

- MEAD, D.J. Diagnosis of nutrient deficiencies in plantations. In Bowen, G.D. and Nambiar (Eds) Nutrition of Plantation Forests, Academic Press, Orlando, New York and London. 1984. p.259-291.
- POGGIANI, F. Nutrient cycling in Eucalyptus and Pinus plantations ecosystems, silvicultural implications. IPEF Piracicaba 31, 1985. p.31-40.
- SARRUGE, J.R., HAAG, H.P. Análises químicas em plantas. Livroceres, Piracicaba, 1974. p.56.
- SCHONAU, A.P.G. Fertilization in South African forestry. South African Journal of Forestry. 125, 1983. p.1-19.
- SMITH, P.F. Mineral analysis of plant tissues. Annual Review of Plant Physiology (13), 1962. p. 81-108.
- TURNER, J. and LAMBERT, M.J. Nutrient cycling within a 27-year-old Eucalyptus grandis plantation in New South Wales. Forest Ecology and Management 6, (2), 1983. p.155-168.
- WILLIAMS, R.F. Redistribution of mineral elements during development. Annual Review of Plant Physiology (6), 1955. p.81-108.
- WISE, P.K. and PITMAN, M.G. Nutrient removal and replacement associated with short-rotation eucalypt plantations. Australian Forestry 46, (3), 1981. p.142-152.

CONCENTRAÇÃO E REDISTRIBUIÇÃO DE NUTRIENTES NAS FOLHAS E NO FOLHEDO DE TRÊS ESPÉCIES DE Eucalyptus

SILVIA CRISTINA VETTORAZZO

FABIO POGGIANI

MAURO VALDIR SCHUMACHER

ESALQ/USP - Departamento de Ciências Florestais - Piracicaba, SP

RESUMO

Foram estudadas as concentrações e a redistribuição de nutrientes minerais nas folhas recém maduras e caducas das três espécies: *Eucalyptus camaldulensis*, *E. grandis* e *E. torrelliana*, entre 9 e 12 anos de idade, cultivadas sobre solos de baixa fertilidade, na região central do Estado de São Paulo.

As concentrações de nutrientes nas folhas recém maduras apresentaram variações de acordo com a espécie e as características do solo. O *E. grandis* foi a espécie que retranslocou maior quantidade de N, P e Mg antes da derrubada das folhas, enquanto que o *E. camaldulensis* transferiu mais ativamente o K. A concentração do Ca nas folhas recém maduras e caducas das três espécies evidenciou que este elemento apresenta baixa mobilidade nos tecidos das plantas, sendo que sua movimentação no ecossistema ocorre principalmente através do ciclo biogeoquímico.

ABSTRACT.

Concentration and reallocation of nutrients in crown leaves and shed leaves of three *Eucalyptus* species. - Nutrient concentration and reallocation were determined comparatively in crown leaves and shed leaves of: *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus torrelliana*, growing in pure stands respectively 9, 9 and 12 years old, planted on a poor sandy soil in the central region of the State of São Paulo. Nutrient concentration differed among the three species, but were in general higher in mature than in shed leaves. *E. grandis* showed the highest nutrient reallocation before leaf shedding, mainly for Nitrogen, Phosphorus and Magnesium. Nevertheless, *E. camaldulensis* reallocated more efficiently Potassium. The similar concentration of Calcium observed in mature and shed leaves of the three species, confirms the low internal transfer of this nutrient that moves in the ecosystem mainly by the biogeochemical cycle.

INTRODUÇÃO

O processo de ciclagem de nutrientes nos ecossistemas florestais pode ser caracterizado, de acordo com SWITZER & NELSON (1972), em três tipos: (a) ciclo geoquímico, que é a troca (entrada e saída) de elementos minerais entre os diversos ecossistemas; (b) ciclo biogeoquímico, o qual se estabelece nas relações entre o solo e a planta e (c) ciclo bioquímico, que se relaciona com as transferências internas dos elementos dentro dos processos vegetais.

Comparações quantitativas entre nutrientes retidos na copa e aqueles devolvidos ao solo através da deposição do folheto podem fornecer uma idéia sobre as estratégias predominantes de ciclagem em diferentes espécies florestais. Esses processos são extremamente importantes para compreender a forma de conservação de nutrientes e a adaptação das espécies em solos de baixa fertilidade (POGGIANI,

1985; BINKLEY, 1986; COLE, 1986; LIMA, 1987).

A senescência e a abscisão das folhas são mecanismos através dos quais as árvores reciclam os nutrientes tanto através do ciclo bioquímico como biogeoquímico.

O ciclo bioquímico envolve a redistribuição de nutrientes de tecidos velhos para tecidos novos da planta. Assim, este ciclo é importante de forma mais acentuada para nutrientes de alta mobilidade na planta, como o nitrogênio, o fósforo, o potássio e o magnésio, sendo de menor significado, de modo geral, para o cálcio e o enxofre (MIENGEL & KIRKBY, 1982; MALAVOLTA & MALAVOLTA, 1989).

Diferenças no comportamento nutricional entre espécies florestais têm sido observadas quanto à habilidade de absorção e da utilização de nutrientes através do ciclo bioquímico.

A concentração de nutrientes nas folhas das árvores é influenciada por diversos fatores, como as condições do sítio, a

idade dos indivíduos, a idade das folhas, a posição das folhas na copa e a época do ano (Van den DRIESCHIE, 1974).

Quando as folhas de eucalipto se tornam senescentes a retranslocação de elementos, como nitrogênio e fósforo, destas para as folhas novas da árvore pode ultrapassar 50% do conteúdo total (ASHTON, 1975, 1976; ATTIWILL *et al.*, 1978).

Nos povoamentos maduros o processo de ciclagem interna fornece quase todos os nutrientes necessários para o incremento anual das árvores, mas estas já devem ter acumulado quantidades suficientes para o seu crescimento na fase juvenil (FERREIRA, 1989).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar, através da análise foliar, as transferências de nutrientes entre as folhas recém maduras das árvores e as folhas caducas (retiradas de coletores de folheto) de três espécies de *Eucalyptus*: *E. grandis*, *E. camaldulensis* e *E. torrelliana*. Constitui-se, portanto, numa série de observações parciais dentro do programa que visa estudar de forma abrangente e comparativa o ciclo de nutrientes em plantações florestais de *Eucalyptus* localizadas em Anhembi (SP).

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se na Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi (SP), na latitude de 22°43' Sul e na longitude de 48°10' Oeste, sendo a altitude de aproximadamente 500 m. Segundo a classificação de Koppen, o clima é do tipo Cwa, que corresponde a mesotérmico, com inverno seco e verão chuvoso. A precipitação média anual é de 1350 mm, e a temperatura média anual é de 21°C.

Neste estudo utilizaram-se três espécies do gênero *Eucalyptus*. *E. grandis* Hill ex Maiden, *E. camaldulensis* Dehn e *E. torrelliana* F. Muell. Os povoamentos de *E. grandis* e de *E. camaldulensis* foram instalados em abril de 1982, no espaçamento 3,0 x 3,0 m. O povoamento de *E. torrelliana* foi implantado em agosto de 1979, no espaçamento 3,0 x 2,0 m. A preparação das áreas foi feita sem queima e sem fertilização.

A tabela 1 apresenta os valores dendrométricos dos povoamentos estudados.

Tabela 1. Valores dendrométricos dos talhões florestais de *Eucalyptus*.

ESPÉCIE	IDADE	Nº DE ÁRV./ha	ALTURA MÉDIA	DAP MÉDIO	ÁREA BASAL	VOLUME SÓLIDO
	anos		m	cm	m²/ha	m³/ha
<i>E. camaldulensis</i>	9	853	20,5	17,9	22,9	198,6
<i>E. grandis</i>	9	966	27,6	21,0	30,0	528,9
<i>E. torrelliana</i>	12	1160	19,0	17,0	29,4	267,4

As três espécies de *Eucalyptus* estudadas foram cultivadas em solo PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO ÁLICO, de textura arenosa e de baixa fertilidade natural (Tabela 2).

Tabela 2. Resultados da análise química do solo dos diferentes talhões florestais de *E. camaldulensis*, *E. grandis* e *E. torrelliana*.

ESP.	PROF	pH	MO	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	H+Al	CTC	V
	cm		%	ppm				meq/100g			%
<i>E. cam.</i>	0-50	3,6	1,6	2,6	0,15	0,37	0,31	0,8	4,1	4,9	16
<i>E. gr.</i>	0-55	3,8	1,2	1,0	0,08	0,07	0,06	0,2	3,9	4,1	5
<i>E. tor.</i>	0-57	3,6	1,9	5,0	0,13	0,27	0,28	0,7	3,8	4,5	16

SB: Soma de Bases; V: Saturação por bases.

Em abril de 1991 (final da estação chuvosa), realizou-se a coleta das folhas tendo sido amostradas cinco árvores para cada uma das três espécies de *Eucalyptus*. Nestas árvores, selecionadas aleatoriamente (dominantes e co-dominantes), foram coletadas 100 folhas recém maduras provenientes de ramos localizados em pontos ortogonais da parte intermediária das copas. Também, foram amostradas 100 folhas retiradas do folheto presente em 20 bandejas coletoras com aproximadamente 1 m², distribuídas ao acaso sob a copa das árvores, em cada um dos três povoamentos. As folhas da copa e o folheto das bandejas constituíram-se em duas amostras compostas por espécie.

O material coletado foi processado para a determinação da concentração de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) e micronutrientes (Zn, Fe e Mn), segundo a metodologia descrita por SARRUGE & HAAG (1974).

A comparação entre a concentração de nutrientes nas folhas caducas (folheto) e nas folhas recém maduras da copa, e as estimativas de redistribuição de nutrientes foram baseadas no trabalho efetuado por ATTIWILL *et al.* (1978). A expressão utilizada para quantificar redistribuição de nutrientes foi:

$$\text{Redistribuição} = \frac{\text{Conc. no folheto} - \text{Conc. nas folhas}}{\text{Concentração nas Folhas}} \times 100$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das concentrações de macro e micronutrientes nas folhas da copa e no folheto para as três espécies de *Eucalyptus* encontram-se na tabela 3.

Tabela 3. Concentração média de nutrientes nas folhas e no folheto das espécies de *E. grandis*, *E. camaldulensis* e *E. torrelliana*, e estimativas de redistribuição de nutrientes.

<i>E. grandis</i>	<i>E. camaldulensis</i>			<i>E. torelliana</i>			NUTR.		
Folha	Folheto	Red.	Folha	Folheto	Red.	Folha	Folheto	Red.	
(%a)			(%a)			(%)			
									Macro
(%)									
N	1,59	0,58	-63,5	1,28	0,77	-39,8	1,52	0,84	-44,7
P	0,06	0,02	-64,1	0,09	0,03	-62,5	0,11	0,04	-63,1
K	0,86	0,53	-38,4	1,17	0,57	-51,3	1,80	1,29	-28,3
Ca	0,56	0,58	+3,4	0,68	0,82	+20,6	0,56	0,62	+10,7
Mg	0,30	0,20	-33,3	0,20	0,18	-10,0	0,28	0,26	-7,1
Micro (ppm)									
Fe	45	180	+300,0	75	85	+13,3	65	50	-23,1
Mn	250	650	+160,0	650	900	+38,5	975	1560	+60,0
Zn	10	5	-50,0	20	20	0	60	50	-16,7

Na referida tabela, verifica-se que o *E. grandis* apresentou os menores valores para os teores de P, K, Fe, Mn e Zn nas folhas da copa, no entanto, foi a espécie que mostrou as maiores concentrações de N e Mg. Pode-se observar que o *E. torelliana* apresentou os maiores teores de P, K, Mn e Zn.

Para a concentração de nutrientes nas folhas da copa observa-se, portanto, a seguinte ordem: (a) **Macronutrientes:** N > K > Ca > Mg > P, para o *E. grandis* e o *E. camaldulensis*; K > N > Ca > Mg > P, para o *E. torelliana*; (b) **Micronutrientes:** Mn > Fe > Zn, nas três espécies.

As interpretações dos resultados das concentrações de nutrientes nas folhas da copa para as três espécies de *Eucalyptus* são mostradas na tabela 4. Para o *E. grandis*, a interpretação foi baseada nos níveis ótimos de nutrientes descritos por HERBERT & SCHONAU (1989) e para o *E. camaldulensis*, os níveis críticos adotados foram apresentados na revisão de DRECHSEL & ZECH (1991). Já para o *E. torelliana*, devido à falta de informações sobre a concentração de nutrientes nas folhas da copa, a interpretação foi baseada nos padrões médios das outras espécies.

Tabela 4. Interpretação das concentrações de nutrientes nas folhas das três espécies de *Eucalyptus* estudadas.

NUTRIENTE	<i>E. grandis</i> ⁽¹⁾	<i>E. camaldulensis</i> ⁽²⁾	<i>E. torelliana</i>
Macro (%)			
N	Baixo	Médio	Médio/Baixo
P	Baixo	Baixo	Médio/Baixo
K	Médio	Médio	Alto
Ca	Baixo	Médio	Baixo
Mg	Médio	Médio	Médio
Micro (ppm)			
Fe	Baixo	Baixo	Baixo
Mn	Baixo	Médio	Alto
Zn	Baixo	Médio	Alto

⁽¹⁾ valores interpretados conforme HERBERT & SCHONAU (1989);

⁽²⁾ valores interpretados conforme DRECHSEL & ZECH (1991).

Nota-se na tabela 3 que as árvores das três espécies estudadas apresentam suprimentos inadequados de alguns nutrientes, principalmente fósforo e cálcio. Provavelmente, esses elementos estão sendo limitantes ao crescimento das árvores, embora não se tenha verificado sintomas visuais de deficiências desses nutrientes, pois é muito difícil observar sintomatologia de deficiência de P e Ca no campo em plantações de eucaliptos.

De maneira geral, as baixas concentrações de nutrientes nas folhas das três espécies de *Eucalyptus* podem ser atribuídas às seguintes causas: (1) baixa fertilidade do solo (Tabela 2), com elevada acidez, teores muito baixos de P, baixos de K, Ca e Mg e altos de alumínio trocável (RAIJ & QUAGGIO, 1983; LOPES, 1984; MELLO *et al.*, 1985); (2) dreno de carboidratos e nutrientes para floração e frutificação (MENGEL & KIRKBY, 1982), pois na época da coleta do material vegetal as três espécies encontravam-se nessas fases reprodutivas.

Ainda na tabela 3, observa-se que as concentrações de macronutrientes no folheto foram as seguintes: *E. grandis*:

N > Ca > K > Mg > P; *E. camaldulensis*: Ca > N > K > Mg > P; *E. torelliana*: K > N > Ca > Mg > P.

A concentração de nutrientes nas folhas da copa foi maior do que no folheto, de 40% a 64% para N; de 62% a 64% para P; de 28% a 51% para K; e de 7% a 33% para Mg. Isto confirma as informações que a concentração de elementos móveis diminui nas folhas senescentes, em virtude de sua transferência para as partes em cresci-

mento das árvores. Por outro lado, houve aumento na concentração de elementos de baixa mobilidade no folheto com relação às folhas da copa, como se observa por exemplo no caso do cálcio que por permanecer fixo nos tecidos aumenta sua proporção em relação ao peso da biomassa geral das folhas.

Antes da abscisão foliar, aproximadamente 50% de N, 60% de P, 40% de K e 15% de Mg foram redistribuídos para outras partes das plantas. Assim, podemos afirmar que no *E. grandis*, *E. camaldulensis* e *E. torelliana* o padrão de ciclagem do nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio ocorre, predominantemente, através do ciclo bioquímico (SWITZER & NELSON, 1972).

Como o Ca, Fe e Mn são nutrientes de baixa mobilidade nas folhas, estes se encontram imobilizados no folheto, que mostra valores superiores aos das folhas da copa. Para ATTWILL *et al.* (1978), como o Ca está associado à lignificação das paredes celulares, isto é, faz parte da estrutura da folha, este elemento não é redistribuído para as partes novas em crescimento da planta antes da abscisão foliar. Tanto o ferro como o manganês acumularam-se marcadamente nas folhas da copa antes destas caírem. Esse aumento na concentração de Mn no folheto também foi mostrado por ROGERS & WESTMAN (1977), quando estudaram a dinâmica de nutrientes numa floresta subtropical nativa de *Eucalyptus* (*E. umbra* e *E. signata*) na Austrália. Esses mesmos autores relatam que esse aumento na concentração de Mn no folheto também tem sido verificado nas florestas tropicais úmidas do Panamá. É provável que esse fenômeno de acúmulo de manganês seja um mecanismo de eliminação de elementos que se encontram em teores elevados na planta, como forma de evitar problemas de toxicidade. Os resultados obtidos indicam que nas espécies de eucaliptos estudadas a ciclagem do cálcio, ferro e manganês acontece predominantemente pelo ciclo biogeoquímico (SWITZER & NELSON, 1972).

Quanto ao Zn não foi observada uma tendência nítida em relação ao padrão de ciclagem.

Deve ser lembrado também que uma certa perda de elementos nas folhas senescentes pode ter ocorrido por lixiviação da copa. Todavia, no mês em que foi efetuada a coleta das folhas a precipitação foi bastante reduzida e presume-se que a influência tenha sido pequena sobre o processo de lixiviação.

Os padrões de ciclagem de fósforo, cálcio, potássio e magnésio para as três espécies de *Eucalyptus* estudadas foram similares aos relatados para *E. obliqua* por ATTWILL *et al.* (1978) e para *E. grandis* por REIS & BARROS (1990).

Com relação a ciclagem dos micronutrientes, não foi possível estabelecer comparações devido ao pequeno número de dados encontrados na literatura.

Como os nutrientes mais deficientes nas folhas das copas do *Eucalyptus grandis*, *E. camaldulensis* e *E. torelliana* foram o fósforo e o cálcio, que também ocorrem em baixos teores nesses solos, a manutenção do processo de ciclagem através da adubação mineral é fundamental para garantir a produtividade florestal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHITON, D.H.. Studies of litter in *Eucalyptus regnans* forests. *Australian Journal of Botany*, Melbourne, 23: 413-33, 1975.
- ASHITON, D.H.. Phosphorus in forest ecosystems at Beenak Victoria. *Journal of Ecology*, Oxford, 64: 171-86, 1976.
- ATTWILL, P.M.; GUTHRIE, H.B. & LEUNING, R.. Nutrient cycling in a *Eucalyptus obliqua* (L'Herit) forest. I. Litter production and nutrient return. *Australian Journal of Botany*, Melbourne, 26: 79- 91, 1978.
- BINKLEY, D.. *Forest nutrition management*. New York, Wiley - Interscience, John Wiley & Sons, 1986. 290p.
- COLE, D.W.. *Nutrient cycling in world forests*. In: GESSEL, S.P., ed.

- Forest Site and Productivity*. Martinus Nijhoff, 1986. p. 103-5.
- DRECHSEL, P. & ZECH, W.. Foliar nutrient levels of broad leaved tropical trees: a tabular review. *Plant and Soil*, The Hague, 131: 29-46, 1991.
- FERREIRA, C.A.. Nutritional aspects of the management of *Eucalyptus* plantations on poor sandy soils of the Brazilian Cerrado region. Michaelmas Term, 1989. 193p. (Tese-Doutorado-Oxford University).
- HERBERT, M.A. & SCHONAU, A.P.G.. Fertilizing commercial forest species in Southern Africa: research, progress and problems. In: Simpósio "Mineralstoffversorgung Tropischer Waldbaume". Bayreuth, Alemanha, junho de 1989.
- LIMA, W.P.. *O reflorestamento com eucalipto e os seus impactos ambientais*. São Paulo, Artpress, 1987. 114p.
- LOPES, A.S.. *Solos sob "cerrado". Características, propriedades e manejo*. Piracicaba, POTAFOS, 1984. 162p.
- MALAVOLTA, E. & MALAVOLTA, M.L.. Diagnose foliar - princípios e aplicações. In: BULL, L.T. & ROSOLEM, C.A.. *Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação*. Botucatu, FEPAF, 1989. p. 227-308.
- MELLO, F.A.; BRASIL, M.O.C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R.I.; COBRA, A. & KIEHL, J.C.. *Fertilidade do solo*. 3ed. São Paulo, Nobel, 1985. 400p.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E.A.. *Principles of plant nutrition*. 3ed. Bern, International Potash Institute, 1982. 655p.
- POGGIANI, E.. *Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais de Eucalyptus e Pinus. Implicações silviculturais*. Piracicaba, 1985. 210p. (Tese-Livre Docência-ESALQ/USP).
- RAIJ, B. & QUAGGIO, J.A.. *Métodos de análise de solo para fins de fertilidade*. Campinas, IAC, 1983. 31p. (Boletim Técnico nº 81).
- REIS, M.G.F. & BARROS, N.F. de. Ciclagem de nutrientes em plantas de eucaliptos. In: BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F. eds. *Relação solo-eucalipto*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1990. p. 265-96.
- ROGERS, R.W. & WESTMAN, W.E.. Seasonal nutrient dynamics of litter in a subtropical eucalypt forest, North Stradbroke Island. *Australian Journal of Botany*, Melbourne, 25: 47-58, 1977.
- SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P.. *Análise química em plantas*. Piracicaba, ESALQ/USP, 1974. 56p.
- SWITZER, G.L. & NELSON, L.E.. Nutrient accumulation and cycling in Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.) plantation ecosystems: The first 20 years. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 36: 143-7, 1972.
- Van den DRIESCHIE, R.. Prediction of mineral status of trees by foliar analysis. *The Botanical Review*, New York, 40: 347-94, 1974.