

## ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO EM ARGISSOLO SUBMETIDO AO MONOCULTIVO DE *Eucalyptus urograndis* E EM ROTAÇÃO COM *Acacia mangium*

CARBON AND NITROGEN STOCKS IN THE ALFISOL SUBMITTED TO THE *Eucalyptus urograndis* MONOCULTURE AND *Acacia mangium* ROTATION

Rodinei Facco Pegoraro<sup>1</sup> Ivo Ribeiro da Silva<sup>2</sup> Roberto Ferreira de Novais<sup>3</sup> Nairam Felix de Barros<sup>4</sup>  
Reinaldo Bertola Cantarutti<sup>5</sup> Sebastião Fonseca<sup>6</sup>

### RESUMO

A busca de sistemas sustentáveis de manejo do solo tem levado pesquisadores a desenvolverem novas técnicas de cultivo. Dentre elas, destacam-se no Brasil estudos realizados com espécies florestais capazes de fixar N<sub>2</sub> atmosférico e aumentar o estoque de C e N em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica do solo (MOS). O presente estudo teve por objetivo avaliar as alterações nos estoques de C e N em frações das substâncias húmicas, da fração leve da MOS e da matéria microbiana em solos cultivados com *Eucalyptus urograndis* em rotação curta, eucalipto em rotação longa e povoamentos de *Acacia mangium* que sucederam plantios de eucalipto em rotação curta, tendo como referência o solo de floresta nativa (Mata Atlântica) adjacente. Foram quantificados os estoques de C orgânico total e N total (COT e NT), nas frações das substâncias húmicas (fração ácido fúlvico-AF, fração ácido húmico-AH e fração húmica-H), C e N da fração leve da MOS (C-MOL e N-MOL) e estoque de C e N da matéria microbiana (C-BM e N-BM). Os resultados indicaram que o cultivo do eucalipto em rotação curta apresentou menores estoques de COT e NT, nas frações das substâncias húmicas e, de N na matéria microbiana em comparação ao solo sob rotação com *Acacia mangium*. O cultivo de *Acacia mangium* e o aumento do tempo da rotação do eucalipto incrementaram os estoques de C e N da maioria das frações lábeis (C-MOL, N-MOL e C-BM) e estáveis (C e N nas substâncias húmicas), indicando tendência de recuperação dos seus estoques para valores próximos daqueles originais (mata nativa), sendo superiores aos estoques obtidos na área de eucalipto em rotação curta.

**Palavras-chave:** matéria orgânica; substâncias húmicas; fração leve; matéria microbiana.

### ABSTRACT

The pursuit of sustainable systems of soil management has led researchers to develop new techniques of cultivation. Among them, studies with forest species able to fix atmospheric N<sub>2</sub> and increase C and N stocks

- 1 Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor do Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Montes Claros, Av. Reinaldo Viana, Bico da Pedra, s/n, CEP 39440-000, Janaúba (MG), Brasil. Bolsista da FAPEMIG. rodinei.pegoraro@unimontes.br
- 2 Engenheiro Agrônomo, PhD., Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa. Av. Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário, CEP 36570-000, Viçosa (MG), Brasil. Bolsista do CNPq. ivosilva@ufv.br
- 3 Engenheiro Agrônomo, PhD., Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Av. Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário, CEP: 36570-000, Viçosa (MG), Brasil. Bolsista do CNPq. rfnovais@ufv.br
- 4 Engenheiro Florestal, PhD., Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Av. Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário, CEP 36570-000, Viçosa (MG), Brasil. Bolsista do CNPq. nfbarrros@ufv.br
- 5 Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Av. Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário, CEP 36570-000, Viçosa (MG), Brasil. Bolsista do CNPq. cantarutti@solos.ufv.br
- 6 Engenheiro Florestal, Msc., Pesquisador da Fibria Celulose S.A., Caixa Postal 331011, CEP 29197-000, Aracruz (ES), Brasil. sf@fibria.com.br

Recebido para publicação em 21/05/2010 e aceito em 2/05/2013

in labile and stable soil organic matter (SOM) stand out in Brazil. The study aimed to evaluate changes in stocks of C and N in fractions of humic substances, light fraction of SOM and microbial biomass in soils of short-rotation *Eucalyptus "urograndis"*, long rotation plantations and stands of *Acacia mangium* which succeeded short rotation eucalyptus monoculture, in comparison to the soil of native forest (Atlantic Forest). It was obtained the total organic carbon (TOC) and total nitrogen (TN) stocks, C and N stocks in the fractions of humic substances (fulvic acid fraction-AF, humic acid fraction-HA and humin fraction-H), C and N in light fraction of SOM (C-LOM and N-LOM) and C and N microbial biomass (C-MB and N-MB). The results indicated that the short rotation eucalyptus cultivation reduced total organic carbon stocks, total nitrogen, C and N in the humic substances, and N storage in the microbial biomass compared to *Acacia mangium* soil. The cultivation of *Acacia mangium* and the increase of the eucalyptus rotation time increased stocks of C and N of the labile (C-LOM, N-LOM and C-MB) and stable fractions (C and N in humic substances) indicating a significant recovery of their stocks to levels approaching those original (native), and higher than stocks obtained in the soil of short rotation eucalypt.

**Keywords:** organic matter; humic substances; light fraction; microbial biomass.

## INTRODUÇÃO

O manejo sustentável do solo em cultivos florestais tem sido preocupação constante de empresas, produtores e pesquisadores brasileiros, especialmente em cultivos extensivos de eucalipto, devido à intensificação das práticas culturais e encurtamento do tempo das rotações. O aumento da produtividade florestal em decorrência da utilização de materiais genéticos superiores, práticas silviculturais mais refinadas e a redução do tempo de cultivo favorecem a maior exportação de nutrientes pela madeira (BARROS e COMERFORD, 2002) e, possivelmente, o empobrecimento do solo se estes não forem adequadamente repostos. Além da perda de nutrientes, podem ocorrer reduções no conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS) (LEITE, 2001), em especial de frações mais lábeis (LIMA et al., 2006).

O impacto negativo do monocultivo florestal nos estoques originais de carbono e nitrogênio do solo pode ser minimizado pela adoção de técnicas de cultivo consideradas conservacionistas. Dentre elas, destacam-se a adoção do cultivo mínimo e a manutenção de resíduos da colheita na área de cultivo, pois contribuem positivamente para a manutenção da MOS, a qual esta intimamente ligada com a qualidade do solo e produtividade do eucalipto (MENEZES, 2005).

O N é considerado elemento essencial na síntese de substâncias húmicas (STEVENSON, 1994) e evidências sugerem que ele tem importante papel na humificação e formação de compostos orgânicos estáveis no solo (NEFF et al., 2002;

PEGORARO et al., 2010). A rotação de culturas com plantas leguminosas, fixadoras de N<sub>2</sub> atmosférico, contribui significativamente para o incremento de N e, concomitantemente, a estabilização do C na MOS (DIEKOW et al., 2005; AMADO et al., 2006) e ao aumento do estoque de C orgânico nas frações das substâncias húmicas (ácido fúlvico, ácido húmico e húmica) (SCHIAVO et al., 2009). Neste sentido, o plantio de leguminosas arbóreas como alternativa de renda ao produtor em rotação com o cultivo eucalipto ou em cultivo misto, tem possibilitado melhorias na qualidade do solo por incrementar a serapilheira (FORRESTER et al., 2006) e os teores totais de C e N (GARAY et al., 2003).

A alta capacidade de fixação de N<sub>2</sub> atmosférico - da ordem de 120 a 141 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para *Acacia mangium* e *Acacia auriculiformis*, respectivamente, (REVERSAT, 1996) e mais de 200 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para *Acacia mearnsii* (AUER e SILVA, 1992), vinculados à deposição de serapilheira, na superfície do solo (GARAY et al., 2003) têm possibilitado o incremento dos teores de C e N no solo (REVERSAT, 1996; VEZZANI et al., 2001; TRAORÉ et al., 2007). A *Acacia mangium* é uma espécie arbórea de rápido crescimento cultivada em monocultivo ou em plantios mistos com eucalipto. De maneira similar aos cultivos anuais com rotação com leguminosas fixadoras de N<sub>2</sub>, essa espécie pode apresentar potencial de recuperação dos estoques e qualidade da MOS quando cultivada em rotação com o eucalipto. As melhorias na qualidade do solo, certamente beneficiariam a produtividade do eucalipto em rotações futuras. Apesar de sua promissora aplicação, pouco se sabe dos efeitos do

cultivo da *Acacia mangium* no C e N das diferentes frações da MOS em solos previamente cultivados com eucalipto.

Neste sentido, o presente estudo teve o objetivo de avaliar as alterações nos estoques de C e N totais, em frações das substâncias húmicas, na fração leve da MOS e na matéria microbiana em solos de eucalipto de rotação curta, eucalipto de rotação longa e povoamentos de *Acacia mangium* que sucederam monocultivos de eucalipto de curta rotação, tendo como referência o solo de floresta nativa (Mata Atlântica) adjacente.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em povoamentos de *Eucalyptus urograndis* (clone do *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake x *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Spreng) de longa rotação (24 anos-E24), *Eucalyptus urograndis* em curta rotação (sete anos-E7) provenientes de mudas clonadas, já na quarta rotação, e *Acacia mangium* com 14 anos em rotação com o eucalipto. Uma área adjacente de mata nativa (Mata Atlântica-MN) foi amostrada como referência e, classificada, segundo IBGE (2004), como Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas. Florestas desta região são caracterizadas por uma vegetação com altura média de árvores acima de 30 m, e espaçadas, o sub-bosque é pouco denso e com poucas epífitas (IBGE, 2004). Essas vegetações estão localizadas em uma microbacia típica da região litorânea do Estado do Espírito Santo, localizada a 19°48' S e 40°17' W, com altitude

média de 50 m acima do nível do mar.

O solo foi caracterizado como Argissolo Amarelo, fase Floresta Tropical subperenifólia, textura média a argilosa, derivado do grupo Barreiras (EMBRAPA, 2006). O clima da região é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen (OMETTO, 1981) com verões chuvosos e invernos secos, com temperatura e precipitação média anual de 23°C e 1400 mm ano<sup>-1</sup>, respectivamente.

Previamente ao plantio, o solo foi preparado mediante gradagem (*bedding*), coveado e adubado com 100 g cova<sup>-1</sup> do formulado NPK 6-30-6. O plantio das mudas de eucalipto foi realizado manualmente em 1980 (E24) e 1996 (E7), com plantas clonais de híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (“*urograndis*”), cultivados em sistema de reforma e, espaçamento entre plantas de 3 m x 3 m. O talhão de E24 foi desbastado ao longo dos anos até chegar ao espaçamento de 9 x 9 m, no ano de 1996. No povoamento há um sub-bosque que é controlado frequentemente por meio de roçada manual, uma vez por ano, no período do verão. Após 90 dias do plantio, os clones receberam 350 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato natural e, no final do primeiro ano, mais 160 kg ha<sup>-1</sup> do formulado NPK 6-30-6. O plantio das mudas de *Acacia mangium* foi realizado como rotação ao cultivo de *Eucalyptus urograndis* no ano de 1987, após a área ter sido cultivada com eucalipto por duas rotações (14 anos), com manejo de adubação semelhante ao adotado para o monocultivo de eucalipto.

Nas áreas de eucalipto e acácia foram selecionados talhões de aproximadamente 10 ha

TABELA 1: Características químicas e físicas de amostras de solo coletadas nas áreas de mata nativa (MN), monocultivo de eucalipto de longa rotação (E24), *Acacia mangium* (A) e monocultivo de eucalipto em rotação curta (E).

TABLE 1: Chemical and physical properties of soil samples collected in areas of native forest (MN), monoculture eucalyptus long-rotation (E24), *Acacia mangium* (A) and eucalyptus short rotation monoculture (E).

| Cultura | <sup>1</sup> pH | <sup>2</sup> Ca <sup>2+</sup>                 | <sup>2</sup> Mg <sup>2+</sup> | <sup>3</sup> H+Al | <sup>4</sup> P             | <sup>4</sup> K | A.grossa    | A.fina | Silte | Argila              | Dens. |
|---------|-----------------|---|-------------------------------|-------------------|----------------------------|----------------|-------------|--------|-------|---------------------|-------|
|         |                 | -----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |                               |                   | ---mg dm <sup>-3</sup> --- |                | -----%----- |        |       | kg dm <sup>-3</sup> |       |
| MN      | 4,40            | 0,52  | 0,31                          | 0,89              | 3,40                       | 32             | 57          | 15     | 5     | 23                  | 1,40  |
| E24     | 4,80            | 0,84  | 0,36                          | 0,68              | 2,30                       | 21             | 53          | 16     | 4     | 27                  | 1,40  |
| A       | 4,50            | 1,07  | 0,29                          | 0,58              | 5,70                       | 35             | 51          | 16     | 5     | 28                  | 1,40  |
| E       | 4,70            | 0,98  | 0,19                          | 2,90              | 4,20                       | 19             | 53          | 19     | 3     | 25                  | 1,50  |

Em que: <sup>1</sup>pH em H<sub>2</sub>O, <sup>2</sup>extrator: KCl – 1 mol L<sup>-1</sup>, <sup>3</sup>extrator: acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> – pH 7,0; <sup>4</sup>extrator: Mehlich 1.

e, coletadas em área total, amostras compostas das profundidades de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 e 60-100 cm. Em cada talhão foram abertas trincheiras de 1,2 m de profundidade, manualmente, e em cada profundidade foram coletadas amostras indeformadas com anéis volumétricos (50 cm<sup>3</sup>) para se estimar a densidade do solo. Depois de coletadas, as amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas, passadas em peneira com malha de 2 mm, obtendo-se assim a terra fina seca ao ar (TFSA). O material foi homogeneizado e, fracionado como subamostra contendo, aproximadamente, 200 g de solo para caracterização física e química (Tabela 1).

A serapilheira foi quantificada no momento da coleta das amostras de solo, da seguinte forma: dentro de cada área dos tratamentos selecionados foram coletados quatro pontos aleatoriamente, em cada parcela, utilizando-se um gabarito com 0,25 m<sup>2</sup> de área (0,5 x 0,5 m). Nas áreas de eucalipto de curta rotação e de acácia, a coleta foi feita imediatamente após a colheita das árvores, ao final da rotação. Após a coleta, as amostras de serapilheira foram secas em estufa (65°C por 72 h) para determinação da massa seca, obtendo-se as seguintes médias: MN = 25,55 Mg ha<sup>-1</sup>; E24 = 46,24 Mg ha<sup>-1</sup>; A = 74,52 Mg ha<sup>-1</sup> e E7 = 94,93 Mg ha<sup>-1</sup>.

Em todas as amostras de solo coletadas foram efetuadas análises de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), C e N das frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas, de acordo com método descrito pela International Humic Substances Society. Também foram feitas determinações do C e N da matéria orgânica leve (Fração leve), C da matéria microbiana (C-BM) e N da matéria microbiana (N-BM).

#### **Determinação do carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) do solo**

Para a determinação do COT e NT, as amostras de solo foram trituradas e passadas em peneira de 100 *mesh* (0,149 mm). O COT foi determinado pelo método de oxidação via úmida, com aquecimento externo (YEOMANS e BREMNER, 1988). O NT foi determinado por destilação após digestão sulfúrica (BATAGLIA et al., 1983).

#### **Fracionamento de substâncias húmicas**

O fracionamento de substâncias húmicas foi realizado segundo o método sugerido pela

International Humic Substances Society (SWIFT, 1996). Deste fracionamento obtiveram-se as frações ácidos fúlvicos (FAF), ácidos húmicos (FAH) e huminas (FH). Do somatório de todas essas frações húmicas foram obtidas as substâncias húmicas (SH). A determinação de C e N em cada fração húmica foi realizada pelo método de oxidação via úmida, com aquecimento externo (YEOMANS e BREMNER, 1988) e por destilação após digestão sulfúrica (BATAGLIA et al., 1983), respectivamente.

#### **Separação da matéria orgânica leve (MOL) e quantificação do carbono (C-MOL) e nitrogênio (N-MOL)**

A separação da MOL consistiu em homogeneizar manualmente 13 g de amostra de solo seco e peneirado (2 mm), provenientes das diferentes profundidades, com 30 mL de iodeto de sódio (densidade 1,8 kg L<sup>-1</sup>) em tubo de centrífuga de 50 mL. Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 2400 g por 15 min, e o material orgânico sobrenadante foi coletado em peneira de 100 *mesh*, o qual constituiu a fração da matéria orgânica leve (MOL). Os teores de C e N na fração leve foram determinados por combustão via seca em analisador elementar CHNS (Perkin Elmer).

#### **Determinação do carbono e nitrogênio da matéria microbiana do solo**

Amostras de solo foram pesadas e acondicionadas em copos plásticos com tampas perfuradas e incubadas com umidade a 60% da capacidade de campo (-33 kPa) em ambiente controlado sob temperatura de 20°C por 10 dias, para permitir o restabelecimento da comunidade microbiana. Após o término do período de incubação, procedeu-se a determinação do C da matéria microbiana (C-BM) pelo método da irradiação e extração (ISLAM e WEIL, 1998) e, do N da BM (N-BM) por destilação após digestão sulfúrica (BATAGLIA et al., 1983).

Os estoques de C e N no solo foram estimados por meio da seguinte equação:

$$C = COT \times D_s \times E$$

Em que: C = estoque de C orgânico ou de N na camada de solo (Mg ha<sup>-1</sup>); COT = teor de C orgânico total ou de N total na camada de solo (dag kg<sup>-1</sup>); D<sub>s</sub> = densidade do solo na camada de solo

(Mg m<sup>-3</sup>); E = espessura da camada amostrada (cm).

Para o estoque de C orgânico total foi realizada a correção da densidade do solo entre cada comparação de tratamentos, segundo Sisti et al. (2004), utilizando-se o tratamento com menor densidade do solo (mata nativa) como condição padrão.

O delineamento adotado foi o de blocos casualizados com três repetições, constituídas por três distintos talhões. Os resultados foram analisados no programa estatístico SAEG 5.0 (FUNARBE, 1993). O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizados, sendo os usos do solo alocados na parcela principal e as profundidades nas subparcelas. O teste de médias adotado foi o LSD de Fischer ( $P < 5\%$ ) protegido (STEEL et al., 1997), ou seja, foram realizadas comparações múltiplas apenas quando o teste de F da análise de variância foi significativo ( $p < 5\%$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Estoques de carbono e nitrogênio total e nas frações das substâncias húmicas

A rotação de acácia após o cultivo do eucalipto incrementou os estoques de COT e NT na camada de 0-100 cm de profundidade em comparação ao solo de eucalipto em curta (E7) e longa rotação (E24), não diferindo do solo da mata nativa (Figuras 1 e 2). Nessa mesma camada, os estoques de N nas frações humina e substâncias húmicas do solo cultivado com acácia foram iguais àqueles da mata nativa. Entretanto, os estoques de C, até um metro de profundidade (camada de 0-100 cm) e nas camadas superficiais do solo (até 40 cm), nas substâncias húmicas e humina seguiram a sequência: mata nativa > acácia = eucalipto de longa rotação > eucalipto de curta rotação. A exceção, das camadas de 0-10 cm, onde o estoque de C na humina foi maior no cultivo de acácia em comparação ao eucalipto em longa rotação e, na camada de 20-40, onde o estoque de C nas substâncias húmicas foi maior no solo cultivado com eucalipto em longa rotação, quando comparação àquele de acácia (Figura 1).

Na área com eucalipto em longa rotação verificou-se maior estoque de N na fração ácidos húmicos, e de C e N na fração huminas, resultando em maior estoque nas substâncias húmicas, COT e NT do solo em comparação àqueles da área com eucalipto em curta rotação (Figura 1). A

redução na taxa de mineralização da MOS pelo não revolvimento e exposição do solo pelas atividades da colheita e preparo do sítio para nova rotação na área de eucalipto em longa rotação pode ter contribuído para tal efeito. Adicionalmente, a presença de sub-bosque pode ter beneficiado a MOS pelo aporte de C via resíduos de qualidade distinta daquela dos resíduos de eucalipto e manutenção de ambiente mais favorável à preservação da MOS. Em povoamentos de *Pinus* com manutenção de sub-bosque verificou-se efeito positivo na manutenção da MOS (SHAN et al., 2001).

O estoque de C nas substâncias húmicas foi maior na mata nativa em comparação à acácia (Figura 1), que, por sua vez, foi igual ao estoque de C no solo de eucalipto de longa rotação, e superior ao estoque obtido no eucalipto de ciclo curto, principalmente nas camadas superficiais do solo (0-10 cm e 20-40 cm), refletindo em maior estoque na camada de 0-100 cm. Os maiores estoques de C nas SH refletiram nos maiores estoques de COT (Figura 1). As diferenças observadas entre tratamentos se devem, principalmente, a maior variação de estoques de C na fração humina. Esta fração é composta por complexos argilo-orgânicos mais estáveis, em que a MOS é estabilizada por interações organometálicas com óxidos de Fe e Al e caulinita (BAYER et al., 2006; SILVA e MENDONÇA, 2007). Isso provavelmente foi favorecido pelo longo período (mais que 16 anos) em que os distintos usos do solo vêm sendo adotados.

Os estoques de N nas substâncias húmicas apresentou padrão distinto quando comparado aos observados para o C, pois os estoques de NT e N das substâncias húmicas (na maioria das camadas até 100 cm de profundidade) foram iguais aos observados na área de mata nativa e acácia, previamente ocupado com eucalipto por 14 anos. Esses estoques na área de acácia foram superiores àqueles sob cultivo de eucalipto em curta rotação, indicando que a acácia foi capaz de recuperar os estoques de N total e das substâncias húmicas para estoques equivalentes àqueles da mata nativa e bem superiores àqueles da área de povoamentos de eucalipto em curta e longa rotação (Figura 2). A recuperação dos estoques de N na área cultivada com acácia ocorreu principalmente na fração ácidos húmicos nas camadas até 20 cm de profundidade, enquanto nas camadas mais profundas (de 20-100 cm), a recuperação foi proporcionalmente maior para a fração humina. Provavelmente, o maior estoque de N nos ácidos húmicos nas

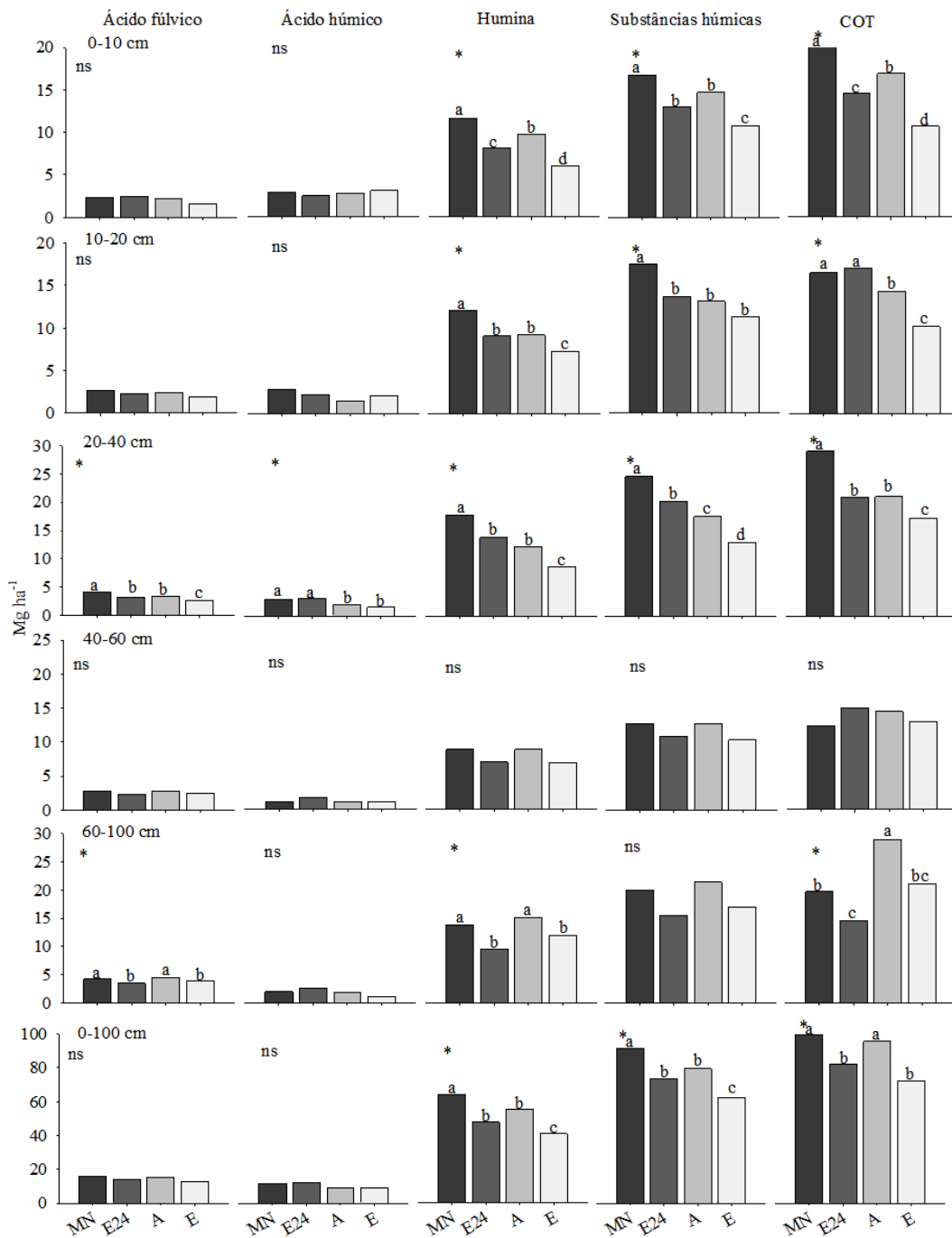


FIGURA 1: Estoques de C orgânico total (COT) e nas frações das substâncias húmicas (ácidos fúlvicos, húmicos e huminas) nas camadas de 0-10; 10-20; 20-40; 40-60; 60-100 e 0-100 cm de profundidade em solos de mata nativa (MN), eucalipto de longa rotação (E24), *Acacia mangium* (A) e eucalipto de curta rotação (E7). Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si a 5% de significância pelo teste LSD. ns, \*: indicam diferença não significativa e significativa a 5%, respectivamente.

FIGURE 1: Total organic carbon stocks (TOC), in humic substance fractions (fulvic acids, humic and humin) and total (humic substances) in layers of 0-10; 10-20; 20-40; 40-60; 60-100 e 0-100 cm of depth in native forest soil (MN), eucalyptus long-rotation (E24), *Acacia mangium* (A) and eucalyptus short rotation (E7). Means followed by the same small letter do not differ at 5% by LSD test. ns, \*: indicate not significant and significant difference at 5%, respectively.

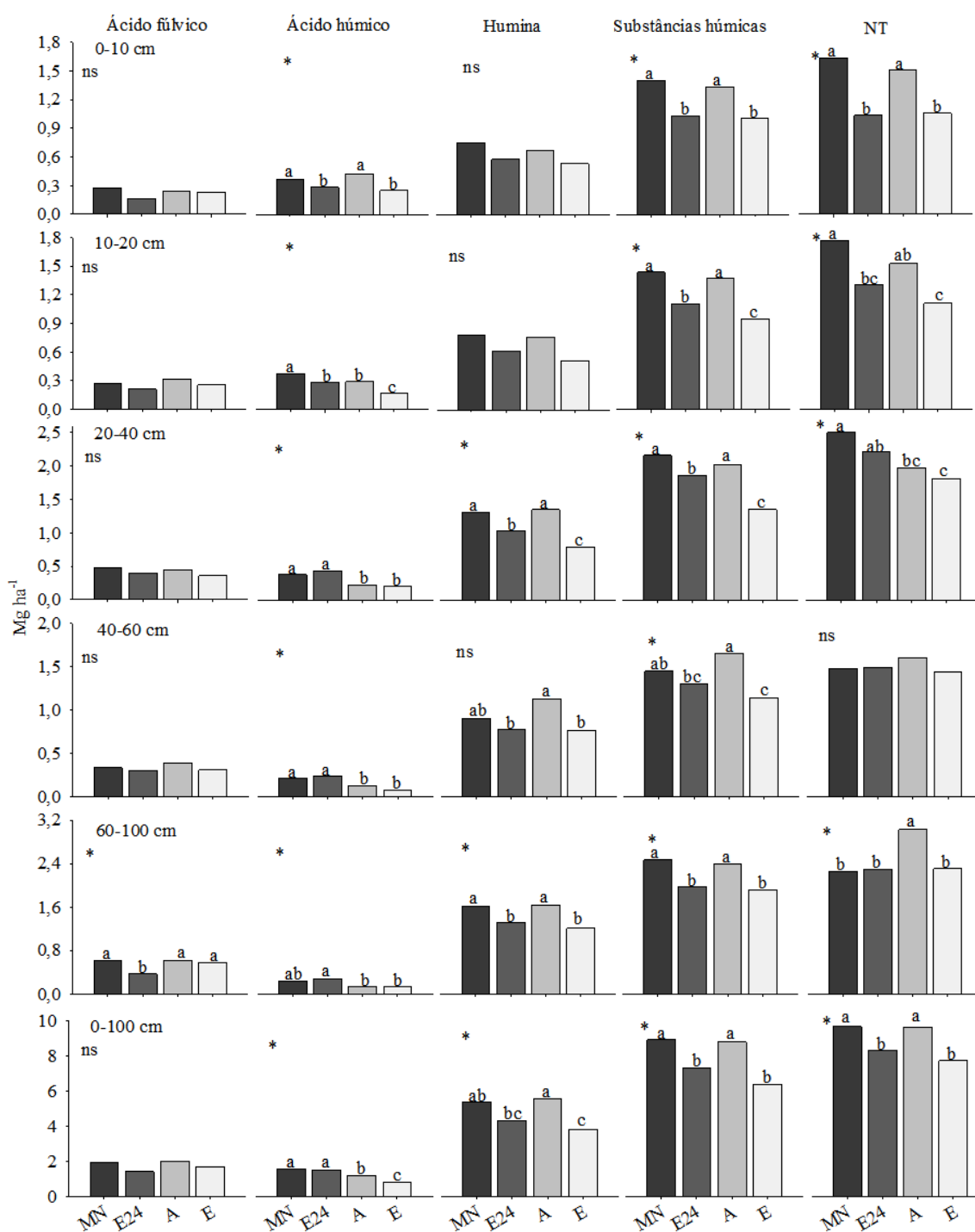


FIGURA 2: Estoques de N total (NT) e nas frações das substâncias húmicas (ácidos fúlvicos, húmicos e huminas) nas camadas de 0-10; 10-20; 20-40; 40-60; 60-100 e 0-100 cm de profundidade em solos de mata nativa (MN), eucalipto em longa rotação (E24), acácia (A) e eucalipto em curta rotação (E7) nas camadas até 100 cm de profundidade. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si a 5% de significância pelo teste LSD. ns, \*: indicam diferença não significativa e significativa a 5%, respectivamente.

FIGURE 2: Total nitrogen stocks (NT), in humic substance fractions (fulvic acids, humic and humin) and total (humic substances) in layers of 0-10; 10-20; 20-40; 40-60; 60-100 e 0-100 cm of depth in native forest soil (MN), eucalyptus long-rotation (E24), *Acacia mangium* (A) and eucalyptus short rotation monoculture (E7). Means followed by the same small letter do not differ at 5% by LSD test. ns, \*: indicates not significant and significant at 5%, respectively.

camadas superficiais e de humina nas camadas mais profundas reflete o maior aporte e a menor relação C/N de resíduos da parte aérea e raízes na área de acácia.

Silva et al. (2004) sugeriram que, apesar do grande aporte de resíduos (especialmente após a colheita) em povoamentos de eucalipto, os incrementos na MOS poderiam estar sendo limitados pela baixa disponibilidade de N, o que limita o acúmulo de compostos orgânicos mais estáveis. Uma forte indicação de que o aporte de N é essencial para fixar C em formas mais estáveis da MOS vem de estudos onde plantios mistos têm sido realizados incluindo espécies leguminosas fixadoras de N<sub>2</sub> atmosférico, conseqüentemente, ocorrendo maior aporte de N ao ecossistema. Avaliando a produção e os efeitos nas características do solo em monocultivo e cultivo consorciado de eucalipto e a leguminosa arbórea acácia-negra (*Acacia mearnsii*) (50% de cada espécie), Vezzani et al. (2001) verificaram que o volume de madeira não diferiu entre os dois sistemas de plantio, porém, o eucalipto contribuiu com 64% da madeira do plantio misto. O conteúdo de N nas plantas de eucalipto foi mais elevado quando em consórcio com a acácia negra, e, além disso, o solo sob o plantio consorciado apresentou teores mais elevados de N total e de matéria orgânica em relação ao plantio puro de eucalipto (VEZZANI et al., 2001).

Os maiores estoques de C nas frações mais humificadas da MOS (humina) e COT na área cultivada com acácia em comparação ao solo com eucalipto podem estar associados à maior capacidade desta em fixar N<sub>2</sub>, e acumulá-lo nos resíduos vegetais e no solo, auxiliando no processo de decomposição de frações mais lábeis (MOL) e sua transformação em frações mais recalcitrantes (substâncias húmicas) da MOS. Neff et al. (2002), usando <sup>14</sup>C e <sup>13</sup>C, demonstraram que a adubação com N, entre os anos de 1990 a 2001, acelerou a decomposição das frações leves da matéria orgânica que apresentam tempos de ciclagem em torno de décadas, mas auxiliou na estabilização das frações de C mais pesadas (recalcitrantes) associadas à fração mineral e que possuem maior tempo de ciclagem (de décadas a séculos).

A *Acacia mearnsii*, após 11 anos de cultivo, apresentou menor relação entre o C estocado na parte aérea e o C estocado no solo (0,13), na camada

de 0-5 cm, em comparação à relação obtida no cultivo de *Eucalyptus globulus* (0,24), indicando que o C sequestrado pelo cultivo de acácia pode estar sendo estocado em maior proporção no solo (FORRESTER et al., 2006).

### **Estoques de carbono e nitrogênio na fração leve e na matéria microbiana**

O estoque de C na fração leve (C-MOL) na camada de 0-100 cm foi maior na área sob mata nativa, seguido pela área de eucalipto com longa rotação, de acácia e de eucalipto com curta rotação (Figura 3). Possivelmente, a maior preservação de C-MOL na área sob mata nativa e eucalipto em longa rotação ocorreu em virtude da ausência de revolvimento do solo após a implantação, e reduzindo a acessibilidade dos resíduos vegetais com a comunidade microbiana favorecendo a agregação e retardando o processo de decomposição.

Os estoques de N na fração leve (N-MOL) foram maiores na área cultivada com acácia e na área com eucalipto em longa rotação, mas o estoque de N na área com acácia não diferiu daquele da mata nativa na camada superficial (0-10 cm). Nas camadas inferiores destacou-se a mata nativa como ecossistema que apresentou maior estoque de N no solo, apresentando maior estoque de N na fração leve para a mata nativa no somatório das camadas (0-100 cm), seguido pela área com acácia, eucalipto em longa rotação e eucalipto em curta rotação.

Os estoques de carbono da matéria microbiana (C-BM) na camada de 0-60 cm de solo foram iguais entre as áreas de eucalipto em rotação longa, acácia e eucalipto em rotação curta e que foram superiores aos estoques obtidos na área de mata nativa. Para o N da matéria microbiana (N-BM) observou-se maior estoque na área de acácia em todas as camadas avaliadas. Esse resultado pode estar associado ao maior teor de N no tecido vegetal de resíduos de acácia, uma leguminosa fixadora de N<sub>2</sub> atmosférico, em comparação aos de eucalipto e mata nativa, facilitando sua maior imobilização pelos micro-organismos e estocagem na matéria microbiana ao longo do tempo.

É difícil conciliar uma maior matéria microbiana em solos com maior teor de C orgânico (substrato), como em solos com acácia, visto que a maior abundância de micro-organismos implicaria decomposição e redução mais rápida da MOS. Nessa condição, a manutenção



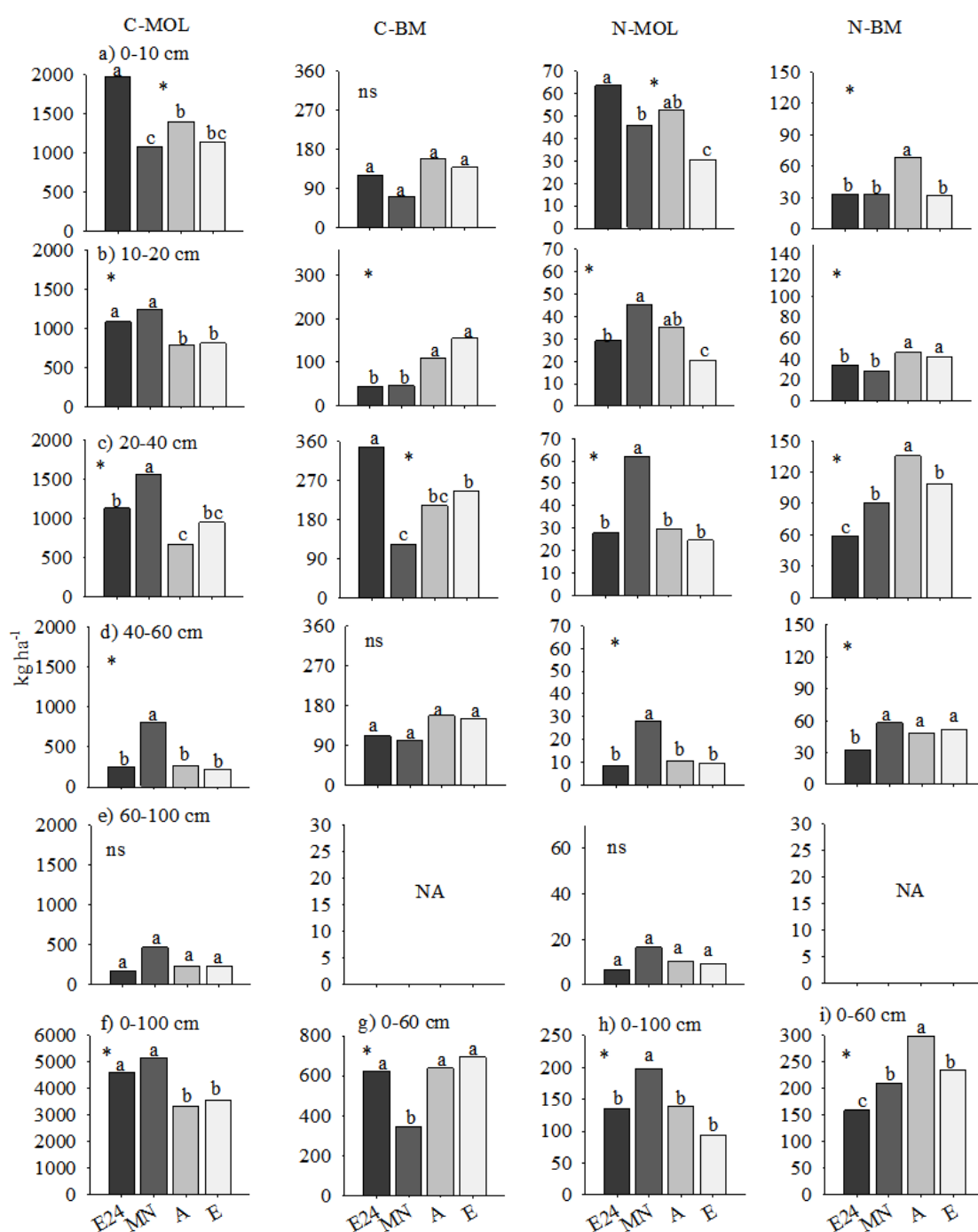


FIGURA 3: Estoques de C e N na fração leve (C-MOL e N-MOL) e na matéria microbiana (C-BM e N-BM) nas camadas de 0-10; 10-20; 20-40; 40-60; 60-100 e 0-100 cm de amostras de solo coletadas na mata nativa (MN), eucalipto em longa rotação (E24), *Acacia mangium* (A) e eucalipto em curta rotação (E). Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si a 5% de significância pelo teste LSD. ns, \*: indicam diferença não significativa e significativa a 5%, respectivamente. NA: profundidade não avaliada.

FIGURE 3: Total organic carbon and nitrogen stocks in light fraction (C-MOL and N-MOL) and microbial biomass (C-BM and N-BM) in layers of 0-10; 10-20; 20-40; 40-60; 60-100 e 0-100 cm of soil samples collected in native forest (MN), eucalyptus long-rotation (E24), *Acacia mangium* (A) and eucalyptus short rotation monoculture (E). Means followed by the same small letter do not differ at 5% by LSD test. ns, \*: indicate not significant and significant difference at 5%, respectively. NA: depth unevaluated.

dos estoques de C e N no solo pode ser sustentada pelo maior aporte e contínuo de resíduos vegetais ao solo. No entanto, a qualidade nutricional dos resíduos vegetais depositados interfere diretamente no processo de decomposição e formação da MOS. Considerando-se somente aspectos nutricionais, o N e o P são os elementos que mais limitam a produção de matéria de ecossistemas (LUDWIG et al., 2004). Assim, resíduos vegetais com menor relação C/N, como em plantas leguminosas (acácia) podem aumentar a atividade microbiana no solo e a estocagem de C e N na matéria orgânica. Estudo realizado por Traoré et al. (2007) relata menor quociente metabólico ( $qCO_2$ ) nos micro-organismos desenvolvidos em solo cultivado com espécies de acácia (*Acacia dudgeoni*, *Acacia gourmaensis*, *Acacia laeta*, *Acacia hockii*, entre outras) comparado com aqueles de solos de pastagem, indicando maior eficiência de utilização do C presente nos resíduos vegetais. Consequentemente, na área cultivada com acácia, uma fração maior do substrato foi incorporada na matéria microbiana e menos C por unidade de matéria foi emitido pela respiração, em comparação a solos de pastagem. Tal padrão pode contribuir para maior estocagem de C na MOS ao longo do tempo, muito embora a atividade respiratória tenha sido maior na área de acácia em comparação à área de pastagem, como consequência da maior deposição de substrato pelo plantio de acácia (TRAORÉ et al., 2007).

A maior disponibilidade de N na área de acácia pode ter favorecido o processo de decomposição de compostos que possuem formas mais lábeis e solúveis (compostos não lignificados) no solo, direcionando maior estoque de C para frações mais humificadas da MOS. Adicionalmente, o aumento da deposição de N via fertilizante ou fixação biológica pode levar à redução na decomposição da MOS do solo (BERG e MATZNER, 1997) e incrementar a formação de C refratário (NEFF et al., 2002), como consequência da maior estabilidade de complexos organominerais e menor ativação e decomposição enzimática, resultando em maior acúmulo de MOS (BERG e MATZNER, 1997). Nesse estudo, esses resultados foram identificados pelo aumento do C e do N nas substâncias húmicas na área de acácia em rotação com a cultura do eucalipto de ciclo curto.

## CONCLUSÕES

A área de monocultivo de eucalipto em rotação curta apresenta menores estoques de C orgânico e N total nas frações das substâncias húmicas e de N na biomassa microbiana, em comparação à área onde está sendo realizada rotação com *Acacia mangium*.

O aumento do tempo da rotação do eucalipto e o cultivo da acácia em rotação com o eucalipto recuperam os estoques de C nas frações lábeis (C-MOL, N-BM) e recalcitrantes (C da humina) da matéria orgânica do solo, em comparação à área com cultivo do eucalipto em curta rotação, mas ainda são inferiores àqueles do solo sob mata nativa.

## AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG e ao CNPq pelo apoio financeiro aos autores do estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMADO, T. J. C. et al. Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in southern Brazil. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 35, n. 4, p. 1599-1607, July. 2006.
- AUER, C. G.; SILVA, R. Fixação de nitrogênio em espécies arbóreas. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. eds. **Microbiologia do solo**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.157-172.
- BARROS, N. F.; COMERFORD, N. B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 2, p. 487-592, 2002.
- BATAGLIA, O. C. et al. **Métodos de análises químicas de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim, 78)
- BAYER, C. et al. C and N stocks and the role of molecular recalcitrance and organomineral interaction in stabilizing soil organic matter in a subtropical Acrisol managed under no-tillage. **Geoderma**, Amsterdam, v. 133, n. 3-4, p. 258-268, Aug. 2006.
- BERG, B.; MATZNER, E. Effect of N deposition on decomposition of plant litter and soil organic matter in forest systems. **Environmental Review**, Kingston, v. 5, n. 1, p. 1-25, Mar. 1997.

- DIEKOW, J. et al. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 268, n. 1, p. 319-328, Jan. 2005.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.
- FORRESTER, D. I. et al. Carbon allocation in a mixed-species plantation of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 233, n. 2-3, p. 275-284, Sept. 2006.
- FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES - FUNARBE. **SAEG - Sistema para análise estatística 5.0**. Viçosa, MG, 1993.
- GARAY, I. et al. Comparação da matéria orgânica e de outros atributos do solo entre plantações de *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 705-712, jul/ago. 2003.
- IBGE. 2004. **Mapa de Biomas do Brasil, primeira aproximação**. Rio de Janeiro: IBGE. Acessível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)
- ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 27, n. 4, p. 408-416, Sept. 1998.
- LEITE, F.P. **Relações nutricionais e alterações de características químicas de solos da Região do Vale do Rio Doce pelo cultivo do eucalipto**. 2001, 72 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
- LIMA, A. M. N. et al. Soil organic carbon dynamics following afforestation of degraded pastures with eucalyptus in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 235, n. 1-3, p. 219-231, Nov. 2006.
- LUDWIG, F. et al. The influence of savanna trees on nutrient, water and light availability and the understorey vegetation. **Plant Ecology**, v. 170, n. 1, p.93-105, Jan. 2004.
- MENEZES, A. A. **Produtividade do eucalipto e sua relação com a qualidade e a classe de solo**. 2005, 98 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- NEFF, J. C. et al. Variable effects of nitrogen additions on the stability and turnover of soil carbon. **Nature**, v. 419, n. 6910, p. 915-917, Sept. 2002.
- OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo, Ceres, 1981. 425 p.
- PEGORARO, R. F. et al. Estoques de carbono e nitrogênio em frações da matéria orgânica de solos cultivados com eucalipto nos sistemas convencional e fertirrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 2, p. 302-309, fev. 2010.
- REVERSAT, F. B. Nitrogen cycling in tree plantations grown on a poor sandy savanna soil in Congo. **Applied Soil Ecology**, Madison, v. 4, n. 2, p. 161-172, Sept. 1996.
- SCHIAVO; J. A. et al. Recovery of degraded areas revegetated with *Acacia mangium* and *Eucalyptus* with special reference to organic matter humification. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 3, p. 353-360, May/June. 2009
- SHAN, J. et al. The effects of management on soil and plant carbon sequestration in slash pine plantations. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 38, n. 5, p. 932-941, Oct. 2001.
- SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2007, p.275-374.
- SILVA, I. R. et al. Manejo de resíduos e matéria orgânica do solo em plantações de eucalipto: uma questão estratégica para a manutenção da sustentabilidade. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, 2004, p.10 - 20.
- SISTI, C. P. J. et al. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, n. 1 ,p.39-58, Mar. 2004.
- STEEL, R. G. D. et al. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. New York: McGraw-Hill, 1997. 666 p.
- STEVENSON, F. J. **Humus Chemistry: Genesis, Composition and Reactions**. 2<sup>nd</sup> ed. New York, Willey & Sons Inc., 1994. 496 p.
- SWIFT, R. S. Method for extraction of IHSS soil fulvic and humic acids. In. SPARKS, D. L. et al. ed. **Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods**. Soil Sci. Soc. Am. Books, 1996. p. 1018-1020.
- TRAORÉ, S. et al. Carbon and nitrogen enhancement in Cambisols and Vertisols by *Acacia* spp. in eastern Burkina Faso: Relation to soil respiration and microbial biomass. **Applied Soil Ecology**, Madison, v. 35, n. 3, p. 660-669, Mar. 2007.
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic

carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, Oct. 1988.

VEZZANI, F. M.; TEDESCO, M. J.; BARROS, N.

F. Características do solo e das plantas no consórcio de eucalipto e acácia negra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 225-231, jan/fev. 2001.