

# SEÇÃO IV - FERTILIDADE E NUTRIÇÃO DO SOLO

## CICLAGEM E BALANÇO DE NUTRIENTES EM POVOAMENTOS DE EUCALIPTO NA REGIÃO NORTE FLUMINENSE<sup>(1)</sup>

F. C. ZAIA<sup>(2)</sup> & A. C. GAMA-RODRIGUES<sup>(3)</sup>

### RESUMO

Os estudos sobre a ciclagem de nutrientes em povoamentos de eucalipto permitem avaliar possíveis alterações decorrentes de técnicas de manejo aplicadas e possibilitam inferir sobre a sustentabilidade das plantações. O objetivo deste trabalho foi avaliar eventuais diferenças na ciclagem e no balanço de nutrientes em povoamentos de três espécies de eucaliptos. Avaliaram-se plantios de *Eucalyptus grandis*, *E. camaldulensis* e *E. pellita* na idade de seis anos, em solos de tabuleiros (Latosolo e Argissolo Amarelo) de relevo ondulado no norte fluminense, no período de abril de 1999 a dezembro de 2001. Os solos sob as espécies florestais pouco se diferenciaram em relação à fertilidade. A produção de biomassa para todas as espécies foi muito baixa. A biomassa da parte aérea do *E. pellita* (71,9 Mg ha<sup>-1</sup>) foi superior à das demais espécies. Em todas as espécies, a maior porção de biomassa foi alocada no tronco (87,92 %). Em geral, as maiores quantidades de N, P e K foram encontradas no lenho e as de Ca e Mg, na casca. O Ca foi o nutriente de maior acumulação na parte aérea. As espécies pouco se diferenciaram na acumulação de nutrientes. Entretanto, o *E. pellita* foi a espécie que mostrou maior eficiência de uso de nutrientes. Os resultados evidenciam que as espécies de eucalipto distinguem-se marcadamente na intensidade de ciclagem bioquímica e biogeoquímica e no balanço de nutrientes.

**Termos de indexação:** decomposição; biomassa; serapilheira; fertilidade do solo; *Eucalyptus* spp.

---

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em outubro de 2003 e aprovado em setembro de 2004.

<sup>(2)</sup> Mestrando do Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. Laboratório de Solos, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias (CCTA). CEP 28013-602 Campos dos Goytacazes (RJ). Bolsista UENF-FAPERJ. E-mail: zaia@uenf.br

<sup>(3)</sup> Professor Associado do Laboratório de Solos, CCTA/UENF. Bolsista FAPERJ. E-mail: tonygama@uenf.br

**SUMMARY:** *NUTRIENT CYCLING AND BALANCE IN EUCALYPT PLANTATION SYSTEMS IN NORTH OF RIO DE JANEIRO STATE, BRAZIL*

*Nutrient cycling in eucalypt plantation systems allows for an evaluation of eventual differences due to the applied management methods and inferences on the sustainability of plantations. The aim of this study was to evaluate possible differences in nutrient cycling and balance in eucalypt plantation systems according to the species. Stands of *Eucalyptus grandis*, *E. camaldulensis*, and *E. pellita* were evaluated at the age of six years, in the Coastal Plains in the north of Rio de Janeiro State (Yellow Oxisol and Argisol) from April 1999 to December 2001. Soils under the forest species differed little in relation to fertility. The biomass production of all species was very low. The above-ground biomass of *E. pellita* ( $71.9 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) was superior to the other species. In all species, the largest biomass portion was allocated in the stem (87.92 %). In general, largest amounts of N, P and K were found in the wood and Ca and Mg in the bark. Ca was the nutrient with highest above-ground accumulation. The species differed little in the accumulation of nutrients. However, *E. pellita* was the species that showed highest efficiency in nutrient use. Results indicate the superiority of eucalyptus species in the intensity of biochemical and biogeochemical cycling and of nutrient balance.*

*Index terms:* Decomposition; litter, biomass; soil fertility; *Eucalyptus spp.*

## INTRODUÇÃO

Na região Norte do Estado do Rio de Janeiro, a demanda energética de origem vegetal é elevada pelo fato de encontrar-se, nesta região, um dos maiores pólos ceramistas do Brasil. Parte da demanda madeireira é suprida por plantios de eucalipto localizados no norte do Estado do Espírito Santo. Historicamente, o Norte Fluminense caracteriza-se como grande produtor de cana-de-açúcar, mas, em razão da desaceleração do pró-álcool, milhares de hectares dos tabuleiros costeiros, atualmente, apresentam baixa produtividade ou, então, estão à margem do processo produtivo. Diante dessa situação, a cultura do eucalipto poderia simultaneamente suprir a demanda energética local e ser uma opção rentável para o uso da terra.

Estudos sobre a ciclagem de nutrientes em povoamentos de eucalipto permitem avaliar possíveis alterações decorrentes de técnicas de manejo aplicadas e possibilita inferir sobre a sustentabilidade da produção. As informações a respeito das quantidades de nutrientes encontradas no solo, na serapilheira e na biomassa aérea são importantes para a definição de estratégias para manutenção da sua sustentabilidade florestal (Spangenberg et al., 1996).

Em plantios de eucalipto, a quantidade, a distribuição relativa e a eficiência de utilização de nutrientes dependem da espécie, da idade, do manejo e das condições edafoclimáticas (Morais et al., 1990; Pereira, 1990; Reis & Barros, 1990; Santana et al., 1999; Gama-Rodrigues & Barros, 2002).

O manejo nutricional de um povoamento florestal requer a quantificação dos estoques e dos fluxos de nutrientes no ecossistema. Em florestas plantadas, como nas de eucalipto, a quantidade de nutrientes existentes no solo e a exportada durante a exploração florestal são de grande importância na definição do balanço de nutrientes e da eventual necessidade de aplicação de fertilizantes (Melo et al., 1995). A quantidade de nutrientes a ser reposta via fertilizante será menor se durante uma exploração florestal, deixarem-se a casca e os componentes da copa, retirando-se somente a madeira (Teixeira, 1987; Melo et al., 1995; Gama-Rodrigues & Barros, 2002; Miranda et al., 2002).

Contudo, quando o povoamento se destina à produção de energia a exportação de nutrientes é mais elevada tendo em vista que mesmo os galhos mais finos podem ser utilizados para tal objetivo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar eventuais diferenças na ciclagem e no balanço de nutrientes em povoamentos de três espécies de eucalipto na região Norte Fluminense.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no município de Campos dos Goytacazes - RJ, ( $21^{\circ} 44' 47'' \text{ S}$  e  $41^{\circ} 18' 24'' \text{ W}$ ), em povoamentos de *Eucalyptus grandis*, *E. camaldulensis* e de *E. pellita*, no espaçamento  $3 \times 2 \text{ m}$ , na idade de 6 anos, no período de abril de 1999 a dezembro de 2001. Na época de plantio, a

adubação consistiu da adição de 50 g por cova de superfosfato simples. Os povoamentos estão localizados em solos de tabuleiro: *E. grandis* - Argissolo Amarelo, *E. camaldulensis* e *E. pellita* - Latossolo Amarelo, em relevo ondulado. O clima da região pela classificação de Köppen é do tipo Am, quente e úmido, com precipitação média anual de 900 mm, concentrada no período de novembro a janeiro; a temperatura e a umidade relativa do ar, médias, durante o período de estudo, foram de 22,7 °C e 80 %, respectivamente.

Antes do plantio do eucalipto, a área foi utilizada para o cultivo da cana-de-açúcar por período superior a 50 anos.

Em todos os povoamentos, foram avaliados a ciclagem e o balanço em quatro parcelas de 500 m<sup>2</sup> para amostragem da biomassa e do solo. Em cada parcela, foram medidos a altura e o diâmetro à altura do peito (DAP) das árvores. O diâmetro das árvores variou de 1,5 a 26 cm, com valor médio de 11,7 cm e área basal média de 12,06 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. Quantificou-se a biomassa (folha, galho, casca e lenho) de árvores com dimensões, em altura e DAP, próximas à da média. Para cada povoamento, selecionaram-se e abateram-se três árvores dominantes (por expressar melhor o potencial de produtividade das espécies). A matéria seca dos componentes das árvores foi determinada com base na biomassa de amostras submetidas à secagem em estufa a 75 °C, até peso constante.

A produção e a acumulação de serapilheira foram determinadas no período de um ano. A serapilheira consistiu de todo material transferido da parte aérea para o solo. A produção de serapilheira foi quantificada mensalmente em dez coletores de 1,00 m<sup>2</sup>, instalados próximos à árvore média da parcela. A serapilheira foi separada em quatro componentes: folheto (folhas com diferentes graus de senescência), galhos, casca e outros (inflorescência, frutos, etc). A amostragem da serapilheira acumulada de todas as parcelas foi feita semestralmente (inverno e verão), a partir de cinco amostras simples, utilizando-se um gabarito de madeira de 0,25 m<sup>2</sup>. Uma amostra composta, obtida a partir das cinco amostras simples, foi utilizada para análise química (de cada parcela). Determinaram-se, ainda, nos componentes das árvores e na serapilheira produzida e acumulada, os teores de K (fotometria de chama), de P (colorimetria, pelo método do complexo fosfomolibdico, reduzido com vitamina C, modificado por Braga & Defelipo, 1974), de Ca e Mg (espectrofotometria de absorção atômica), após digestão nítrico-perclórica, e de N, pelo método Kjeldahl, descritos por Bataglia et al. (1983).

Para reduzir a contaminação da serapilheira acumulada por solo, fez-se a separação do material por peneiramento seqüencial, em peneiras de malhas de 4, 2 e 1 mm, tendo sido descartado o material de solo ainda retido nas peneiras (Gama-Rodrigues & Barros, 2002).

O solo de cada parcela foi caracterizado quimicamente em uma amostra composta, obtida a partir de 20 amostras simples, coletadas na profundidade de 0–10 cm. Em três trincheiras, coletaram-se amostras nas seguintes profundidades: 0–20; 20–40; 40–60; 60–80 cm. Nessas amostras, determinaram-se: pH (água); P e K extraíveis por Mehlich-1; Ca, Mg e Al extraíveis por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; H + Al extraíveis por NH<sub>4</sub>OAc 1 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0; C orgânico, determinado por oxidação com K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,4 mol L<sup>-1</sup>; e N total, determinado pelo método Kjeldahl, conforme descritos por Embrapa (1997). A análise granulométrica também foi realizada em cada perfil.

Com os dados de concentração de nutrientes e biomassa, calcularam-se o conteúdo de nutrientes e o coeficiente de utilização biológico (CUB) (matéria seca por conteúdo de nutrientes no componente da árvore avaliado) (Leite et al., 1998).

Foram estimados os valores dos coeficientes de decomposição (*k*) e do tempo médio de residência de nutriente (TMR) da serapilheira. O valor *k* é a relação massa de serapilheira produzida/massa de serapilheira acumulada (Anderson & Ingram, 1989). O TMR é a relação quantidade de nutriente da serapilheira acumulada/quantidade de nutriente da serapilheira produzida (Adams & Attiwill, 1986).

Para o balanço nutricional, tomaram-se valores dos conteúdos dos nutrientes no solo (em diferentes profundidades), na serapilheira acumulada e nos componentes das árvores, para cada espécie de eucalipto. O balanço nutricional foi obtido pela seguinte expressão:

$$\text{Balanço de Nutrientes} = \text{solo} - (\text{parte aérea} + \text{serapilheira})$$

A intensidade do processo de ciclagem bioquímica nas folhas foi avaliada pelas variações percentuais nas concentrações de nutrientes entre folhas da parte aérea (F) e do folheto (Fo). Já as variações percentuais nas concentrações de nutrientes entre o folheto (Fo) e a serapilheira foliar (S) foram indicadoras da intensidade de ciclagem biogeoquímica dos nutrientes contidos na serapilheira (Reis & Barros, 1990; Leite et al., 1998; Gama-Rodrigues & Barros, 2002). Assim, a ciclagem foi estimada a partir da seguinte expressão:

$$\text{Ciclagem bioquímica (folheto vs folhas)} = \frac{([Fo] - [F])}{[F]} \times 100$$

$$\text{Ciclagem biogeoquímica (serapilheira vs folheto)} = \frac{([S] - [Fo])}{[Fo]} \times 100$$

Na análise de variância dos dados de fitomassa e composição química da serapilheira e dos atributos físicos e químicos do solo nas parcelas das coberturas florestais, adotou-se o delineamento inteiramente

casualizado, com quatro repetições, a exemplo do procedimento empregado por Lugo et al. (1990). Para comparar as médias, foi usado o teste de Tukey a 5 %. Cada espécie de eucalipto foi considerada um tratamento de efeito fixo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Solo

Não houve diferença significativa entre as espécies florestais para o nível de fertilidade do solo. Com base na classificação proposta por Tomé Junior (1997) e Alvarez V. et al. (1999), os solos sob todos os povoamentos florestais apresentaram acidez elevada e baixa fertilidade (Quadro 1). Entretanto, para algumas características físicas houve distinção entre as espécies. Os solos sob povoamentos de *E. pellita* e *E. camaldulensis* mostraram teores médios de argila de 343 g kg<sup>-1</sup> e sob *E. grandis* de 240 g kg<sup>-1</sup>. Em solos de baixa fertilidade e sob baixo índice pluviométrico, o aumento do teor de argila tendeu a propiciar maior retenção de água, influenciando o fluxo de nutrientes de um ecossistema florestal.

### Biomassa e conteúdo de nutrientes

O diâmetro e a altura das árvores dos povoamentos de eucalipto não se distinguiram estatisticamente, exceto a área basal, que foi maior no *E. pellita*,

decorrente da maior sobrevivência de indivíduos (Quadro 2).

Os povoamentos de eucalipto apresentaram baixíssima produção de biomassa (Quadro 3). Esta baixa produção de biomassa, em parte, seria devida ao baixo nível de fertilidade dos solos (Quadro 1) e às fortes restrições hídricas que caracterizam a região Norte Fluminense. As espécies de eucalipto diferenciaram significativamente na produção de biomassa total. Considerando as revisões de Novais et al. (1990) e de Silveira et al. (2000) para povoamentos de eucalipto no Brasil, as três espécies de eucalipto estudadas no presente trabalho apresentaram deficiência nutricional, de maneira geral, para todos os macronutrientes avaliados, especialmente em P e K (Quadro 4).

Na distribuição relativa da biomassa entre os diversos componentes da parte aérea, observou-se que a maior porção foi alocada no tronco, em torno de 87,92 % (Quadro 3). Em consequência, esse componente acumulou a maior quantidade de nutrientes (Quadro 5). Nos povoamentos de *E. grandis* e *E. camaldulensis*, o lenho apresentou maiores quantidades de N, P e K, e a casca, de Ca e Mg. Já para o *E. pellita*, o lenho acumulou a maior porção de nutrientes. Não houve elevada acumulação de nutrientes em virtude da baixa produção de biomassa (Quadro 3). As espécies de eucalipto não se distinguiram quanto ao acúmulo

Quadro 1. Caracterização química dos solos (0-80 cm) sob diferentes espécies de eucalipto<sup>(1)</sup>

Profundidade	pH	C	N	P	K	Ca	Mg	Al	CTC
		— g kg <sup>-1</sup> —		— mg dm <sup>-3</sup> —		— mmolc dm <sup>-3</sup> —			
0-10	5,0	10,8	0,7	2	39	3,0	3,6	9,5	55,0
0-20	4,6	11,0	0,7	3	20	2,0	3,3	10,3	55,0
20-40	4,5	9,6	0,8	1	15	1,6	2,3	11,6	51,0
40-60	4,5	7,5	0,6	1	9	1,3	1,3	11,3	52,0
60-80	4,5	6,3	0,6	1	7	1,0	1,0	12,3	46,0

<sup>(1)</sup> Valores médios das três espécies de eucalipto: *E. grandis*, *E. camaldulensis* e *E. pellita*.

Quadro 2. Diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (AT), área basal (AB) e sobrevivência das espécies de eucalipto. Os valores entre parênteses correspondem ao erro-padrão

Espécie	DAP	AT	AB	Sobrevivência
	cm	m	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	%
<i>E. grandis</i>	11,00 (0,27) a	16,30 (0,87) a	9,60 (0,40) b	60,50
<i>E. camaldulensis</i>	11,50 (0,21) a	16,80 (0,58) a	11,60 (0,35) b	66,90
<i>E. pellita</i>	12,50 (0,20) a	16,10 (0,66) a	15,00 (0,90) a	73,20
Média	11,70	16,40	12,06	66,86
C.V. (%)	14,32	9,85	27,67	

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si (Tukey, 5 %).

total de nutrientes. Entretanto, diferenciaram-se na eficiência de uso de nutrientes, sendo o *E. pellita* a espécie mais eficiente (Quadro 6), considerando a sua maior produção de tronco (Quadro 3). Desse modo, esta espécie apresentaria as menores taxas relativas de exportação de nutrientes. A variação nas quantidades de nutrientes exportados por diferentes materiais genéticos pode ser resultante tanto da biomassa produzida quanto da capacidade desses materiais para absorção, distribuição e utilização de nutrientes (Santana et al., 1999).

A ordem de acumulação de nutrientes nos eucaliptos foi: Ca > N > K > Mg > P. Resultados similares foram encontrados por Gama-Rodrigues & Barros (2002), em *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, na idade de 16 anos, em Argissolo Amarelo no sul da Bahia.

### Produção de serapilheira

As espécies de eucalipto não se diferenciaram significativamente na produção anual de serapilheira, com valor médio de 4,77 Mg ha<sup>-1</sup> (Quadro 7). A folha foi o componente que mais contribuiu para a produção de serapilheira, seguida pelo galho, casca e outros (inflorescência e material não identificado). O aporte anual de folheto de 3,15 Mg ha<sup>-1</sup>, média das três espécies, foi similar ao encontrado por Shumacher et al. (1994), em povoamentos puros, com idade de sete anos, de *E. grandis* (3,1 Mg ha<sup>-1</sup>), e inferior aos *E. torelliana* (5,8 Mg ha<sup>-1</sup>) e *E. camaldulensis* (7,2 Mg ha<sup>-1</sup>).

Para as três espécies de eucalipto, em relação às folhas da copa, de maneira geral, houve aumento no teor de Ca do folheto, pouca alteração para Mg e

**Quadro 3. Produção e partição de matéria seca dos componentes das árvores de eucalipto. Os valores entre parênteses correspondem ao erro-padrão.**

Componente	<i>E. grandis</i>	<i>E. camaldulensis</i>	<i>E. pellita</i>	Média	C.V.	
	Mg ha <sup>-1</sup>				%	%
Folha	1,84 (0,46) a	1,67 (0,08) a	3,41 (0,43) a	2,30	31,88	3,93
Galho	2,50 (0,20) b	6,07 (0,44) a	5,73 (0,30) a	4,77	29,55	8,15
Casca	5,60 (0,63) a	7,13 (0,52) a	4,03 (0,99) a	5,58	29,66	9,52
Lenho	37,60 (3,9) a	41,44 (1,04) a	58,74 (2,89) a	45,92	12,31	78,40
Total	47,54 b	56,31 b	71,92 a	58,57	17,25	100,00

Médias seguidas de letras iguais, nas linhas, não diferem entre si (Tukey 5 %).

**Quadro 4. Concentração de nutrientes nas folhas, no folheto e na serapilheira foliar de três espécies de eucalipto**

Espécie	N	P	K	Ca	Mg
	g kg <sup>-1</sup>				
	Folha				
<i>E. grandis</i>	16,6 a	0,9 a	8,8 a	7,0 a	2,5 a
<i>E. camaldulensis</i>	15,6 a	0,8 a	8,2 a	4,4 b	2,0 a
<i>E. pellita</i>	12,7 b	0,6 a	5,2 b	6,2 ab	2,4 a
C.V. (%)	6,01	15,45	8,88	36,40	35,43
	Folheto				
<i>E. grandis</i>	9,5 a	0,4 a	3,8 a	9,4 a	2,0 a
<i>E. camaldulensis</i>	7,7 b	0,3 ab	3,0 ab	8,1 b	1,9 a
<i>E. pellita</i>	7,1 b	0,2 b	2,8 b	8,3 b	2,0 a
C.V. (%)	1,84	29,52	28,01	11,42	9,66
	Serapilheira foliar				
<i>E. grandis</i>	8,9 a	0,3 a	2,4 a	12,3 a	1,5 a
<i>E. camaldulensis</i>	8,0 a	0,4 a	2,2 a	11,7 a	1,5 a
<i>E. pellita</i>	8,5 a	0,3 a	2,0 a	11,1 a	1,6 a
C.V. (%)	16,45	19,25	5,61	5,42	8,07

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si (Tukey 5 %).

**Quadro 5. Conteúdo de nutrientes dos componentes da árvore de eucalipto**

Espécie	N	P	K	Ca	Mg	
						kg ha <sup>-1</sup>
	Folha					
<i>E. grandis</i>	30,60 b	1,65 a	16,15 ab	12,85 ab	4,60 ab	
<i>E. camaldulensis</i>	26,06 c	1,33 a	13,70 b	7,35 b	3,35 b	
<i>E. pellita</i>	43,40 a	2,05 a	17,76 a	21,18 a	8,20 a	
C.V. (%)	5,06	15,40	8,40	33,13	35,06	
	Galho					
<i>E. grandis</i>	9,75 b	1,0 b	12,00 b	13,25 b	3,75 b	
<i>E. camaldulensis</i>	20,03 a	2,42 a	18,20 a	26,10 ab	6,68 ab	
<i>E. pellita</i>	16,05 ab	1,15 ab	17,77 ab	40,14 a	9,17 a	
C.V. (%)	20,47	23,82	14,34	26,76	23,81	
	Casca					
<i>E. grandis</i>	20,70 a	1,68 ab	27,98 a	71,06 a	20,15 a	
<i>E. camaldulensis</i>	21,40 a	2,14 a	27,80 a	68,45 a	14,26 b	
<i>E. pellita</i>	10,46 b	0,80 b	10,06 b	16,50 b	5,23 c	
C.V. (%)	11,21	26,82	22,70	18,84	11,91	
	Lenho					
<i>E. grandis</i>	56,41 ab	3,76 c	48,90 a	33,85 b	7,52 a	
<i>E. camaldulensis</i>	45,58 b	4,14 b	37,30 b	37,30 b	8,28 a	
<i>E. pellita</i>	58,75 a	5,87 a	41,12 ab	52,86 a	11,75 a	
C.V. (%)	10,23	8,70	17,88	12,89	20,40	
	Total					
<i>E. grandis</i>	117,46 a	8,10 a	105,03 a	131,01 a	36,02 a	
<i>E. camaldulensis</i>	113,10 a	10,03 a	97,00 a	139,20 a	32,60 a	
<i>E. pellita</i>	128,66 a	9,87 a	86,70 a	130,70 a	34,35 a	
C.V. (%)	11,74	22,90	15,14	16,63	21,58	

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si (Tukey 5 %).

**Quadro 6. Coeficientes de utilização biológica (CUB) do tronco (matéria seca do tronco/ conteúdo de nutrientes no tronco) de N, P, K, Ca e Mg, em diferentes espécies de eucalipto**

Espécie	N	P	K	Ca	Mg
<i>E. grandis</i>	560	7.941	562	412	1.561
<i>E. camaldulensis</i>	725	7.734	746	460	2.154
<i>E. pellita</i>	907	9.410	1.226	905	3.696

redução nos teores de N, P e K (Quadro 4). Somente para o K ocorreu distinção significativa entre as espécies no aporte anual de nutrientes (Quadro 8). Para as três espécies, a ordem de transferência dos nutrientes foi Ca > N > K > Mg > P.

### Serapilheira acumulada

Não houve distinção significativa entre as épocas de verão e inverno em todos os povoamentos de

eucalipto para a acumulação de serapilheira (Quadro 9). As espécies de eucalipto apresentaram uma acumulação média anual, nas condições de estudo, de 7,40 Mg ha<sup>-1</sup>. O *E. pellita* mostrou a maior acumulação média anual de serapilheira, seguido do *E. camaldulensis* e *E. grandis*. Este menor acúmulo de serapilheira do *E. grandis* deveu-se, provavelmente, à sua alta qualidade orgânica (por exemplo, menores teores de lignina), já que não houve marcada distinção entre as espécies quanto à qualidade nutricional da serapilheira (Quadro 4). Além disso, como não houve distinção na produção anual de serapilheira entre as espécies (Quadro 7), isso indica que a taxa de decomposição da serapilheira seria maior no *E. grandis*, possibilitando maiores taxas de ciclagem da matéria orgânica e, conseqüentemente, de nutrientes (Quadro 10). Isto pode ser verificado pelos valores estimados dos coeficientes de decomposição (*k*) e do tempo médio de residência de nutriente (TMR) da serapilheira dessas espécies (Quadro 11).

Observou-se que o *E. grandis* teve o maior coeficiente de decomposição (*k*) do que o *E. camaldulensis* e *E. pellita* e, em conseqüência, os

**Quadro 7. Produção anual de serapilheira em povoamentos de três espécies de eucalipto, de acordo com a espécie**

Componente	<i>E. grandis</i>	<i>E. camaldulensis</i>	<i>E. pellita</i>	Média	C.V.
	Mg ha <sup>-1</sup>				%
Folha	3,12 a	3,02 a	3,33 a	3,15	59,37
Galho	1,23 a	0,95 a	1,28 a	1,15	79,70
Casca	0,38 a	0,55 a	0,29 a	0,40	91,98
Outros	0,036 ab	0,014 b	0,090 a	0,04	94,11
Total	4,78 a	4,53 a	4,99 a	4,77	66,30

Médias seguidas de letras iguais, nas linhas, não diferem entre si (Tukey 5%).

**Quadro 8. Aporte anual de nutrientes na serapilheira de três espécies de eucalipto**

Espécie	N	P	K	Ca	Mg
	kg ha <sup>-1</sup>				
<i>E. grandis</i>	32,21 a	1,33 a	14,40 a	41,61 a	8,29 a
<i>E. camaldulensis</i>	24,02 a	0,89 a	10,40 b	31,78 a	6,99 a
<i>E. pellita</i>	26,20 a	0,86 a	11,00 b	36,85 a	8,17 a
C.V. (%)	43,32	45,31	38,53	57,59	47,45

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si (Tukey 5%).

menores valores do TMR de nutriente. Contudo, o valor estimado do TMR deve ser interpretado como indicador do 'turnover' de nutriente, ou do potencial de mineralização, considerando a possibilidade de ocorrer imobilização durante o processo de decomposição (Adams & Attiwill, 1986). Imobilização e, ou, acumulação de nutrientes, especialmente de N e P, em plantios de eucalipto foram verificados por Gama-Rodrigues & Barros (2002) e Costa (2002).

### Ciclagem e balanço de nutrientes

Os valores do coeficiente de decomposição (*k*) e do TMR das espécies de eucalipto (Quadro 11) são corroborados pelas suas taxas de ciclagem bioquímica e biogeoquímica (Quadro 12). O *E. camaldulensis* e o *E. pellita* apresentaram maior intensidade de ciclagem bioquímica, especialmente de N, P, e K, do que o *E. grandis*. O contrário foi observado para a intensidade de ciclagem biogeoquímica. Desse modo, espécies de elevada eficiência de ciclagem bioquímica apresentariam baixa taxa de ciclagem biogeoquímica, o que geraria uma serapilheira de baixa qualidade, resultando em baixas taxas de decomposição e mineralização.

As diferenças da intensidade de ciclagem biogeoquímica não resultaram em distintos níveis de fertilidade do solo (Quadros 1 e 12). Esses resultados evidenciam, considerando desprezíveis as perdas por lixiviação, uma rápida e eficiente absorção de nutrientes disponibilizados pela mineralização da serapilheira.

O P é um nutriente praticamente imóvel no solo e muito móvel no interior das plantas. Desse modo, a elevada intensidade de ciclagem bioquímica de P correspondeu a uma baixa intensidade de ciclagem biogeoquímica (Quadro 12). Comportamento similar foi observado para o N e K e, em menor magnitude, para o Mg. Para o Ca, não ocorreu retranslocação (ciclagem bioquímica) e também este elemento tenderia acumular-se na serapilheira (baixa ciclagem biogeoquímica – valores positivos). A mesma situação foi verificada para o N e o P nos plantios de *E. camaldulensis* e *E. pellita*. Quanto ao K, observou-se uma intensa taxa de mineralização, especialmente no *E. grandis* – indicado pela ciclagem biogeoquímica (valores negativos). Em menores valores, essa dinâmica também foi observada para o Mg.

O balanço de nutrientes no sistema solo-planta, nas três espécies de eucalipto, seria positivo somente para Mg. Apenas no *E. grandis*, o balanço de P e K seria positivo. O balanço de Ca seria negativo somente no *E. camaldulensis* (Quadro 13). Por se tratar de povoamentos comerciais em sistemas de corte raso, o balanço de nutrientes do sistema solo-planta indica as quantidades de nutrientes existentes no solo que são suficientes para fornecer às plantas, em um próximo ciclo de crescimento, as mesmas quantidades desses nutrientes por elas imobilizadas atualmente na biomassa da parte aérea, até à idade de corte (Leite et al., 1998). O emprego desse método, portanto, possibilitaria a racionalização da fertilização nas rotações futuras.

**Quadro 9. Acúmulo de serapilheira em plantios de três espécies de eucalipto, nas épocas de verão e inverno**

Época	<i>E. grandis</i>	<i>E. camaldulensis</i>	<i>E. pellita</i>	Média	C.V.
Verão	3,89 Ab	7,96 Aa	8,21 Aa	6,69 A	12,02
Inverno	5,63 Ab	7,49 Aab	11,17 Aa	8,10 A	36,50
Média <sup>(1)</sup>	4,76 b	7,73 a	9,69 a	7,40	27,35
C.V. (%)	47,23	8,50	28,50	56,60	

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas, nas linhas, e maiúsculas, nas colunas, não diferem entre si (Tukey 5 %).

<sup>(1)</sup> Valor médio entre verão e inverno.

**Quadro 10. Conteúdo de nutrientes da serapilheira acumulada nos povamentos de três espécies de eucalipto**

Espécie	N	P	K	Ca	Mg
<i>E. grandis</i>	35,04 b	1,23 b	10,72 b	58,51 b	7,03 b
<i>E. camaldulensis</i>	38,76 b	1,87 ab	15,18 ab	93,74 a	9,09 b
<i>E. pellita</i>	61,38 a	2,15 a	17,96 a	105,61 a	12,64 a
C.V. (%)	21,31	22,63	19,03	20,23	19,72

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si (Tukey 5 %).

**Quadro 11. Valores dos coeficientes de decomposição (*k*)<sup>(1)</sup> e do tempo médio de residência de nutriente (TMR)<sup>(2)</sup> da serapilheira de três espécies de eucalipto**

Espécie	<i>k</i>	N	P	K	Ca	Mg
<i>E. grandis</i>	1,00	0,44	0,41	0,23	0,63	0,37
<i>E. camaldulensis</i>	0,59	0,58	1,13	0,64	1,36	0,59
<i>E. pellita</i>	0,51	0,78	1,28	0,69	1,31	0,71

<sup>(1)</sup> Valor *k* = massa de serapilheira produzida/massa de serapilheira acumulada (Anderson & Ingram, 1989). <sup>(2)</sup> TMR = quantidade de nutriente da serapilheira acumulada/quantidade de nutriente da serapilheira produzida (Adams & Attiwill, 1986).

O balanço de nutrientes indica que houve distinção entre as espécies de eucalipto (Quadro 13). Contudo, mais uma vez, sem refletir no nível de fertilidade do solo (Quadro 1). Esperavam-se menores quantidades de nutrientes no solo sob *E. pellita* (Quadro 13), em decorrência de sua maior produção de biomassa (Quadro 3). Entretanto, esta espécie também foi mais eficiente no uso de nutrientes para similar acúmulo total de elementos em relação às demais espécies de eucalipto (Quadros 5 e 6). Isso corrobora os resultados encontrados por Leite et al. (1998), nos quais a sensibilidade dos métodos

**Quadro 12. Variação percentual da concentração de nutrientes entre o folheto (Fo) e as folhas da parte aérea (F) (ciclagem bioquímica) e entre a serapilheira foliar (S) e o folheto (Fo) (ciclagem biogeoquímica) em três espécies de eucaliptos**

Espécie	N	P	K	Ca	Mg
Ciclagem bioquímica <sup>(1)</sup>					
<i>E. grandis</i>	-42,8	-55,5	-34,1	+34,3	-20,0
<i>E. camaldulensis</i>	-50,6	-62,5	-63,4	+84,1	-5,0
<i>E. pellita</i>	-44,1	-66,7	-46,1	+33,9	-16,7
Ciclagem biogeoquímica <sup>(2)</sup>					
<i>E. grandis</i>	-6,3	-25,0	-58,6	+30,9	-25,0
<i>E. camaldulensis</i>	+3,9	+33,3	-26,7	+44,4	-21,1
<i>E. pellita</i>	+19,7	+50,0	-28,6	+33,7	-20,0

<sup>(1)</sup> Folheto vs folhas  $\{([Fo]-[F])/[F]\} \times 100$ . <sup>(2)</sup> Serapilheira vs folheto  $\{([S]-[Fo])/[Fo]\} \times 100$ .

analíticos adotados para solo foi baixa, havendo então a necessidade de estudos que visem à adequação ou desenvolvimento de métodos de análise de solos para fins florestais.

Para sítios florestais de eucalipto na região dos tabuleiros costeiros do norte fluminense, apesar da

**Quadro 13. Nutrientes no solo (camada de 0-80 cm) e na vegetação (parte aérea + serapilheira), em valores absolutos e percentuais, e balanço nutricional em povoamentos de eucalipto<sup>(1)</sup>**

Espécie	Solo				Vegetação				Balanço			
	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
<i>E. grandis</i> (kg ha <sup>-1</sup> )	12,0	134,0	200,0	216,0	9,3	115,7	189,5	43,0	+2,7	+18,3	+10,5	+173
%	56,3	53,7	51,3	83,4	43,7	46,3	48,7	16,6				
<i>E. camaldulensis</i> (kg ha <sup>-1</sup> )	10,0	78,0	160,0	168,0	11,9	112,2	232,9	41,7	-1,9	-34,2	-72,9	+126,3
%	45,7	41,0	40,7	80,1	54,3	59,0	59,3	19,9				
<i>E. pellita</i> (kg ha <sup>-1</sup> )	8,0	96,0	360,0	192,0	12,1	104,7	236,3	47,0	-4,1	-8,7	+123,7	+145,0
%	39,8	47,8	60,4	80,3	60,2	52,2	39,6	19,7				

<sup>(1)</sup> Balanço de Nutrientes = Solo - (Parte aérea + Serapilheira).

baixa produção encontrada, a espécie mais adequada seria a que tivesse a menor taxa de exportação relativa de nutrientes, possibilitando, assim, gradativamente, a elevação do estoque de nutrientes no sistema solo-planta, com vistas em reduzir com o tempo a necessidade de adubação.

## CONCLUSÕES

1. As espécies de eucaliptos estudadas diferenciaram-se na produção de biomassa total. O *E. pellita* apresentou maior produção nas condições estudadas e foi a espécie que mais se adequou às condições de cultivo.

2. Os solos sob os povoamentos de eucaliptos em estudo não se diferenciaram em relação à fertilidade do solo.

3. As espécies distinguíram-se marcadamente na eficiência de utilização de nutrientes, na intensidade de ciclagem bioquímica e biogeoquímica e no balanço de nutrientes.

## AGRADECIMENTO

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), pelo auxílio financeiro para a realização do experimento e pela concessão da Bolsa de Iniciação Científica.

## LITERATURA CITADA

ADAMS, A.M. & ATTIWILL, P.M. Nutrient cycling and nitrogen mineralization in eucalypt forests of south-eastern Australia. I. Nutrient cycling and nitrogen turnover. *Plant Soil*, 92:319-339, 1986.

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B. & LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação. Viçosa (MG), CFSEMG, 1999. 359p.

ANDERSON, J.N. & INGRAM, J.S.I. Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. Wallingford, CAB International, 1989. 171p.

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R. & GALLO, J.R. Métodos de análise química de plantas. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78)

BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extrato de solo e material vegetal. *R. Ceres*, 21:73-85, 1974.

COSTA, G.S. Decomposição da serapilheira em florestas plantadas e fragmentos da Mata Atlântica na região Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2002. 113p. (Tese de Doutorado)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro, Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. não paginado

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.

LEITE, F.P.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. & FABRES, A.S. Acúmulo e distribuição de nutrientes em *Eucalyptus grandis* sob diferentes densidades populacionais. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:419-426, 1998.

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.

- MELO, V.F.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; FONTES, M.P.F. & COSTA, L.M. Balanço nutricional, eficiência de utilização e avaliação da fertilidade do solo em P, K, Ca e Mg em plantios de eucalipto no Rio Grande do Sul. IPEF, 48/49:8-17, 1995.
- MIRANDA, G.M.; SILVA, M.L.; LEITE, H.G. & MACHADO, C.C. Estimativa do custo de reposição dos nutrientes exportados pela colheita da casca da madeira em povoamentos de eucalipto. R. Árvore, 26:149-154, 2002.
- MORAIS, E.J.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. & BRANDI, B.M. Biomassa e eficiência nutricional de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais. R. Bras. Ci. Solo, 14:353-362, 1990.
- NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Nutrição mineral do eucalipto. p.25-98. In: BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F., eds. Relação solo-eucalipto. Viçosa, MG, Folha de Viçosa, 1990. 330p.
- PEREIRA, A.R. Biomassa e ciclagem de nutrientes minerais em povoamentos jovens de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, em região de cerrado. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1990. 167p. (Tese de Doutorado)
- 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. 330p.
- SANTANA, R.C.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Biomassa e conteúdo de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sítios florestais do estado de São Paulo. Sci. Forest., 56:155-169, 1999.
- SHUMACHER, M.V.; POGGIANI, F. & SIMÕES, J.W. Transferências de nutrientes das copas para o solo através da deposição de folheto em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus torelliana*, plantados em Anhembi, SP. IPEF, 47:56-61, 1994.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; GONÇALVES, A.N. & MOREIRA, A. Avaliação do estado nutricional do *Eucalyptus*: Diagnose visual, foliar e suas interpretações. In: GONÇALVES, A.N. & BENEDETTI, V., eds. Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba, IPEF, 2000. 427p.
- SPANGENBERG, A.; GRIMM, U.; SILVA, J.R.S. & FULSTER, H. Nutrient store and export rates of *Eucalyptus urograndis* plantations in eastern Amazonia (Jari). For. Ecol. Manag., 80:225-234, 1996.
- TEIXEIRA, J.L. Conteúdo de nutrientes e produção de eucalipto em diferentes ambientes do Rio Doce-MG. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1987. 70p. (Tese de Mestrado)
- TOMÉ JUNIOR, J.B. Manual para interpretação de análise de solo. Guaíba, Agropecuária, 1997. 247p.