

# SEÇÃO II - QUÍMICA E MINERALOGIA DO SOLO

## MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO E CARBONO EM SOLOS SOB PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO, EM UMA SEQUÊNCIA DE IDADES<sup>(1)</sup>

Patrícia Anjos Bittencourt Barreto<sup>(2)</sup>, Emanuela Forestieri Gama-Rodrigues<sup>(3)</sup>, Antonio Carlos Gama-Rodrigues<sup>(4)</sup>, Nairam Félix de Barros<sup>(5)</sup>, Bruno José Rodrigues Alves<sup>(6)</sup> & Sebastião Fonseca<sup>(7)</sup>

### RESUMO

A estimativa da mineralização de N e de C é essencial no desenvolvimento de práticas que maximizem a eficiência no uso de N, especialmente no caso do eucalipto, que apresenta baixa magnitude de resposta à fertilização nitrogenada. Foram estimadas as taxas de mineralização de N e de C e avaliados os potenciais de mineralização de N e de C de solos sob plantações de eucalipto de 1, 3, 5 e 13 anos de idade, crescendo sob condições edafoclimáticas semelhantes. Amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0–10 cm, em novembro de 2003. Essas amostras foram incubadas por períodos sucessivos de 1, 1, 1, 2, 2, 4, 4 e 4 semanas, totalizando 19 semanas, sob condições aeróbias, em laboratório. O N mineralizado das amostras incubadas foi extraído periodicamente e determinado por colorimetria, e o C mineralizado, por titulação após liberação de C-CO<sub>2</sub> a cada período de incubação. O valor médio de N mineralizado acumulado (Nm) foi de 58 mg kg<sup>-1</sup> de N no solo e não diferiu significativamente entre as idades. As quantidades de N potencialmente mineralizável (N<sub>o</sub>) variaram de 58 a 87 mg kg<sup>-1</sup>, o que representou 3,4 a 5,2 % do N total do solo (Nt), tomando por base a razão N<sub>o</sub>:Nt. A forma predominante de N mineral em todas as idades foi o N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. As quantidades totais de C mineralizado (Cm) diferiram significativamente entre as idades, variando de 606 a 1.122 mg kg<sup>-1</sup> de C no solo. O C potencialmente mineralizável (C<sub>o</sub>) dos solos foi, em média, de 862 mg kg<sup>-1</sup> de C-CO<sub>2</sub>, o que representou 3,4 % do C orgânico do solo (Corg), de

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em março de 2009 e aprovado em fevereiro de 2010.

<sup>(2)</sup> Engenheira Florestal, Doutoranda do Curso de Produção Vegetal, Universidade Estadual do Norte Fluminense – CCTA/UENF. Laboratório de Solos. CEP 28013-602 Campos dos Goytacazes (RJ). E-mail: barretopab@hotmail.com

<sup>(3)</sup> Professora Associada do Laboratório de Solos do CCTA, UENF. E-mail: emanuela@uenf.br

<sup>(4)</sup> Professor Associado do Laboratório de Solos do CCTA, UENF. Bolsista do CNPq. E-mail: tonygama@uenf.br

<sup>(5)</sup> Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa – UFV. CEP 36570-000 Viçosa (MG). Bolsista do CNPq. E-mail: nfbarrros@ufv.br

<sup>(6)</sup> Pesquisador da Embrapa Agrobiologia. Seropédica (RJ). E-mail: bruno@cnpab.embrapa.br

<sup>(7)</sup> Engenheiro Florestal, Pesquisador da Fibria Celulose S.A. Caixa Postal 331011, CEP 29197-000 Aracruz (ES). E-mail: sf@fibria.com.br

acordo com a razão  $C_o:Corg$ . A taxa e o potencial de mineralização de C e N não foram influenciados pela idade das plantações do eucalipto. As reservas de N potencialmente mineralizável dos solos seriam suficientes para atender à demanda de N pelo eucalipto em rotações futuras.

**Termos de indexação:** ciclagem de nutrientes, matéria orgânica, N mineralizado, dióxido de carbono.

**SUMMARY: CARBON AND NITROGEN MINERALIZATION IN SOILS UNDER AN EUCALYPTUS PLANTATION CHRONOSEQUENCE**

*To maximize the efficiency of N uptake by plants it is important to study N and C mineralization, particularly in the case of eucalyptus, which has a very low response to nitrogen fertilization. The rates of C and N mineralization and C and N mineralization potential were estimated, in soils under 1, 3, 5, and 13 year-old eucalyptus plantations with similar soil and climatic conditions. Soil from the 0–10 cm layer was sampled in November 2003. The samples were incubated under aerobic laboratory conditions for successive periods of 1, 1, 1, 2, 2, 4, 4, 4 weeks in a total of 19 weeks. The mineralized N was periodically extracted and determined colorimetrically, and the mineralized C was determined based on C-CO<sub>2</sub> evolution. The average accumulated N was 58 mg kg<sup>-1</sup> soil and it did not differ significantly among ages. Potentially mineralizable N (N<sub>o</sub>) varied between 58 to 87 mg kg<sup>-1</sup> soil, which represented 3.4 to 5.2 % of soil N (Ns); according to N<sub>o</sub>:Ns ratio. N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> was the predominant form of mineral N. The mineralized C differed significantly among ages (606 to 1,122 mg kg<sup>-1</sup> C-CO<sub>2</sub> soil). The average potentially mineralizable C (C<sub>o</sub>) was 862 mg kg<sup>-1</sup> C-CO<sub>2</sub> soil, representing 3.4 % of soil organic C (Corg) according to the C<sub>o</sub>:Corg ratio. The rate and mineralization potential of C and N were not influenced by the age of the plantations. The pool of potentially mineralizable N could meet the N demand of eucalyptus in future rotations.*

*Index terms:* Nutrient cycling, soil organic matter, mineralized N, carbon dioxide.

## INTRODUÇÃO

O cultivo de eucalipto no Brasil ocupa extensas áreas, totalizando cerca de três milhões de hectares (SBS, 2008), nas mais variadas condições edafoclimáticas, porém com a maior parte das plantações em solos de baixa fertilidade natural (Mora & Garcia, 2000). Nessa condição, a sustentabilidade da produção está estreitamente relacionada à adubação e aplicação de técnicas de manejo que visam, por meio da ciclagem de nutrientes, potencializar a disponibilidade de nutrientes para as árvores ao longo das rotações do eucalipto.

O retorno de nutrientes ao solo, por meio da serapilheira acumulada e sua liberação via mineralização, é um processo básico para a ciclagem de nutrientes dentro do ecossistema florestal, constituindo-se numa importante fonte de nutrientes para as árvores, principalmente para aqueles cuja fonte primária são os compostos orgânicos, como é o caso do N (Gonçalves, 1995). Assim, a predição da quantidade de N inorgânico liberado a partir da mineralização da matéria orgânica do solo é essencial para o desenvolvimento de práticas que maximizem a eficiência no uso de N (Li et al., 2003), sobretudo no caso do eucalipto, que, apesar de absorver e acumular

grande quantidade de N (Poggiani et al., 1983; Reis et al., 1987; Schumacher & Poggiani, 1993), apresenta baixa magnitude de resposta à fertilização nitrogenada (Barros et al., 1990; Gonçalves et al., 2000). Isso é indicativo de que a mineralização das reservas orgânicas naturais de N está suprindo a demanda das árvores ao longo do ciclo da cultura (Gonçalves et al., 2001; Gama-Rodrigues et al., 2005).

O processo de mineralização do N orgânico pode ser utilizado como indicador potencial da disponibilidade de N às culturas; contudo, tem sido pouco explorado como complemento à recomendação da adubação nitrogenada (Camargo et al., 2008). Como a mineralização de N está diretamente associada à oxidação do C orgânico, os modelos que permitem estimar o C potencialmente mineralizável e a constante de mineralização são similares aos de N, podendo ser mono ou multicompartimentalizados (Rezende et al., 1999; Trinsoutrot et al., 2000).

Vários métodos têm sido propostos para estimar a taxa de mineralização de N. Entre os métodos de laboratório, as incubações aeróbias fornecem uma boa estimativa das reservas de N mineralizável presentes por ocasião da amostragem e permitem estabelecer comparações entre os sítios, embora não reflitam as flutuações naturais que ocorrem sob condições de

campo (Stanford & Smith, 1972; Salcedo et al., 1985; Gonçalves et al., 2001). Além disso, são indicados para determinar a fração do N orgânico potencialmente mineralizável e a constante de mineralização. O N potencialmente mineralizável é definido como a fração do N orgânico do solo suscetível à mineralização (Camargo et al., 1997). Da mesma forma, o C potencialmente mineralizável pode ser definido como a fração do C orgânico do solo que é prontamente metabolizável (Doran & Parkin, 1996).

O modelo proposto por Stanford & Smith (1972) considera um único reservatório de N mineralizável no solo e é definido pela equação:  $N_m = N_o (1 - e^{-kt})$ , em que  $N_m$  é o N mineralizado acumulado em um período de tempo ( $\text{mg kg}^{-1}$  de N);  $N_o$ , o potencial de mineralização do N ( $\text{mg kg}^{-1}$  de N);  $k$ , a constante de mineralização ( $\text{semana}^{-1}$ ); e  $t$ , o tempo (semanas). Modelos mais complexos também foram propostos, como o de Molina et al. (1980), que considera que o N do solo pode ser dividido em um reservatório de rápida mineralização e outro mais recalcitrante, cada um com sua própria constante de mineralização.

Medidas de N e C mineralizados, em solos sob plantações de eucalipto de diferentes idades, podem permitir avaliar a influência do tempo de cultivo na dinâmica da matéria orgânica e na disponibilidade de N. A idade do cultivo florestal proporciona uma variação do aporte e da contribuição de galhos, cascas e folhas das árvores na composição da serapilheira (Reis & Barros, 1990) e da ciclagem de raízes (Gonçalves et al., 2000).

O presente trabalho teve como objetivos caracterizar a cinética de mineralização de N e de C e estimar as quantidades de N e C potencialmente mineralizáveis em solos sob plantações de eucalipto, em uma sequência de idades.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado utilizando amostras de Argissolo Amarelo distrófico textura média a argilosa (Embrapa, 2006) sob plantações comerciais de eucalipto, localizadas no município de Aracruz, região litorânea do Estado do Espírito Santo ( $19^{\circ} 50' S$  e  $40^{\circ} 03' W$ ). A região tem relevo plano, clima tropical úmido (com estação chuvosa no verão e seca no inverno) e temperatura e precipitação média anual de  $23^{\circ} C$  e 1.400 mm, respectivamente. As áreas de coleta foram selecionadas com base na idade e rotação de cultivo das plantações de eucalipto, compreendendo uma sequência de idades (1, 3, 5 e 13 anos) em sistema de reforma, e, além disso, no material genético (clone 1501, *Eucalyptus urograndis*), tipo de solo e espaçamento ( $3 \times 3$  m), comuns a todas as áreas. O histórico do manejo de preparo do solo e adubação adotados nas áreas descritos por Barreto et al. (2008) está apresentado no quadro 1.

Em cada área estabeleceram-se quatro parcelas com dimensões de  $18 \times 18$  m (correspondente a  $7 \times 7$  árvores no espaçamento de  $3 \times 3$  m). Em cada parcela, no mês de novembro de 2003, coletaram-se 20 amostras simples de solo – que foram reunidas, formando uma composta – da camada de 0–10 cm de profundidade. Essa profundidade representa uma camada de grande deposição de material vegetal em plantações de eucalipto e de alta atividade microbológica, que funcionaria como um compartimento de reserva para a mineralização de N (Gama-Rodrigues et al., 2005). As amostras foram mantidas em câmara fria a  $4^{\circ} C$  (Wardle, 1992) por 10 dias, até execução dos procedimentos de laboratório.

Para estudar o potencial de mineralização do N, foi utilizada a técnica de Stanford & Smith (1972), com modificações propostas por Alves (1989). Foram utilizados 50 g de solo, misturados a igual quantidade de areia lavada e peneirada, sendo a mistura acondicionada em colunas de percolação (em duplicata) construídas com tubos de PVC (4 cm de diâmetro por 30 cm de altura) (Figura 1a). Na parte inferior de cada percolador foram colocadas buchas de lã de vidro. A extração do N mineralizado foi realizada percolando-se 100 mL de  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  (solução extratora), aplicados em frações de 20 mL, e, em seguida, adicionando-se 50 mL (duas alíquotas de 25 mL) de solução nutritiva desprovida de N, constituída de  $\text{K}_2\text{SO}_4$  ( $0,0025 \text{ mol L}^{-1}$ ),  $\text{MgSO}_4$  ( $0,002 \text{ mol L}^{-1}$ ) e  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  ( $0,005 \text{ mol L}^{-1}$ ). O excesso de solução no solo foi removido por sucção (60 cm de Hg) com bomba de vácuo aplicada na extremidade inferior do percolador. Os tubos foram fechados com rolha de borracha, para evitar perdas de água por evaporação. Após a extração inicial, novas extrações foram feitas após períodos sucessivos de 1, 1, 1, 2, 2, 4, 4 e 4 semanas, totalizando 19 semanas de incubação. Cada extração foi feita seguindo-se as mesmas operações descritas anteriormente. Para todo o experimento, seis percoladores contendo apenas areia lavada (100 g) serviram como controle (amostras em branco).

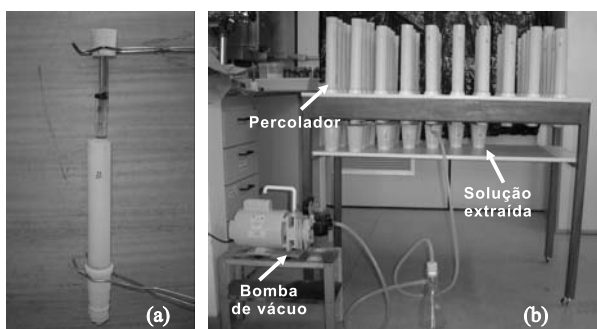
A taxa de mineralização de C do solo foi medida pelo  $\text{CO}_2$  liberado durante o período de incubação. Na parte superior de cada tubo de percolação, um recipiente de vidro (Figura 1a) foi acoplado à tampa por meio de uma haste plástica, conforme a técnica usada por Araújo et al. (2001), ao qual foram adicionados 10 mL de  $\text{NaOH}$   $1 \text{ mol L}^{-1}$ , para absorção de  $\text{CO}_2$  liberado durante a incubação. Após colocar o  $\text{NaOH}$  no vidro, as extremidades do percolador foram fechadas imediatamente para não absorver o  $\text{CO}_2$  do ambiente. Assim, após cada período de incubação, as soluções de  $\text{NaOH}$   $1 \text{ mol L}^{-1}$  dos recipientes foram trocadas, e, então, os percoladores foram novamente fechados (Figura 1b).

Para determinação do N mineralizado, foram utilizados 20 mL do percolado, que foram filtrados em papel de filtragem lenta, para retirada das partículas em suspensão. Analisaram-se os teores de  $\text{N-NH}_4^+$  e

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

Plantio	Preparo do solo	Adubação			
		Pré-plantio	Plantio	Cobertura	Manutenção
Um ano <sup>(1)</sup>	Subsolagem profunda (90 cm)	Fosfato natural reativo 66 kg ha <sup>-1</sup> de P, Aplicação: no sulco subsolagem (20 cm de profundidade)	NPK 06-30-06 + 1,0 % Zn (8 kg ha <sup>-1</sup> de N, 17 kg ha <sup>-1</sup> de P, 7 kg ha <sup>-1</sup> de K) Aplicação: cinco dias após plantio, em coveta lateral		Calcário dolomítico (661 kg ha <sup>-1</sup> de Ca, 167 kg ha <sup>-1</sup> de Mg) NPK 10-00-30 (30 kg ha <sup>-1</sup> de N, 75 kg ha <sup>-1</sup> de K) Aplicação: 10 meses após plantio, a lanço, em área total
Três anos <sup>(2)</sup>	Subsolagem (40 cm)	Fosfato natural reativo (53 kg ha <sup>-1</sup> de P) Aplicação: no sulco subsolagem (20 cm de profundidade)	NPK 06-30-06 + 1,0 % B + 1,0 % Zn (7 kg ha <sup>-1</sup> de N, 15 kg ha <sup>-1</sup> de P 5 kg ha <sup>-1</sup> de K) Aplicação: cinco dias após plantio, em coveta lateral	NPK 10-00-30 (11 kg ha <sup>-1</sup> de N 28 kg ha <sup>-1</sup> de K) Aplicação: três meses após plantio, na projeção copa	Calcário dolomítico (661 kg ha <sup>-1</sup> de Ca, 167 kg ha <sup>-1</sup> de Mg) KCl (168 kg ha <sup>-1</sup> de K) NPK 10-00-30 (30 kg ha <sup>-1</sup> de N, 75 kg ha <sup>-1</sup> de K) Aplicação: 10 a 23 meses após plantio, a lanço, em área total
Cinco anos <sup>(3)</sup>	Coveamento manual		Superfosfato triplo (11 kg ha <sup>-1</sup> de P) Aplicação: na cova de plantio		Cinza caldeira de biomassa (4.000 kg ha <sup>-1</sup> ) Superfosfato triplo (24 kg ha <sup>-1</sup> de P) KCl (52 kg ha <sup>-1</sup> de K) NPK 20-05-20 (50 kg ha <sup>-1</sup> de N, 5 kg ha <sup>-1</sup> de P, 42 kg ha <sup>-1</sup> de K) Aplicação: 7 a 38 meses após plantio, a lanço, em área total
Treze anos <sup>(4)</sup>	Coveamento manual		NPK 06-30-06 (7 kg ha <sup>-1</sup> de N, 15 kg ha <sup>-1</sup> de P, 5 kg ha <sup>-1</sup> de K) Aplicação: na cova de plantio	Fosfato acidulado (30 kg ha <sup>-1</sup> de P) Aplicação: 90 dias após plantio, na entrelinha e incorporação grade leve	NPK 20-00-20 (32 kg ha <sup>-1</sup> de N, 27 kg ha <sup>-1</sup> de K) Aplicação: 30 meses após plantio, a lanço, em área total

\*As plantações foram estabelecidas em <sup>(1)</sup>12/2002. <sup>(2)</sup>08/2000. <sup>(3)</sup>10/1998. <sup>(4)</sup>05/1990. Fonte: Barreto et al. (2008).



**Figura 1. Imagem aproximada de um dos percoladores com recipiente de vidro acoplado à rolha de borracha por meio de haste plástica (a) e mesa com as colunas de percolação (b).**

de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, por colorimetria, por meio de sistema de fluxo contínuo (FIA) (Giné et al., 1980; Alves et al.,

1993). A quantidade de C-CO<sub>2</sub> na solução de NaOH foi determinada por titulação com HCl 0,5 mol L<sup>-1</sup>.

Os atributos químicos e composição granulométrica de cada um dos solos sob plantações de eucalipto foram obtidos de Barreto et al. (2008) (Quadro 2).

A cinética de mineralização, os potenciais de mineralização (N<sub>o</sub> e C<sub>o</sub>) e a constante de mineralização (k) de N e C foram obtidos a partir dos valores acumulados de N (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e de C mineralizado (C-CO<sub>2</sub>) durante as 19 semanas de incubação, os quais foram ajustados a dois modelos matemáticos por progressão não linear, empregando-se o programa científico de ajuste de curvas SigmaPlot® v.7.0.

O primeiro modelo empregado, proposto por Stanford & Smith (1972), considera que apenas uma fração do N orgânico do solo é potencialmente mineralizável e que o processo de mineralização segue

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

Idade	pH	P	K	Al	H + Al	Ca	Mg	C orgânico	N total	Argila	Areia	Silte
Ano		— mg dm <sup>-3</sup> —		— cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> —				— g kg <sup>-1</sup> —				
1	4,8	9,6	51	0,5	0,9	1,6	0,6	21,4	1,5	241	719	40
3	4,6	6,7	31	0,6	1,7	1,3	0,6	29,4	1,9	212	755	33
5	4,7	19,8	35	0,5	0,9	0,6	0,4	27,0	1,8	228	725	47
13	4,5	10,0	31	0,8	0,9	0,9	0,5	24,2	1,8	244	719	37

Fonte: Barreto et al. (2008).

uma cinética de primeira ordem, sendo definido pela equação exponencial simples:  $N_m = N_o(1 - e^{-kt})$ , em que  $N_m$  é o N mineralizado acumulado em um período de tempo (mg kg<sup>-1</sup> de N);  $N_o$ , o potencial de mineralização do N (mg kg<sup>-1</sup> de N);  $k$ , a constante de mineralização (semana<sup>-1</sup>); e  $t$ , o tempo (semanas).

O segundo modelo, proposto por Molina et al. (1980), considera que o N potencialmente mineralizável está presente em duas frações do N orgânico do solo, uma de caráter lábil e outra mais recalcitrante, sendo descrito pela equação exponencial dupla:  $N_t = N_{o1}(1 - e^{-ht}) + N_{o2}(1 - e^{-kt})$ , em que  $N_{o1}$  representa a quantidade de N potencialmente mineralizável na fração mais lábil que se decompõe a uma taxa de mineralização específica ( $h$ ), enquanto  $N_{o2}$  corresponde à quantidade de N potencialmente mineralizável na fração mais resistente à mineralização e que se decompõe a uma taxa de mineralização  $k$ .

A partir dos resultados obtidos, determinaram-se as seguintes relações: N potencialmente mineralizável/ N total do solo ( $N_o:N_t$ ), N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>:N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, C potencialmente mineralizável/ C orgânico ( $C_o:C_{org}$ ) e C mineralizado/ N mineralizado ( $C:N$  mineralizado).

A estimativa do suprimento de N pelo processo de mineralização para as plantações de eucalipto foi feita com base em Gonçalves et al. (2000, 2001), de acordo com as seguintes fórmulas:

$$N_r = N_t (\text{kg ha}^{-1}) / (Q + E)$$

$$Q = N_o (\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}) * r$$

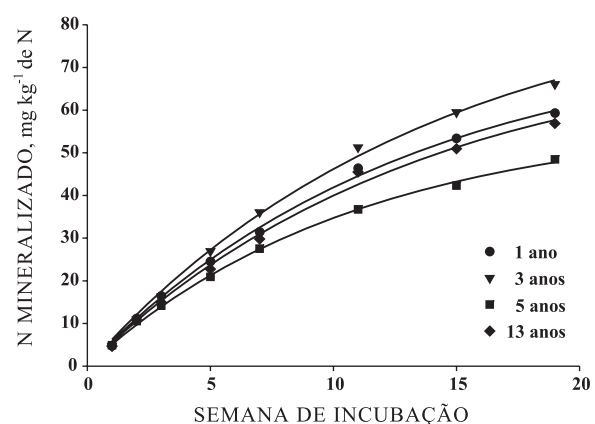
em que:  $N_r$  é a duração do estoque de N do solo, em número de rotações;  $N_t$ , o estoque total de N do solo na camada de 0–10 cm do solo;  $Q$ , a quantidade mineralizada por rotação;  $E$ , a exportação de N com o corte (via madeira descascada), a cada rotação;  $N_o$ , o N potencialmente mineralizável na camada de 0–10 cm; e  $r$ , o número de anos da rotação de cultivo considerada.

A exportação de N ( $E$ ) via madeira descascada foi estimada tomando como referência os valores de N estocado nos componentes da biomassa vegetal da plantação de eucalipto com cinco anos de idade ( $N$  da biomassa vegetal = 230 kg ha<sup>-1</sup> de N;  $N$  do lenho = 110 kg ha<sup>-1</sup> de N), verificados por Barreto (2004).

Os dados de C e N mineralizados acumulados foram submetidos à análise de variância em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Adotou-se o teste F a 5 %. De forma complementar, utilizou-se para comparação de médias o teste de Duncan a 5 % (Araújo et al., 2001). Cada idade de cultivo do eucalipto foi considerada um tratamento de efeito-fixe, a exemplo do procedimento empregado por Lugo et al. (1990).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A mineralização acumulada de N mostrou relação exponencial com o tempo de incubação (Figura 2). A queda na inclinação foi regular e progressiva, permitindo constatar que maior quantidade de N foi mineralizada no período inicial compreendido até a terceira semana de incubação. Em média, 27 % do N mineralizado foi obtido até a terceira semana, 55 % até a sétima semana, atingindo cerca de 78 % até a décima primeira semana. A partir daí, e prolongando-se até o final do período de incubação, o processo atingiu valores mais estáveis, com menores acréscimos da quantidade de N mineralizado em função do tempo. Resultados semelhantes foram observados por Araújo



**Figura 2. Curvas de N mineralizado acumulado durante período de incubação de solos sob plantações de eucalipto de diferentes idades, ajustadas ao modelo exponencial simples para obtenção do  $N_o$  e da constante de mineralização  $k$ .**

et al. (2001), Gonçalves et al. (2001) e Rhoden et al. (2006) (em solos sob cana-de-açúcar, ecossistemas florestais e de várzea, respectivamente), que encontraram estabilização a partir da oitava semana. Já Kinjo et al. (1978), em solos sob cana-de-açúcar, obtiveram estabilização a partir da terceira e quarta semanas.

A redução da velocidade de mineralização de N, verificada após as três semanas iniciais (Figura 2), pode ser atribuída à diminuição da quantidade de compostos orgânicos de fácil decomposição (Pöttker & Tedesco, 1979), já que também houve queda na inclinação das curvas de mineralização de C após esse mesmo período (Figura 3), possivelmente devido à presença, em maior proporção, de resíduos de maior estabilidade.

A mineralização acumulada de C também mostrou relação exponencial com o tempo de incubação (Figura 3). Até a terceira semana, a velocidade de mineralização foi maior, seguida de diminuição gradativa dos acréscimos de C mineralizado até o período final de incubação (Figura 3). Em média, 36 % do C mineralizado foi obtido até a terceira semana, 66 % até a sétima semana, atingindo cerca de 76 % na décima primeira semana. Outros autores também constataram altas taxas de mineralização de C nos períodos iniciais, seguidas de uma diminuição gradativa no C mineralizado (Pottker & Tedesco, 1979; Salcedo et al., 1985; Minhoni & Cerri, 1987; Araújo et al., 2001; Mantovani et al., 2006).

Considerando as produções não acumuladas isoladas de  $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^-$  no solo após cada período

de incubação, verificou-se, para ambos, que as quantidades mineralizadas seguiram uma tendência muito semelhante entre os solos estudados. Ocorreu inversão entre as taxas de amonificação e nitrificação (Quadro 3). Inicialmente, houve maior produção de  $\text{N-NH}_4^+$  (Quadro 3), a qual decresceu gradativamente, enquanto a de  $\text{N-NO}_3^-$  tendeu a aumentar, decrescendo a partir da décima primeira semana (Quadro 3). Araújo et al. (2001), em amostras de solos sob cana-de-açúcar, relacionaram esse aumento da produção de  $\text{N-NO}_3^-$  com o processo de oxidação do  $\text{N-NH}_4^+$  ao

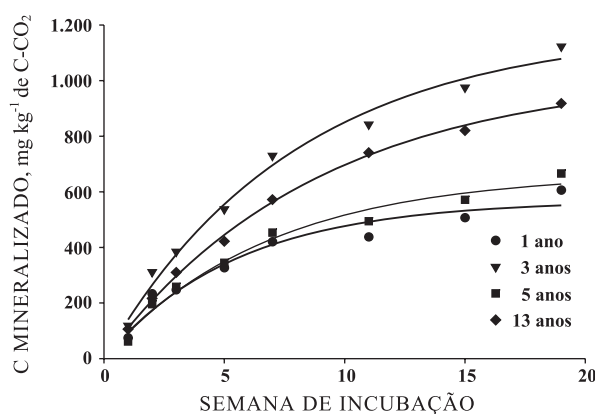


Figura 3. Curvas de C mineralizado acumulado durante período de incubação de solos sob plantações de eucalipto de diferentes idades, ajustadas ao modelo exponencial simples para obtenção do  $C_0$  e da constante de mineralização.

Quadro 3. Quantidades médias de  $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^-$  mineralizadas em solos amostrados de plantações de eucalipto de diferentes idades, ao longo de 19 semanas de incubação, e relação  $\text{N-NH}_4^+:\text{N-NO}_3^-$

Idade	Tempo de incubação (semana)									
	0-1		1-2		2-3		3-5		5-7	
	$\text{N-NH}_4^+$	$\text{N-NO}_3^-$	$\text{N-NH}_4^+$	$\text{N-NO}_3^-$	$\text{N-NH}_4^+$	$\text{N-NO}_3^-$	$\text{N-NH}_4^+$	$\text{N-NO}_3^-$	$\text{N-NH}_4^+$	$\text{N-NO}_3^-$
	mg kg <sup>-1</sup>									
1	4,4	0,2	6,0	0,4	4,2	1,1	3,9	4,1	2,9	4,0
3	4,8	0,0	5,9	0,2	5,0	0,3	4,8	6,3	3,0	8,9
5	4,9	0,0	5,6	0,1	3,6	0,1	4,5	2,3	2,9	3,7
13	4,7	0,0	5,9	0,1	3,4	0,6	4,4	3,8	2,7	4,4
Média	4,7	0,0	5,9	0,2	4,0	0,5	4,4	4,1	2,9	5,3
±s	0,2	0,1	0,2	0,2	0,7	0,4	0,3	1,7	0,1	2,4
Idade	Tempo de incubação (semana)						Mineralização total		$\text{N-NH}_4^+:\text{N-NO}_3^-$	
	7-11		11-15		15-19		$\text{N-NH}_4^+$	$\text{N-NO}_3^-$		
	$\text{N-NH}_4^+$	$\text{N-NO}_3^-$	$\text{N-NH}_4^+$	$\text{N-NO}_3^-$	$\text{N-NH}_4^+$	$\text{N-NO}_3^-$				

longo do tempo de incubação, que se intensificou a partir da sexta e oitava semanas. Contudo, outra possível explicação seria que a vedação dos tubos de percolação tenha restringido a entrada de oxigênio, promovendo uma condição pouco favorável para nitrificação na fase inicial de incubação, não havendo tempo suficiente para o estabelecimento de uma população ativa de microrganismos nitrificantes, gerando assim baixa concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  no solo. Por outro lado, o decréscimo das produções de  $\text{N-NO}_3^-$  e de  $\text{N-NH}_4^+$  a partir da décima primeira semana (Quadro 3) de incubação deve ter sido ocasionado pelo esgotamento de substrato orgânico para a atividade dos microrganismos, limitando o processo de amonificação e, conseqüentemente, a nitrificação.

A razão média  $\text{N-NH}_4^+ : \text{N-NO}_3^-$  dos solos estudados durante todo o experimento foi igual a  $1 \pm 0,4$ . Diversos estudos também mostraram que o  $\text{N-NH}_4^+$  foi a forma predominante de N mineral em sítios florestais (Rice & Pancholy, 1972; Gonçalves et al., 2000, 2001; Gama-Rodrigues et al., 2005). Segundo Carlyle (1986) e Gonçalves et al. (2001), a magnitude do processo de nitrificação em povoamentos florestais é pequena em relação à verificada na maioria das áreas usadas para fins agrícolas, devido às condições adversas dos vários solos usados para fins florestais, como baixa fertilidade natural e elevada acidez. Na maioria dos solos usados para fins florestais, a demanda por N dos organismos heterotróficos do solo é tão grande, em resposta à disponibilidade de C, que sobra pouco  $\text{N-NH}_4^+$  dos processos de mineralização da matéria orgânica para serem nitrificados (Attiwill & Leeper, 1987).

Ao considerar as produções não acumuladas de  $\text{C-CO}_2$  no final de cada período de incubação, verificou-se também tendência semelhante entre os solos estudados quanto às quantidades mineralizadas, mas não se observou decréscimo da quantidade de C mineralizado até o final da incubação, evidenciando que ainda havia disponibilidade de substrato orgânico para atividade dos microrganismos (Quadro 4).

Dos dois modelos analisados, apenas o exponencial simples (Stanford & Smith, 1972), que considera um

único reservatório de N, mostrou bom ajuste aos dados de N e C mineralizados de todos os solos estudados. O modelo baseado na equação exponencial dupla, que preconiza a existência de uma fração lábil e outra recalcitrante (Molina et al., 1980), ajustou-se apenas aos dados de N mineralizado, porém não gerou parâmetros significativos a 1 %. Camargo et al. (2008) não recomendam a utilização deste modelo, pois verificaram que o modelo exponencial duplo não melhorou a estimativa do teor de N orgânico mineralizado.

O modelo exponencial simples (Stanford & Smith, 1972) ajustou adequadamente os resultados do presente trabalho, mesmo estimando valores de  $N_0$  e  $C_0$ , em geral, ligeiramente superiores aos de N e C mineralizados durante as 19 semanas de incubação (Quadros 5 e 6). Para Gonçalves et al. (2001), este mesmo modelo superestimou os valores de  $N_0$ ; para Araújo et al. (2001), subestimou; e para Camargo et al. (1997), estimou adequadamente, com valores de  $N_0$  ligeiramente inferiores aos de  $N_m$ . Camargo et

**Quadro 5. Mineralização acumulada de N ( $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ ) e de C ( $\text{CO}_2$ ) em 19 semanas de incubação e relação entre C:N mineralizado em amostras de solos sob plantações de eucalipto de diferentes idades**

Idade	$N_m^{(1)}$	Cm	C:N mineralizado
	—— mg kg <sup>-1</sup> ——		
1	59,30a <sup>(2)</sup>	605,9b	10,2a
3	66,06a	1.122,5a	17,0a
5	48,46a	665,9b	13,7a
13	56,89a	918,1a	16,1a
Média	57,68	828,1	14,3
±s	6,29	206,4	2,6

<sup>(1)</sup>  $N_m$ : N mineralizado acumulado; Cm: C mineralizado acumulado; C:N mineralizado- Relação C mineralizado/ N mineralizado. <sup>(2)</sup> Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 5 %.

**Quadro 4. Quantidades médias de C mineralizado (produção de  $\text{C-CO}_2$ ) em solos amostrados de plantações de eucalipto de diferentes idades, ao longo de 19 semanas de incubação**

Idade	Tempo de Incubação (semana)							
	0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-11	11-15	15-19
	mg kg <sup>-1</sup>							
1	74,8	158,7	14,0	79,2	93,4	17,4	69,5	99,90
3	118,5	192,5	73,5	153,0	192,3	112,5	132,8	147,3
5	61,7	133,9	62,7	86,3	108,7	41,0	77,1	94,5
13	105,7	110,7	93,7	112,1	149,7	168,8	79,7	97,6
Média	72,3	119,6	49,4	87,1	110,2	70,1	74,8	91,5
±s	41,1	64,7	35,0	48,5	62,0	61,1	37,4	41,2

al. (2002) observaram que os modelos exponenciais simples descrevem adequadamente a mineralização do N orgânico nos solos. Gianello & Bremner (1986, 1988) constataram bom potencial preditivo do N mineralizado em 33 solos brasileiros a partir das estimativas obtidas por meio do modelo Stanford & Smith (1972).

Gonçalves et al. (2001) sugeriram a utilização da equação  $N_t = N_0 + b/t$ , que apresentou melhor ajuste aos seus dados que o modelo de Stanford & Smith (1972); contudo, destacaram que o uso desta equação deve se restringir a  $t$  igual a 20 semanas em temperatura média de 20 °C, sendo necessário um maior período para temperaturas maiores, recomendando-se no máximo 28 °C.

A relação C:N mineralizado variou entre 10 e 17, não havendo diferença significativa entre os solos (Quadro 5), o que reflete uma capacidade semelhante de os solos sob as diferentes idades fornecerem N inorgânico e C lábil. Esses valores foram menores que os observados por Araújo et al. (2001) (média de 22) e maiores que os verificados por Nunes (2008) (média de 5,6), em solos sob cana-de-açúcar e sob diferentes coberturas florestais, respectivamente. O valor intermediário da relação C:N mineralizado do presente trabalho expressa uma média eficiência de conversão do N e C orgânicos dos solos sob eucalipto para formas inorgânicas simples de N e para C-CO<sub>2</sub>, respectivamente.

Após 19 semanas de incubação, o N mineralizado acumulado (Nm) foi, em média, de 58 mg kg<sup>-1</sup> de N e não variou significativamente entre os solos, não havendo, portanto, relação dos valores de Nm com as idades das plantações (Quadro 5). Esse valor foi em torno de 30 % superior ao encontrado por Gonçalves et al. (2001) em plantações de eucalipto e quase o dobro do encontrado por Araújo et al. (2001) em solos sob cana-de-açúcar. Esse resultado representa 70 kg ha<sup>-1</sup> de N, na camada de 0–10 cm (considerando densidade

do solo de 1,2 g cm<sup>-3</sup>), e destaca a reserva potencial de N orgânico decomponível em plantações de eucalipto.

A constante de mineralização média ( $k_N$ ) de N dos solos foi de 0,0789 semana<sup>-1</sup> (0,0113 dia<sup>-1</sup>) (Quadro 6), inferior às médias encontradas por Rhoden et al. (2006) (0,2078 semana<sup>-1</sup>) e por Silva et al. (2008) (0,2058 semana<sup>-1</sup>) em solos de várzea; Camargo et al. (1997) (0,3196 semana<sup>-1</sup>), em solos sob vegetação nativa; e Alves (1992) (0,0224 dia<sup>-1</sup>), em solos sob gramíneas. Por outro lado, foi superior à encontrada por Gonçalves et al. (2001) (0,031 semana<sup>-1</sup>) em solos sob ecossistemas florestais. A variação dos valores de  $k$  sugere que os solos podem diferir não somente com relação à fração de N orgânico ativo, mas também em relação ao *turnover* microbiano (Benbi & Richer, 2002). Entretanto, é importante ressaltar que essas variações podem ser decorrentes tanto do método de incubação utilizado, como também das diferenças entre os modelos matemáticos adotados (Camargo et al., 2002; Silva et al., 2008).

As quantidades de N potencialmente mineralizável (N<sub>o</sub>) variaram de 58 a 89,7 mg kg<sup>-1</sup> (70 a 104 kg ha<sup>-1</sup> na camada de 0–10 cm), o que representa de 3,4 a 5,2 % do N total do solo (N<sub>t</sub>), tomando por base a razão N<sub>o</sub>:N<sub>t</sub> (Quadro 6). Esses resultados suportam a hipótese de que apenas cerca de 5 % do reservatório de N orgânico total do solo é mineralizado por ano (Moreira & Siqueira, 2002; Camargo et al., 2008). Gonçalves et al. (2001) encontraram proporção de mineralização de N variando de 1 a 6 %, em solos sob plantações de eucalipto, e de 3 a 9 %, em solos sob floresta nativa, atribuindo essa variação, principalmente, ao teor e qualidade da matéria orgânica e textura do solo. Apesar desses resultados, estes autores constataram que nos solos sob eucalipto os níveis de N potencialmente mineralizável foram similares aos de floresta nativa.

Os solos do presente trabalho apresentaram, em média 1,8 g kg<sup>-1</sup> de N (2.100 kg ha<sup>-1</sup> na camada de 0–

**Quadro 6. Nitrogênio e C potencialmente mineralizáveis, constantes de mineralização, obtidas por ajuste de modelo exponencial simples (Stanford & Smith, 1972), e relações entre potenciais de mineralização e características químicas de solos amostrados em plantações de eucalipto de diferentes idades**

Idade	N <sub>o</sub> <sup>(1)</sup>	C <sub>o</sub>	k <sub>N</sub>	k <sub>C</sub>	r <sup>2</sup> <sub>No</sub>	r <sup>2</sup> <sub>Co</sub>	EPE <sub>No</sub>	EPE <sub>Co</sub>	N <sub>o</sub> :N <sub>t</sub>	C <sub>o</sub> :C <sub>org</sub>
	— mg kg <sup>-1</sup> —		— semana <sup>-1</sup> —						— % —	
1	77,7	569,1	0,0774	0,1820	0,998***	0,946***	3,11	4,07	5,2	2,7
3	89,7	1.186,4	0,0723	0,1261	0,998***	0,989***	4,52	5,95	4,7	4,0
5	58,0	667,9	0,0914	0,1482	0,999***	0,978***	1,42	3,87	3,4	2,5
13	76,1	1.025,9	0,0746	0,1137	0,996***	0,998***	4,56	2,66	4,2	4,2
Média	75,4	862,3	0,0789	0,1425					4,38	3,4
±s	11,4	252,8	0,0074	0,0259					0,66	0,8

<sup>(1)</sup> N<sub>o</sub> - N potencialmente mineralizável; k<sub>N</sub> - constante da mineralização de N; r<sup>2</sup><sub>No</sub>: coeficiente de determinação do ajuste para a estimativa do N<sub>o</sub>; EPE<sub>No</sub> - erro-padrão da estimativa de N<sub>o</sub>; C<sub>o</sub>: C potencialmente mineralizável; k<sub>C</sub>: constante da mineralização de C; r<sup>2</sup><sub>Co</sub>: coeficiente de determinação do ajuste para a estimativa do C<sub>o</sub>; EPE<sub>Co</sub>: erro-padrão da estimativa de C<sub>o</sub>; \*\*\*: p < 0,001; N<sub>o</sub>:N<sub>t</sub>: relação N potencialmente mineralizável/ N total; C<sub>o</sub>:C<sub>org</sub>: relação C potencialmente mineralizável/ C orgânico.



10 cm) e podem mineralizar, em média, 90 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, admitindo-se que o valor de N<sub>o</sub> seja a quantidade do N total do solo que é potencialmente mineralizável em um ano. Assim, considerando apenas a exportação de N com o corte (via madeira descascada) em plantações de eucalipto, em torno de 110 kg ha<sup>-1</sup> rotação<sup>-1</sup> (cinco anos cada), pode-se deduzir que os estoques de N da camada de 0–10 cm do solo seriam suficientes para quatro rotações de cultivo, o que torna evidente que a mineralização representa uma grande fonte de N e explica, em parte, a baixa magnitude de resposta à adubação nitrogenada pelas plantações de eucalipto.

As quantidades totais de C mineralizado, no final das 19 semanas de incubação, diferiram significativamente entre os solos (Quadro 5). Entretanto, não houve aparente relação dessa variação com as idades das plantações, já que as maiores quantidades de C mineralizado acumulado (C<sub>m</sub>) foram encontradas nos solos com as idades de 3 e 13 anos (Quadro 5).

A média de C mineralizado acumulado (C<sub>m</sub>) foi de 828 mg kg<sup>-1</sup> de solo, variando de 606 a 1.122 mg kg<sup>-1</sup> (Quadro 5). Esses valores foram maiores que os encontrados por Araújo et al. (2001) em solos cultivados com cana-de-açúcar; por Nunes (2008), em solos sob diferentes coberturas florestais; e por Mantovani et al. (2006), em solos que receberam aplicação de composto orgânico. Esses resultados evidenciariam que plantações de eucalipto possuiriam elevado estoque de C orgânico prontamente mineralizável no solo.

A média da taxa de mineralização (k<sub>C</sub>) de C para os solos sob as diferentes idades foi de 0,1425 semana<sup>-1</sup> (0,0204 dia<sup>-1</sup>) (Quadro 6). Em plantações de eucalipto são relatadas baixas taxas de decomposição em consequência da baixa qualidade nutricional da serapilheira (Adams & Atiwill, 1986; Louzada et al., 1997; Costa et al., 2005), decorrente da eficiente retranslocação de nutrientes (ciclagem bioquímica) (Gama-Rodrigues & Barros, 2002). Aparentemente, a taxa de mineralização do C orgânico do solo e o C potencialmente mineralizável (C<sub>o</sub>), verificados no presente estudo, não foram influenciados pela variação da acumulação e qualidade da serapilheira com a idade do eucalipto, verificada por Barreto et al. (2008) nessas mesmas plantações.

O C potencialmente mineralizável (C<sub>o</sub>) foi, em média, de 862 mg kg<sup>-1</sup> de C-CO<sub>2</sub> no solo, o que representa 3,4 % do C orgânico do solo (C<sub>org</sub>), de acordo com a razão C<sub>o</sub>:C<sub>org</sub> (Quadro 6). Apesar do elevado valor de C<sub>o</sub>, que expressa o grande potencial de mineralização de C dos solos, o baixo potencial relativo de mineralização de C é indicativo de que apenas uma pequena proporção do reservatório de C orgânico total do solo é decomponível, o que sugeriria uma acumulação de C nos solos, possivelmente associada à baixa qualidade da serapilheira do eucalipto (Adams & Atiwill, 1986; Louzada et al., 1997; Gama-Rodrigues & Barros, 2002; Costa et al., 2005). Isso destaca a

importância da manutenção da serapilheira e dos resíduos pós-colheita sobre o solo.

Resultados encontrados por Gama-Rodrigues et al. (2005), Barreto et al. (2008) e Gama-Rodrigues et al. (2008) sugerem que a biomassa microbiana da serapilheira de plantações de eucalipto constitui um compartimento de relevante contribuição no fornecimento de C e N, sobretudo em solos de baixa fertilidade, já que a biomassa microbiana constitui parte do C e N potencialmente mineralizável (Marumoto et al., 1982; Bonde et al., 1988).

## CONCLUSÕES

1. A taxa e o potencial de mineralização de C e N não foram influenciados pela idade das plantações do eucalipto.
2. As reservas de N potencialmente mineralizável dos solos seriam suficientes para atender à demanda de N pelo eucalipto em rotações futuras.

## LITERATURA CITADA

- ADAMS, M.A. & ATIWILL, P.M. Nutrient cycling an nitrogen mineralization in eucalypt forests south-eastern Australia. I- Nutrient cycling and nitrogen turnover. *Plant Soil*, 92:319-339, 1986.
- ALVES, B.J.R. Avaliação da mineralização do N do solo in situ. Itaguaí, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1992. 177p. (Tese de Mestrado)
- ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. & URQUIAGA, S.A. Rapid and sensitive flow injection technique for the analysis of ammonium in soil extracts. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 24:277-284, 1993.
- ALVES, G.D. Mineralização de carbono e nitrogênio em 20 solos do Estado de Pernambuco e absorção de nitrogênio pelo sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench.). Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1989. 75p. (Tese de Mestrado)
- ANDERSON, J.D. & INGRAM, J.S.I. Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. 2.ed. Wallingford, CAB International, 1996. 171p.
- ARAÚJO, A.M.S.; SAMPAIO, E.V.S.B. & SALCEDO, I.H. Mineralização de carbono e nitrogênio em amostras armazenadas de solo cultivado com cana-de-açúcar, ao longo de dez anos, com e sem fertilização nitrogenada. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:43-53, 2001.
- ATTIWILL, P.M. & LEEPER, G.W. Forest soils and nutrient cycles. Victoria, Melbourne University Press, 1987.
- BARRETO, P.A.B. Biomassa microbiana e mineralização de carbono e nitrogênio em povoamentos de eucalipto, em uma sequência de idades. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2004. 86p. (Tese de Mestrado)

- BARRETO, P.A.B.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F. & FONSECA, S. Atividade, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em plantações de eucalipto, em uma sequência de idades. R. Bras. Ci. Solo, 32:611-619, 2008.
- BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. & NOVAIS, R.F. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F., eds. Relação solo-eucalipto. Viçosa, MG, Folha de Viçosa, 1990. p.127-186.
- BENBI, D. & RICHER, J. A critical review of some approaches to modeling nitrogen mineralization. Biol. Fert. Soils, 35:168-183, 2002.
- BONDE, T.A.; SCHNÜRER, J. & ROSSWALL, T. Microbial biomass as a fraction of potentially mineralizable nitrogen in soils from long-term field experiments. Soil Biol. Biochem., 20:447-452, 1988.
- CAMARGO, F.A.O.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J. & VIDOR, C. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O. eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p.87-100.
- CAMARGO, F.A.O.; GIANELLO, C. & VIDOR, C. Potencial de mineralização de nitrogênio em solos do Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 21:575-579, 1997.
- CAMARGO, F.A.O.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J.; RIBOLDI, J.; MEURER, E.J. & BISSANI, C.A. Empirical models to predict soil nitrogen mineralization. Ci. Rural, 12:393-399, 2002.
- CARLYLE, J.C. Nitrogen cycling in forested ecosystems. For. Abstract, 47:307-336, 1986.
- COSTA, G.S.; GAMA-RODRIGUES, A.C. & CUNHA, G.M. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no Norte Fluminense. R. Árvore, 29:563-570, 2005.
- DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análise química do solo. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1981. 17p. (Boletim de Extensão, 29)
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Quantitative indicators of soil quality: A minimum data set. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. Methods for assessing soil quality. Madison, Soil Science Society of America, 1996. p.25-37. (SSSA Special Publication, 49)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997.412p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- GAMA-RODRIGUES, A.C. & BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dandá no sudoeste da Bahia, Brasil. R. Árvore, 26:193-207, 2002.
- GAMA-RODRIGUES, E.F.; BARROS, N.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. & SANTOS, G.A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. R. Bras. Ci. Solo, 29:393-901, 2005.
- GAMA-RODRIGUES, E.F.; BARROS, N.F.; VIANA, A.P. & SANTOS, G.A. Alterações na biomassa e na atividade microbiana da serapilheira e do solo, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações de eucalipto, em diferentes sítios da região sudeste do Brasil. R. Bras. Ci. Solo, 32:1489-1499, 2008.
- GIANELLO, C. & BREMNER, J. A rapid steam distillation method of assessing potentially available organic nitrogen in soil. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 19:1551-1568, 1988.
- GIANELLO, C. & BREMNER, J. Comparison of chemical methods of assessing potentially available organic nitrogen in soil. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 17:215-236, 1986.
- GINÉ, M.F.; BERGAMIN FILHO, H.; ZAGATTO, E.A.G. & REIS, B.F. Simultaneous determination of nitrate and nitrite by flow injection analysis. Anal. Chim. Acta, 114:191-197, 1980.
- GONÇALVES, J.L.M. Efeito do cultivo mínimo sobre a fertilidade do solo e ciclagem de nutrientes. In: DISPERATI, A.A.; FERREIRA, C.A.; MACHADO, C.; GONÇALVES, J.L.M. & SOARES, R.V. SEMINÁRIO SOBRE CULTIVO MÍNIMO DO SOLO EM FLORESTAS, 1., Curitiba, 1995. p.43-60.
- GONÇALVES, J.L.M.; MENDES, K.C.F.S. & SASAKI, C.M. Mineralização de nitrogênio e carbono em ecossistemas florestais naturais e implantados no Estado de São Paulo. R. Bras. Ci. Solo, 25:601-616, 2001.
- GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; BENEDETT, V.; FESSEL, V.A.G. & GAVA, J.L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J.L.M. & BENEDETT, V., eds. Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba, IPEF, 2000. p.1-58.
- KINJO, T.; MARCOS, Z.Z. & JACOB, O.M. Produção de nitrato por incubação de amostras do horizonte AP de solos da região canavieira de Piracicaba. R. Bras. Ci. Solo, 2:103-106, 1978.
- LI, H.; HAN, Y. & CAI, Z. Nitrogen mineralization in paddy soils of the Taihu Region of China under anaerobic conditions: Dynamic and model fitting. Geoderma, 115:161-175, 2003.
- 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.
- LUGO, A.E.; CUEVAS, E. & SANCHEZ, M.J. Nutrients and mass in litter and soil of ten tropical tree plantations. Plant Soil, 125:263-280, 1990.
- MANTOVANI, J.R.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; BARBOSA, J.C. & FREIRIA, A.C. Mineralização de carbono e de nitrogênio provenientes de composto de lixo urbano em Argissolo. R. Bras. Ci. Solo, 30:677-684, 2006.

- MARUMOTO, T.; ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. Mineralization of nutrients from soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 14:469-475, 1982.
- MINHONI, M.T.A. & CERRI, C.C. Decomposição de vinhaça em solo sob diferentes níveis de umidade: Liberação de CO<sub>2</sub>, formação de biomassa microbiana e imobilização do nitrogênio adicionado. *R. Bras. Ci. Solo*, 11:25-30, 1987.
- MOLINA, J.A.E.; CLAPP, C.E. & LARSON, W.E. Potentially mineralizable nitrogen in soil: The simple exponential model does not apply for the first 12 weeks of incubation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44:442-443, 1980.
- MORA, A.L. & GARCIA, C.H. A cultura do eucalipto no Brasil. São Paulo, Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 112p.
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2002. 626p.
- NUNES, D.A.D. Mineralização de C e N em solos sob diferentes coberturas vegetais. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2008. 26p. (Monografia de conclusão de curso de Graduação em Agronomia)
- PATRIK JR., W.H. Nitrogen transformations in submerged soils. In: STEVENSON, F.J., ed. Nitrogen in agricultural soils. Madison, ASA, CSSA, SSSA, 1982. p.449-466.
- POGGIANI, F.; COUTO, H.T.Z.; CORRADINI, L. & FAZZIO, E.C.M. Exportação de biomassa e nutrientes através da exploração dos troncos e das copas de um povoamento de *Eucalyptus saligna*. *IPEF*, 25:37-39, 1983.
- PÖTTKER, D. & TEDESCO, M.J. Efeito do tipo e tempo de incubação sobre a mineralização da matéria orgânica e nitrogênio total em solos do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 3:20-24, 1979.
- 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.265-302.
- REIS, M.G.F.; BARROS, N.F. & KIMMINS, J.P. Acúmulo de nutrientes em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis* W. Hill (ex-maiden) plantado no Cerrado em duas áreas com diferentes produtividades, em Minas Gerais. *R. Árvore*, 11:1-15, 1987.
- REZENDE, C.P.; CANTARUTTI, R.B.; BRAGA, J.M.; GOMIDE, J.A.; PEREIRA, J.M.; FERREIRA, E.; TARRÉ, R.; MACEDO, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; CADISCH, G.; GILLER, K.E. & BODDEY, R.M. Litter deposition and disappearance in *Brachiaria* pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 54:99-112, 1999.
- RHODEN, A.C.; DA SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A.O.; BRITZKE, D. & BENEDETTI, E.L. Mineralização anaeróbia do nitrogênio em solos de várzea do Rio Grande do Sul. *Ci. Rural*, 36:1780-1787, 2006.
- RICE, E.L. & PANCHOLY, S.K. Inhibition of nitrification by climax ecosystems. *Am. J. Bot.*, 59:1033-1040, 1972.
- SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.S.B. & ALVES, G.D. Mineralização do C e do N em solo cultivado com cana-de-açúcar. *R. Bras. Ci. Solo*, 9:33-38, 1985.
- SCHUMACHER, M.V. & POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Muell, plantados em Anhembi, SP. *Ci. Flor.*, 3:21-34, 1993.
- SILVA, L.S.; RHODEN, A.C.; POCOJESKI, E.; CAMARGO F.A.O. & BENEDETTI, E.L. Modelos matemáticos para a estimativa do potencial de mineralização anaeróbia do nitrogênio em solos de várzea do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1513-1520, 2008.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA - SBS. Área plantada com pinus e eucaliptos no Brasil – 2001. Disponível em: < <http://www.sbs.org.br/estatisticas.htm> >. Acessado em 03 nov. 2008.
- STANFORD, G. & SMITH, S.J. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 36:465-472, 1972.
- STEVENSON, F.J. Cycles of soil: Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. New York, J. Wiley, 1985. 380p.
- TRINSOUTROT, I.; RECOUS, S.; BENTZ, B.; LINÈRES, M.; CHÈNEBY, D. & NICOLARDOT, B. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:918-926, 2000.
- WARDLE, D.A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. *Biol. Rev.*, 67:21-358, 1992.