIA, D.M., FUHRMANN, J.J., HARTEL, P.G. ZUBERER, D.A. Principles and applications of soil microbiology. New Jersey, Prentice Hall, p.218-256. 1998.
- WITSCHORECK, R.; SCHUMACHER, M.V. & CALDEIRA, M.V.W. Estimativa da biomassa e do comprimento de raízes finas em *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no município de Santa Maria – RS. R. Árvore, 27: 177-183, 2003.
- YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil: Commun. Soil Sci. Plant Anal., 19: 1467-1476, 1988.

CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados apresentados nos três artigos que compõem esta tese permitem uma melhor compreensão acerca da dinâmica da matéria orgânica em plantios de eucalipto e de pastagem em áreas anteriormente ocupadas por vegetação natural de Cerrado, bem como a qualidade da matéria orgânica nessas áreas.

O cultivo do eucalipto causou alteração no estoque de COT nas frações da matéria orgânica do solo, levando a menor estoque da fração humina (FH) e maior das frações ácido húmico (FAH) e fúlvico (FAF) em comparação com o Cerrado e pastagem.

O cultivo do eucalipto não alterou o estoque de C e N da biomassa microbiana (BM) do solo em comparação com o Cerrado e pastagem.

O cultivo de eucalipto por 20 anos em área de Cerrado provocou perda de cerca de 3 % de C-C₄ por ano.

O cultivo de eucalipto adicionou maiores quantidades de C e N pela matéria orgânica leve (MOL) o que contribui para o aumento da MOS.

De modo geral o cultivo do eucalipto levou ao aumento do estoque de C das diferentes frações de MOS em comparação com o Cerrado original.

A matéria orgânica do solo do Cerrado está em estado de humificação mais avançado do que a do eucalipto e pastagem. O ácido húmico (AH) da pastagem apresenta maior resistência a termogradação do que os das demais coberturas. Já no caso do AF o eucalipto apresentou maior resistência à termodecomposição.

O índice termogravimétrico (ITG) do AH foi maior que o do AF, indicando maior resistência à termodecomposição. O índice de hidrofobicidade (IH) do AH da pastagem foi maior (0,83) em comparação com o AH do Cerrado (0,38) e do eucalipto (0,29), indicando maior recalcitrância do AH do solo sob pastagem, ou seja, maior resistência à degradação. O ácido fúlvico (AF) da pastagem também apresentou o maior índice de hidrofobicidade (IH) (1,43) seguido do Cerrado (0,92) e do eucalipto (0,50).

O material vegetal proveniente do eucalipto apresentou maiores valores de IH em comparação com o Cerrado, o material vegetal do eucalipto apresenta maior recalcitrância do que a do Cerrado.

O AH da pastagem apresentou maior quantidade de C alifáticos; no entanto, o AF do Cerrado apresentou a maior banda de C alifático e também a maior banda de C=O de aldeídos, em comparação com a pastagem e o eucalipto.

A matéria orgânica leve (MOL) e o material vegetal apresentaram bandas similares aos AH e AF.

O estoque de carbono orgânico total (COT) aumentou nos solos sob eucalipto com um e dois ciclos de cultivo em sucessão a pastagem em comparação com aquele que sucedeu o Cerrado. O cultivo do eucalipto após o Cerrado reduziu o estoque de nitrogênio total. Houve aumento da FAH nos solos cultivados com eucalipto.

A maior quantidade de raízes finas existentes na serapilheira do eucalipto levou a maiores quantidades de matéria orgânica leve (MOL) e maiores estoques de COT e carbono da biomassa microbiana (C-BM).

O aumento de cultivos sucessivos com eucalipto levou a maiores estoques de C-MOL e N-MOL do solo em comparação com o Cerrado.

O aumento do número de ciclos de cultivo de eucalipto aumentou os estoques de C, podendo haver flutuações em decorrência da produtividade dos povoamentos.

De um modo geral, o cultivo de eucalipto em área de Cerrado na região do Vale do Jequitinhonha- MG levou a maiores estoques de C e N nas frações mais lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica do solo.

ANEXOS

Anexo 1 - Teores médios de carbono das frações AF, AH e H, em g kg⁻¹, e a relação entre eles em solos sob Cerrado, pastagem e eucalipto no Vale do Jequitinhonha

Vegetação	Profundidade (cm)	CAF	CAH	CH	CAH/CAF	CH/(CAH +CAF)	CSH/CH
					g kg ⁻¹		
Cerrado	0-10	4,41	4,56	16,96	1,03	1,89	1,53
Pastagem	0-10	4,06	6,03	17,54	1,49	1,74	1,57
Eucalipto	0-10	4,92	7,23	12,15	1,47	1,00	2,00
Cerrado	10-20	3,78	3,94	14,12	1,04	1,82	1,55
Pastagem	10-20	4,15	5,33	13,07	1,28	1,38	1,72
Eucalipto	10-20	4,47	6,19	10,79	1,39	1,01	1,99
Cerrado	20-40	3,35	2,20	10,92	0,66	1,97	1,51
Pastagem	20-40	3,56	4,10	10,78	1,16	1,40	1,71
Eucalipto	20-40	3,63	4,94	9,81	1,37	1,14	1,87
Cerrado	40-60	2,88	1,60	7,91	0,56	1,76	1,57
Pastagem	40-60	3,00	3,24	9,77	1,08	1,56	1,64
Eucalipto	40-60	3,12	4,24	7,91	1,36	1,07	1,93
Cerrado	60-100	2,34	1,23	6,76	0,53	1,89	1,53
Pastagem	60-100	2,55	2,77	6,90	1,1	1,30	1,77
Eucalipto	60-100	2,58	3,42	5,42	1,33	0,90	2,11
Cerrado	0-100	16,76	13,53	56,67	0,81	1,87	1,53
Pastagem	0-100	17,32	21,47	58,06	1,24	1,50	1,67
Eucalipto	0-100	18,72	26,02	46,08	1,40	1,03	1,97

AF: ácido fúlvico; AH: ácido húmico; FH: humina; SH: substâncias húmicas.

Anexo 2 – Teores médios de nitrogênio das frações AF, AH e H, em g kg⁻¹, e a relação entre eles em solos sob Cerrado, pastagem e eucalipto no Vale do Jequitinhonha

Vegetação	Profundidade (cm)	NAF	NAH	NH	NAH/NAF	NH/(NAH +NAF)	NSH/NH
					g kg ⁻¹		
Cerrado	0-10	0,51	0,53	1,07	1,03	1,03	1,97
Pastagem	0-10	0,42	0,54	0,96	1,30	1,00	2,00
Eucalipto	0-10	0,43	0,63	0,77	1,46	0,72	2,38
Cerrado	10-20	0,37	0,48	0,88	1,29	1,04	1,96
Pastagem	10-20	0,37	0,54	0,93	1,46	1,02	1,98
Eucalipto	10-20	0,37	0,56	0,71	1,50	0,77	2,30
Cerrado	20-40	0,34	0,39	0,66	1,14	0,91	2,09
Pastagem	20-40	0,31	0,45	0,60	1,45	0,80	2,26
Eucalipto	20-40	0,37	0,46	0,62	1,25	0,74	2,35
Cerrado	40-60	0,28	0,31	0,54	1,11	0,92	2,09
Pastagem	40-60	0,32	0,40	0,57	1,24	0,79	2,27
Eucalipto	40-60	0,31	0,40	0,60	1,30	0,85	2,18
Cerrado	60-100	0,25	0,25	0,45	1,00	0,91	2,10
Pastagem	60-100	0,28	0,31	0,42	1,11	0,71	2,41
Eucalipto	60-100	0,28	0,34	0,53	1,22	0,85	2,18
Cerrado	0-100	1,75	1,95	3,60	1,12	0,97	2,03
Pastagem	0-100	1,70	2,24	3,48	1,32	0,88	2,13
Eucalipto	0-100	1,76	2,40	3,23	1,36	0,78	2,29

AF: ácido fúlvico; AH: ácido húmico; FH: humina; SH: substâncias húmicas.

Anexo 3 - Teores médios de carbono e nitrogênio totais (COT e NT), microbiano (CBM e NBM), proporções do carbono e nitrogênio microbiano nos teores totais de carbono e nitrogênio (CBM:COT e NBM:NT), nas profundidades de 0-10; 10-20 e 20-40 cm em solos sob Cerrado, pastagem e eucalipto no Vale do Jequitinhonha

Vegetação	Profundidade	COT	CBM	NT	NBM	CBM:COT	NBM:NT
	cm	-----g kg ⁻¹ -----			-----%-----		
Cerrado	0-10	26,32	0,374	1,50	0,023	1,42	1,54
Pastagem	0-10	28,08	0,188	1,65	0,016	0,67	0,97
Eucalipto	0-10	27,71	0,184	1,27	0,020	0,67	1,55
Cerrado	10-20	23,28	0,217	1,34	0,012	0,93	0,93
Pastagem	10-20	26,21	0,228	1,48	0,010	0,87	0,67
Eucalipto	10-20	24,48	0,215	1,21	0,016	0,88	1,35
Cerrado	20-40	17,29	0,228	0,97	0,041	1,32	4,26
Pastagem	20-40	19,40	0,076	1,11	0,037	0,39	3,31
Eucalipto	20-40	20,08	0,185	0,97	0,022	0,92	2,22

BM: biomassa microbiana.

Anexo 4 - Teores médios do carbono e nitrogênio da matéria orgânica leve (CMOL e NMOL) e proporções entre carbono da matéria orgânica leve com carbono orgânico total (CMOL:COT), nitrogênio da matéria orgânica leve com nitrogênio total (NMOL:NT), nas diversas camadas de solo sob Cerrado, pastagem e eucalipto no Vale do Jequitinhonha

Vegetação	Profundidade	CMOL	NMOL	CMOL:COT	NMOL:NT
	(cm)	-----g kg ⁻¹ -----		-----%-----	
Cerrado	0-10	2,36	0,052	8,97	3,47
Pastagem	0-10	3,36	0,077	11,98	4,67
Eucalipto	0-10	4,38	0,098	15,81	7,75
Cerrado	10-20	3,11	0,072	13,38	5,42
Pastagem	10-20	2,73	0,070	10,41	4,70
Eucalipto	10-20	4,44	0,110	18,15	9,17
Cerrado	20-40	1,61	0,037	9,31	3,80
Pastagem	20-40	1,79	0,04	9,20	3,62
Eucalipto	20-40	2,51	0,04	12,52	4,59
Cerrado	40-60	1,10	0,021	8,07	2,78
Pastagem	40-60	1,00	0,021	6,30	2,63
Eucalipto	40-60	1,79	0,036	11,07	4,54
Cerrado	60-100	0,88	0,019	7,93	3,41
Pastagem	60-100	0,63	0,013	4,84	2,07
Eucalipto	60-100	1,06	0,026	7,81	4,60

MOL: matéria orgânica leve.

Anexo 5 - Quantidade e características químicas da camada L (folha, galho fino (GF) galho grosso (GG)) de vegetação do Cerrado e de *Eucalyptus urophylla* com diferentes tempos de cultivo

Cobertura vegetal	Frações da Camada L	-----g kg ⁻¹ -----							-----mg kg ⁻¹ -----		Peso t ha ⁻¹
		N	C	K	P	Mg ⁺²	Ca ⁺²	C:N	Zn	Cu	
Cerrado	Folha GF	9,3	503,6	2,31	0,43	2,5	4,8	54	8,6	3,4	2,24
	GG	7,5	489,8	2,98	0,34	1,6	4,7	65	14,4	7,7	1,10
		7,5	478,9	2,08	0,26	1,8	5,2	64	14,65	7,20	0,70
Ciclo 1	Folha	9,9 a	527,5 c	0,47 a	0,33 a	1,3 a	11,9 a	53 a	7,95 a	3,00 a	3,96 a
Ciclo 2	Folha	9,8 a	554,8 a	0,50 a	0,28 a	0,8 b	5,7 b	56 a	8,40 a	3,95 a	1,87 c
Ciclo 3	Folha	1,1 a	541,0 b	0,50 a	0,39 a	1,6 a	2,7 c	47 a	6,65 a	3,25 a	3,06 b
Ciclo 1	GF	3,4 b	481,3 b	0,23 a	0,15 a	0,5 a	4,3 a	170 a	10,70 a	1,45 b	3,58 a
Ciclo 2	GF	5,5 a	494,8 a	0,23 a	0,17 a	0,5 a	1,8 a	89 a	6,00 a	4,95 a	2,71 a
Ciclo 3	GF	3,6 b	481,4 b	0,31 a	0,10 a	0,6 a	2,3 a	140 a	3,65 a	0,50 c	2,41 a
Ciclo 1	GG	1,5 c	476,4 a	0,16 a	0,09 a	0,3 a	3,9 a	357 a	3,05 a	1,50 b	1,42 a
Ciclo 2	GG	4,5 a	478,9 a	0,13 a	0,05 a	0,3 a	1,0 b	106 b	4,10 a	2,70 a	1,33 a
Ciclo 3	GG	2,3 b	470,0 c	0,14 a	0,05 a	0,4 a	1,5 b	204 ab	1,80 a	0,00 c	1,61 a

Para a Folha, GF e GG; médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo Teste de DMS (5 %).

Anexo 6 - Quantidade e características químicas da camada F (folha, galho, raiz) de vegetação de Cerrado e de *Eucalyptus urophylla* com diferentes tempos de cultivo

Cobertura vegetal	Frações da Camada F	-----g kg ⁻¹ -----							-----mg kg ⁻¹ -----		Peso t ha ⁻¹
		N	C	K	P	Mg ⁺²	Ca ⁺²	C:N	Zn	Cu	
Ciclo 1	Folha	16,60 a	461,00 b	0,24 a	0,80 a	0,75 a	7,10 a	28 c	8,37 a	18,07 a	4,91 a
Ciclo 2	Folha	11,30 b	537,40 a	0,34 a	0,60 c	0,14 b	0,60 c	48 a	5,63 a	8,67 a	4,51 a
Ciclo 3	Folha	11,40 b	485,20 b	0,37 a	0,70 b	0,80 a	2,50 b	42 b	7,20 a	5,70 a	3,25 a
Ciclo 1	Galho	8,40 a	475,90 b	0,27 a	0,50 a	0,50 b	6,80 a	57 b	6,57 a	6,37 b	0,97 a
Ciclo 2	Galho	6,70 a	507,30 a	0,19 a	0,30 c	0,08 c	0,70 c	96 b	4,17 b	8,80 a	0,60 a
Ciclo 3	Galho	3,50 b	479,50 b	0,30 a	0,40 b	0,70 a	3,00 b	176 a	4,87 b	5,30 b	0,74 a
Ciclo 1	Raiz	14,80 a	483,70 b	0,30 a	0,80 a	0,73 a	5,80 a	33 c	8,38 a	6,23 b	0,52 a
Ciclo 2	Raiz	11,20 b	525,10 a	0,40 a	0,60 c	0,18 b	2,20 b	47 b	6,63 b	7,57 a	1,13 a
Ciclo 3	Raiz	8,70 c	498,50 b	0,30 a	0,70 b	0,79 a	2,30 c	58 a	6,37 b	6,03 b	0,29 a

Para Folha, Galho, Raiz; médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo Teste de DMS (5 %).

Anexo 7 - Teores médios de carbono das frações AF, AH e H, em g kg⁻¹, e a relação entre eles em solos sob Cerrado e eucalipto com diferentes tempos de cultivo no Vale do Jequitinhonha

Vegetação	Profundidade (cm)	CAF	CAH	CH	CAH:CAF	CH:(CAH +CAF)	CSH:CH
				-----g kg ⁻¹ -----	-----%-----		
Cerrado	0-10	4,41	4,56	16,96	1,89	1,53	1,89
Ciclo 1	0-10	3,31	6,93	14,20	1,39	1,72	1,39
Ciclo 2	0-10	6,90	9,07	20,50	1,28	1,78	1,28
Ciclo 3	0-10	6,90	6,19	17,51	1,34	1,75	1,34
Cerrado	10-20	3,78	3,94	15,52	2,01	1,50	2,01
Ciclo 1	10-20	3,08	6,19	14,75	1,59	1,63	1,59
Ciclo 2	10-20	5,90	7,66	18,15	1,34	1,75	1,34
Ciclo 3	10-20	5,90	4,87	12,41	1,15	1,87	1,15
Cerrado	20-40	3,35	2,20	10,92	1,97	1,51	1,97
Ciclo 1	20-40	2,46	6,03	11,99	1,41	1,71	1,41
Ciclo 2	20-40	4,47	5,87	12,74	1,23	1,81	1,23
Ciclo 3	20-40	2,50	4,23	8,55	1,27	1,79	1,27
Cerrado	40-60	2,88	1,60	7,91	1,77	1,57	1,77
Ciclo 1	40-60	2,26	4,62	9,79	1,42	1,70	1,42
Ciclo 2	40-60	3,63	4,94	8,72	1,02	1,98	1,02
Ciclo 3	40-60	1,79	3,59	6,75	1,25	1,80	1,25
Cerrado	60-100	2,34	1,23	6,71	1,88	1,53	1,88
Ciclo 1	60-100	1,70	4,42	7,44	1,22	1,82	1,22
Ciclo 2	60-100	2,69	3,91	5,37	0,81	2,23	0,81
Ciclo 3	60-100	1,64	2,65	4,82	1,12	1,89	1,12
Cerrado	0-100	16,76	13,53	58,07	1,92	1,52	1,92
Ciclo 1	0-100	12,80	28,19	58,17	1,42	1,70	1,42
Ciclo 2	0-100	23,60	31,46	65,48	1,19	1,84	1,19
Ciclo 3	0-100	18,74	21,53	50,04	1,24	1,80	1,24

AF: ácido fúlvico; AH: ácido húmico; FH: humina; SH: substâncias húmicas.

Anexo 8 - Médias dos teores de carbono e nitrogênio totais (COT e NT), da biomassa microbiano (C-BM e N-BM), proporções do carbono e nitrogênio microbiano nos teores totais de carbono e nitrogênio (C-BM:COT e N-BM:NT), nas profundidades de 0-10; 10-20 e 20-40 cm em solos sob cerrado e eucalipto com diferentes tempos de uso no Vale do Jequitinhonha

Vegetação	Profundidade cm	COT	C-BM	NT	N-BM	C-BM:COT	N- BM:NT
				-----g kg ⁻¹ -----	-----%-----		
Cerrado	0-10	26,32	0,374	1,50	0,023	1,42	1,53
Ciclo 1	0-10	25,50	0,486	1,45	0,034	1,91	2,34
Ciclo 2	0-10	38,75	0,392	1,85	0,023	1,01	1,24
Ciclo 3	0-10	30,18	0,161	1,30	0,003	0,53	0,23
Cerrado	10-20	23,28	0,217	1,34	0,012	0,93	0,90
Ciclo 1	10-20	25,62	0,252	1,41	0,006	0,98	0,43
Ciclo 2	10-20	32,42	0,292	1,67	0,020	0,90	1,20
Ciclo 3	10-20	22,37	0,253	1,07	0,011	1,13	1,03
Cerrado	20-40	17,29	0,228	0,97	0,041	1,32	4,23
Ciclo 1	20-40	20,63	0,447	1,16	0,022	2,17	1,90
Ciclo 2	20-40	25,12	0,409	1,33	0,085	1,63	6,39
Ciclo 3	20-40	16,48	0,142	0,88	0,002	0,86	0,23

Anexo 9 - Médias dos teores do carbono e nitrogênio da matéria orgânica leve (C-MOL e N-MOL) e proporções entre carbono da matéria orgânica leve com carbono orgânico total (C-MOL:COT), nitrogênio da matéria orgânica leve com nitrogênio total (NMOL:NT), nas diversas camadas de solo sob Cerrado e eucalipto com diferentes tempos de cultivo no Vale do Jequitinhonha

Vegetação	Profundidade	C-MOL	N-MOL	C-MOL:COT	N-MOL:NT
	-----cm-----	-----g kg ⁻¹ -----		-----%-----	
Cerrado	0-10	5,17	0,120	19,64	8,00
Ciclo 1	0-10	5,37	0,149	21,06	10,28
Ciclo 2	0-10	10,18	0,378	26,27	20,43
Ciclo 3	0-10	10,40	0,252	34,46	19,38
Cerrado	10-20	3,11	0,072	13,36	5,37
Ciclo 1	10-20	2,99	0,099	11,67	7,02
Ciclo 2	10-20	6,95	0,248	21,44	14,85
Ciclo 3	10-20	2,62	0,063	11,71	5,89
Cerrado	20-40	1,61	0,037	9,31	3,81
Ciclo 1	20-40	2,30	0,063	11,15	5,43
Ciclo 2	20-40	2,68	0,097	10,67	7,29
Ciclo 3	20-40	1,11	0,023	6,74	2,61
Cerrado	40-60	1,10	0,021	----	----
Ciclo 1	40-60	0,85	0,017	----	----
Ciclo 2	40-60	1,64	0,054	----	----
Ciclo 3	40-60	1,17	0,027	----	----
Cerrado	60-100	0,88	0,019	----	----
Ciclo 1	60-100	0,68	0,012	----	----
Ciclo 2	60-100	1,02	0,033	----	----
Ciclo 3	60-100	0,60	0,010	----	----

MOL: matéria orgânica leve.

Anexo 10 - Média dos teores de nitrogênio das frações AF, AH e H, em g kg⁻¹, e a relação entre eles em solos sob Cerrado e eucalipto com diferentes tempos de cultivo no Vale do Jequitinhonha

Vegetação	Profundidade (cm)	NAF	NAH	NH	NAH:NAF	NH:(NAH +NAF)	NSH:NH
				g kg ⁻¹	%		
Cerrado	0-10	0,51	0,52	1,06	1,02	1,03	1,97
Ciclo 1	0-10	0,34	0,32	0,83	0,94	1,26	1,80
Ciclo 2	0-10	0,49	0,82	1,10	1,67	0,84	2,19
Ciclo 3	0-10	0,23	0,40	0,77	1,74	1,22	1,82
Cerrado	10-20	0,37	0,48	0,88	1,30	1,04	1,97
Ciclo 1	10-20	0,30	0,38	0,74	1,27	1,09	1,92
Ciclo 2	10-20	0,43	0,71	1,03	1,65	0,90	2,11
Ciclo 3	10-20	0,20	0,34	0,69	1,70	1,28	1,78
Cerrado	20-40	0,34	0,39	0,66	1,15	0,90	2,11
Ciclo 1	20-40	0,30	0,34	0,63	1,13	0,98	2,02
Ciclo 2	20-40	0,37	0,52	0,90	1,41	1,01	1,99
Ciclo 3	20-40	0,18	0,26	0,54	1,44	1,23	1,81
Cerrado	40-60	0,28	0,31	0,54	1,11	0,92	2,09
Ciclo 1	40-60	0,22	0,25	0,65	1,14	1,38	1,72
Ciclo 2	40-60	0,32	0,51	0,57	1,59	0,69	2,46
Ciclo 3	40-60	0,18	0,22	0,43	1,22	1,08	1,93
Cerrado	60-100	0,25	0,25	0,45	1,00	0,90	2,11
Ciclo 1	60-100	0,25	0,22	0,42	0,88	0,89	2,12
Ciclo 2	60-100	0,26	0,43	0,60	1,65	0,87	2,15
Ciclo 3	60-100	0,14	0,20	0,35	1,43	1,03	1,97
Cerrado	0-100	1,75	1,95	3,59	1,11	0,97	2,03
Ciclo 1	0-100	1,41	1,51	3,27	1,07	1,12	1,89
Ciclo 2	0-100	1,87	2,99	4,20	1,60	0,86	2,16
Ciclo 3	0-100	0,93	1,42	2,78	1,53	1,18	1,85

AF: ácido fúlvico; AH: ácido húmico; FH: humina; SH: substâncias húmicas.

Anexo 11 – Análise de variância dos teores e estoques de C das diferentes frações da matéria orgânica em solos nas diferentes coberturas vegetais (Cerrado, pastagem e eucalipto)

FV	GL	QM								
		Estoque	Teor	Estoque FAF	Teor FAF	Estoque FAH	Teor FAH	Estoque FH	Teor FH	Estoque MOL
Bloco	3	4,33	2,46	0,27	0,17	2,69	1,24	5,9	1,08	2,83
Tratamento (T)	2	94,99	30,78	1,46	0,81	88,27	31,99	62,47	36,07	13,42
Resíduo (a)	6	9,86	5,89	0,12	0,05	1,9	0,99	21,22	5,83	4,10
Profundidade (P)	4	734,7	465,71	39,61	7,81	23,94	25,21	150,21	171,38	13,37
T x P	8	9,2*	1,19	0,14	0,16	37,49	0,097	4,99	5,44	3,15
T/P = 0-10	2	2,48 ^{ns}	3,44 ^{ns}	0,54*	0,75**	5,15**	7,12**	25,3*	34,9**	22,45*
T/P = 10-20	2	7,13 ^{ns}	8,62*	0,4 ^o	0,49**	4,29**	5,19**	11,63 ^{ns}	14,06 ^{ns}	1,21 ^{ns}
T/P = 20-40	2	26,79**	8,5*	0,27 ^{ns}	0,08**	24,97**	7,92**	4,64 ^{ns}	1,47 ^{ns}	1,27 ^{ns}
T/P = 40-60	2	22,04*	7,97*	0,15 ^{ns}	0,06 ^{ns}	19,54**	7,07**	12,86 ^{ns}	4,66 ^{ns}	0,91 ^{ns}
T/P = 60-100	2	73,35**	7,0*	0,68**	0,06 ^{ns}	53,06**	5,06**	28,02**	2,67 ^{ns}	0,18 ^{ns}
Resíduo (b)	36	2,48	2,75	0,13	0,06	0,54	0,38	6,38	1,98	2,23
CV (%)		5,53	8,4	6,75	7,04	12,53	15,08	15,93	12,81	61,33

ns, o, *, **, *** - não significativo, significativo a p<10, 5, 1 e 0,1%, respectivamente; FAF: fração ácidos fúlvicos; FAH: fração ácidos húmicos; FH: fração huminas; MOL: matéria orgânica leve.

Anexo 12 – Análise de variância dos teores e estoques de N das diferentes frações da matéria orgânica em solos nas diferentes coberturas vegetais (Cerrado, pastagem e eucalipto)

FV	GL	QM								
		Estoque	Teor	Estoque FAF	Teor FAF	Estoque FAH	Teor FAH	Estoque FH	Teor FH	Estoque MOL
Bloco	3	0,009	0,009	0,083	0,003	0,026	0,009	0,1	0,05	0,002
Tratamento (T)	2	0,21	0,15	0,04	0,001	0,12	0,04	0,009	0,028	0,006
Resíduo (a)	6	0,03	0,06	0,01	0,0026	0,014	0,008	0,04	0,01	0,002
Profundidade (P)	4	1,21	1,67	0,52	0,06	0,52	0,14	1,09	0,45	0,01
T x P	8	0,02	0,03	0,009	0,004	0,01	0,001	0,06	0,03	0,002
T/P = 0-10	2	0,11*	0,15*	0,007 ^{ns}	0,009*	0,01 ^{ns}	0,014*	0,06*	0,09*	0,013*
T/P = 10-20	2	0,06 ^{ns}	0,08*	0 ^{ns}	0 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,007 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,05*	0,001 ^{ns}
T/P = 20-40	2	0,07*	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,004 ^{ns}	0,021*	0,007 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,004 ^{ns}	0,0001 ^{ns}
T/P = 40-60	2	0,002 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,006 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,03*	0,01*	0,01*	0,004 ^{ns}	0,004 ^{ns}
T/P = 60-100	2	0,06 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,09*	0,009*	0,13*	0,012 ^{ns}	0,0002 ^{ns}
Resíduo (b)	36	0,02	0,01	0,007	0,0019	0,005	0,003	0,036	0,01	0,0014
CV (%)		9,75	10,29	15,03	12,55	10,73	11,74	18,53	14,71	68,28

ns, o, *, **, *** - não significativo, significativo a p<10, 5, 1 e 0,1%, respectivamente; FAF: fração ácidos fúlvicos; FAH: fração ácidos húmicos; FH: fração huminas; MOL: matéria orgânica leve.

Anexo 13 – Análise de variância dos teores e estoques de C das diferentes frações da matéria orgânica em solos de Cerrado e sob plantio de eucalipto com diferentes tempos de cultivo

FV	GL	QM							
		Estoque	Teor	Estoque FAF	Teor FAF	Estoque FAH	Teor FAH	Estoque FH	Teor FH
Bloco	3	20,44	11,64	0,15	0,11	3,66	1,79	17,48	7,43
Tratamento (T)	3	493,71	249,63	32,32	14,39	134,51	50,26	69,14	31,86
Resíduo (a)	9	11,65	7,18	0,53	0,16	1,04	0,56	19,05	7,54
Profundidade (P)	4	885,01	850,41	30,34	13,49	61,94	34,5	151,25	347,62
T x P	12	22,65	20,97	0,91	0,36	8,59	1,05	22,6	10,77
T/P = 0-10	3	106,22*	146,87**	3,27*	4,52*	10,14*	14,02*	19,29*	26,67*
T/P = 10-20	3	68,25*	82,5*	3,44*	4,16*	8,7*	10,52*	18,58 ^{ns}	22,46*
T/P = 20-40	3	194,67*	61,75*	11,28*	3,58*	40,14*	12,73*	42,12 ^{ns}	13,36*
T/P = 40-60	3	493,71*	249,63*	32,32*	14,39*	134,52*	50,26*	69,14*	31,86*
T/P = 60-100	3	133,1*	12,7*	10,99*	1,05*	84,83*	8,1	61,36*	5,86 ^{ns}
Resíduo (b)	48	4,4	4,07	0,32	0,1	0,96	0,48	6,87	3,27
CV (%)		6,96	9,71	11,86	9,56	14,02	14,59	16,04	15,6

ns, o, *, **, *** - não significativo, significativo a p<10, 5, 1 e 0,1%, respectivamente; FAF: fração ácidos fúlvicos; FAH: fração ácidos húmicos; FH: fração huminas; MOL: matéria orgânica leve.

Anexo 14 – Análise de variância dos teores e estoques de N das diferentes frações da matéria orgânica em solos de Cerrado e sob plantio de eucalipto com diferentes tempos de cultivo

FV	GL	QM							
		N estoque	N teor	N AF estoque	N AF teor	N AH estoque	N AH teor	N H estoque	N H teor
Bloco	3	0,23	0,034	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,001
Tratamento (T)	3	1,38	0,63	0,3	0,14	0,84	0,42	0,69	0,28
Resíduo (a)	9	0,22	0,01	0,02	0,01	0,01	0,007	0,05	0,02
Profundidade (P)	4	8,08	2,4	0,48	0,07	0,6	0,17	1,48	0,64
T x P	12	0,05	0,02	0,01*	0,006	0,03	0,01	0,76	0,02
T/P = 0-10	3	0,16*	0,22*	0,05*	0,07*	0,99*	0,19*	0,08 ^{ns}	0,11*
T/P = 10-20	3	1,38*	0,63*	0,3*	0,14*	0,84*	0,42*	0,69*	0,28*
T/P = 20-40	3	0,5*	0,16*	0,08*	0,03*	0,14*	0,05*	0,29*	0,091*
T/P = 40-60	3	0,15*	0,05*	0,04*	0,01*	0,18*	0,07*	0,09 ^{ns}	0,03 ^{ns}
T/P = 60-100	3	1,38*	0,63*	0,3*	0,14*	0,84*	0,42*	0,69*	0,28*
Resíduo (b)	48	0,02	0,01	0,006	0,003	0,006	0,004	0,04	0,014
CV (%)		8,26	8,92	17,07	17,33	12,33	16,45	20,34	16,83

ns, o, *, **, *** - não significativo, significativo a p<10, 5, 1 e 0,1%, respectivamente; FAF: fração ácidos fúlvicos; FAH: fração ácidos húmicos; FH: fração huminas; MOL: matéria orgânica leve.