

SEÇÃO IV - FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

ACÚMULO E DISTRIBUIÇÃO DE NUTRIENTES EM *Eucalyptus grandis* SOB DIFERENTES DENSIDADES POPULACIONAIS⁽¹⁾

F. P. LEITE⁽²⁾, N. F. BARROS⁽³⁾, R. F. NOVAIS⁽³⁾ & A. S. FABRES⁽⁴⁾

RESUMO

Em experimento realizado na região de Santa Bárbara (MG), avaliou-se o efeito da densidade populacional de plantas (DP) sobre as relações nutricionais de *Eucalyptus grandis*. Os tratamentos consistiram de sete DP, variando de 500 a 5.000 plantas por ha⁻¹. As avaliações, realizadas em julho de 1994, quando as plantas tinham 31 meses de idade, consistiram da coleta e análise química de amostras de tecidos vegetais dos componentes da parte aérea de uma árvore média de cada parcela e da serrapilheira. Determinaram-se as concentrações e calcularam-se os conteúdos e a eficiência de utilização de N, P, K, Ca, e Mg. As relações entre os conteúdos de P, N, K e Mg na biomassa da parte aérea, os coeficiente de utilização (CUB) de P, Ca e Mg pelo tronco e a DP foram mais bem descritas por equações quadráticas. O conteúdo de Ca relacionou-se de modo linear, e os CUB de K e N não foram alterados com a DP. Analisando o balanço de nutrientes, observou-se que as quantidades de P disponível, K e Ca trocáveis existentes no solo (camada de 0 a 195 cm) não seriam suficientes para suprir a demanda nutricional das plantas em um novo ciclo de crescimento, até a idade de 31 meses, em DP superiores a 833 árvores por ha⁻¹.

Termos de indexação: eucalipto, espaçamento, nutrição mineral, biomassa.

SUMMARY: *NUTRIENT ACCUMULATION AND DISTRIBUTION ON Eucalyptus grandis AS AFFECTED BY PLANT POPULATION*

This experiment was carried out in Santa Barbara county, Minas Gerais State, Brazil to evaluate the effect of plant population (PP) on nutrient accumulation and distribution in Eucalyptus grandis. Plant population varied from 500 to 5,000 trees ha⁻¹, laid out in a

⁽¹⁾ Parte do trabalho de Tese de Mestrado apresentada pelo primeiro autor ao Curso de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa (MG). Recebido para publicação em junho de 1996 e aprovado em maio de 1998.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, M.S. Rua Ouro, 35, Iguaçú, CEP 35162-103 Ipatinga (MG).

⁽³⁾ Professor Titular do Departamento de Solos, UFV. CEP 36570-000 Viçosa (MG). Bolsista do CNPq.

⁽⁴⁾ Engenheiro-Agrônomo, M.S. CENIBRA, CEP 35101-970 Ipatinga (MG).

randomized block design with three replicates. The assessments were performed when the trees were 31 month-old, by sampling tissues from the above ground components of an average tree per plot, forest floor, and soil to the depth of 195 cm. The relations among P, N, K and Mg contents in the above ground biomass of the tree, the P, Ca and Mg utilization efficiency by the stem, and PP were better described by quadratic equations. A nutrient balance sheet, estimate based on the nutrients accumulated in the biomass and on the amount available or exchangeable in the soil, indicated the P, K and Ca would limit tree growth in the next cycle, 31 months after planting, for PP above 833 trees ha⁻¹.

Index terms: Eucalypt, spacing, mineral nutrition, biomass.

INTRODUÇÃO

A densidade populacional de povoamento florestal, ao afetar o crescimento e partição de biomassa (Ford, 1984), deve, a princípio, refletir também no conteúdo, nas concentrações, nas relações entre nutrientes e na sua eficiência de utilização pelas árvores. Considerando as florestas comerciais, diferentes densidades populacionais de árvores também podem levar a diferentes quantidades de nutrientes removidos do solo. O conhecimento da dinâmica de nutrientes em povoamentos com diferentes densidades populacionais permite estabelecer estratégias de manejo nutricional para obter uma produção florestal sustentada.

Quando a densidade populacional de plantas é alterada, espera-se que outros fatores, além da limitação espacial, interfiram na absorção de nutrientes, por meio de modificações nas relações hídricas das plantas e, ou, modificações na sua eficiência de absorção. Densidades populacionais que levem à exaustão mais rápida de água do solo deverão afetar a absorção de nutrientes de menor mobilidade no solo; já nas situações em que as plantas apresentem menores taxas de transpiração, esperam-se maiores restrições quanto ao suprimento de nutrientes de maior mobilidade no solo.

Quanto à limitação espacial, em plantios com menores DP, além da maior área útil disponível no sentido horizontal, a atividade do sistema radicular também será mais intensa a maiores profundidades (Leite, 1996), aumentando, ainda mais, a quantidade de nutrientes disponíveis por planta nessas situações.

Analisando o efeito da população de plantas sobre a absorção de nutrientes, Pereira (1990) constatou aumento do acúmulo de nutrientes por unidade de área com o aumento da densidade, bem como menor acúmulo por planta. A combinação desses dois fatos pode levar à redução no crescimento já em idades novas, em razão da maior exaustão de nutrientes no solo (ficando menor quantidade disponível) e do menor acúmulo de nutrientes por planta (menor relação nutriente/biomassa). Por isso, é importante

conhecer a magnitude das diferenças de acúmulo e de eficiência de utilização entre plantas sob diferentes densidades populacionais.

A eficiência de utilização de nutrientes por unidade de área, em geral, aumenta com a idade da planta, pois a proporção de tronco na biomassa total aumenta, ao mesmo tempo em que as de casca, de folha e de galho diminuem (Miller, 1984; Pereira, 1990).

Normalmente, o aumento da densidade populacional leva, numa fase inicial, à produção de maior quantidade de biomassa e, por conseguinte, à exportação mais elevada de nutrientes, principalmente quando a colheita é feita antes da estagnação do crescimento (Reis & Barros, 1990). Nesse caso (maior DP), a capacidade produtiva do sítio é atingida mais cedo, não permitindo que o balanço de nutrientes do sistema alcance o equilíbrio (Reis & Barros, 1990). Contudo, assim que, na menor densidade, as plantas ocuparem o espaço que lhes é disponível, há uma tendência de as quantidades de biomassa e de nutrientes absorvidos se igualarem às da população mais densa (Radosevich & Osteryong, 1987, citados por Reis & Barros, 1990; Miller, 1995).

O objetivo deste trabalho foi identificar a relação entre densidade populacional e alguns aspectos nutricionais de *Eucalyptus grandis*.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi desenvolvido em área experimental da CENIBRA, no município de Santa Bárbara, MG, onde *Eucalyptus grandis* (procedência Coff's Harbour) foi plantado em vários espaçamentos, em dezembro de 1991.

As densidades populacionais avaliadas foram as seguintes: 500, 625, 833, 1.250, 1.666, 2.500 e 5.000 plantas ha⁻¹, correspondendo, respectivamente, aos espaçamentos de 4 x 5, 4 x 4, 4 x 3, 4 x 2, 3 x 2, 2 x 2 e 2 x 1 m. Os tratamentos foram distribuídos em blocos ao acaso e repetidos três vezes. Cada parcela experimental tinha área total de 500 m².

O solo do local foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo álico textura franco-argilo-arenosa. E o clima da região pela classificação de Köppen é do tipo Cwa, temperado chuvoso-mesotérmico.

Em cada parcela, quantificou-se (em julho de 1994) a biomassa dos componentes da parte aérea, utilizando-se uma árvore com diâmetro e altura próximos da média da população. A árvore média foi abatida, seus componentes pesados e amostrados para a determinação do peso da matéria seca e da concentração de N, P, K, Ca e Mg. A serrapilheira de todas as parcelas foi também quantificada, a partir de cinco amostras simples, obtidas com gabarito de 0,16 m². Uma amostra composta, obtida a partir das cinco amostras simples, foi utilizada para análise química (de cada parcela). Nos tratamentos referentes às DP de 500, 833, 1.666 e 5.000 plantas ha⁻¹, também foi feita a análise de P, K, Ca e de Mg no material depositado em coletores de folheto. Os coletores, três de 0,72 m², foram instalados próximos à árvore média da parcela. As amostras de tecido vegetal foram secas em estufa com ventilação forçada até peso constante, moídas e mineralizadas por digestão nítrico-perclórica. Nos extratos, P foi determinado pelo método do ácido ascórbico, modificado por Braga & Defelipo (1974); K, por fotometria de emissão de chama, e o Ca e o Mg, por espectrofotometria de absorção atômica. A determinação de N foi feita pelo método de Kjeldahl, após mineralização do material com ácido sulfúrico sob condições de aquecimento (Nelson & Sommers, 1973).

Em cada parcela, foi obtida uma amostra composta de solo, a partir de cinco amostras simples retiradas nas profundidades de 0 a 5 e de 5 a 10 cm. Em três trincheiras, coletaram-se amostras nas seguintes profundidades: 0 a 15; 15 a 45; 45 a 75; 75 a 105; 105 a 135; 135 a 165 e de 165 a 195. Nessas amostras, determinaram-se: pH em água, Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L⁻¹, K e P disponíveis pelo extrator de Mehlich-1, e H + Al com NH₄OAC 1 mol L⁻¹ a pH 7,0 (EMBRAPA, 1979) (Quadro 1).

Quadro 1. Características químicas de amostras do solo coletadas entre 0 e 195 cm de profundidade

Profundidade	pH	M.O	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al
cm	g kg ⁻¹ - mg dm ⁻³ - mmolc, dm ⁻³							
0-15	5,24	25,7	1,2	21,0	1,7	0,9	12,2	46,8
15-45	5,23	17,4	0,6	8,0	0,2	0,4	10,4	45,1
45-75	5,24	14,2	0,4	5,0	0,1	0,2	7,0	37,4
75-105	5,29	11,7	0,5	2,0	0,0	0,1	4,5	29,5
105-135	5,05	10,5	0,4	2,0	0,0	0,0	3,2	26,4
135-165	5,10	9,6	0,4	2,0	0,2	0,7	1,7	23,6
165-195	5,34	9,8	0,3	2,0	0,3	0,6	0,9	19,4

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).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância das concentrações de N, P e Mg revelou ausência de efeito significativo ($P < 0,05$) da DP nas concentrações nos componentes da árvore analisados (folha, casca, lenho e galho) (Quadro 2). A semelhança na concentração desses nutrientes pode ser decorrente do efeito de diluição (o qual pode ter ocorrido nas plantas estabelecidas em menores DP) ou concentração (nas plantas com maiores DP). Esses efeitos podem causar tanto decréscimos como aumentos nas concentrações de elementos nos tecidos das plantas (Jarrell & Beverly, 1981).

A análise de variância mostrou efeito significativo ($P < 0,05$) da DP nas concentrações de K nas folhas e galhos e de Ca na casca. Plantas estabelecidas em maiores DP mostraram-se mais bem supridas em K (apresentam concentrações mais elevadas). Uma possível causa para esse fato seria o maior acúmulo de serrapilheira que ocorreu nessas situações (Leite, 1996), bem como a rápida ciclagem de K, que, por não ser um elemento estrutural assim seria reabsorvido pela árvore em quantidades significativas. Pereira (1990) encontrou redução de 76,1% na concentração original de K, após seis meses de decomposição da serrapilheira.

O aumento da concentração de cálcio na casca, galho e folhas com a redução da DP pode ser atribuído à maior eficiência no processo de transporte desse elemento no solo e ao aumento da disponibilidade do elemento por planta, definido pela maior relação volume de solo por planta cultivada, encontrada nas situações de menores DP. Nas menores DP, a taxa de transpiração por planta deve ser maior (principalmente nos períodos mais secos do ano), o que favoreceria o transporte de cálcio via fluxo de massa (Barber, 1974; Novais et al., 1990). Além disso, as plantas em maiores DP podem apresentar uma distribuição interna ineficiente do Ca, como relatado por Shear, 1975, citado por Oliva et al. (1989).

A ocorrência, observada no período mais seco do ano, de seca dos ponteiros e de rachaduras nas cascas, verificadas, com mais frequência, nas plantas estabelecidas em maiores DP, deve estar associada às desordens nutricionais causadas pelo suprimento insuficiente de cálcio nesse período. As concentrações de cálcio e de magnésio na folha (Quadro 2), principalmente as de cálcio, estão abaixo dos valores médios relatados para *E. grandis* (Cárdenas, 1987; Novais et al., 1990; Pereira, 1990; Herbert & Robertson, 1991).

Quadro 2. Concentrações de N, P, K, Ca e Mg nos componentes da parte aérea de plantas, na serrapilheira e no folheto de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais (DP)

DP	planta ha ⁻¹					g kg ⁻¹				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
	Folhas					Casca				
500	16,9	1,0	6,5	7,3	2,1	2,9	0,4	4,6	16,5	2,0
625	20,2	1,1	7,5	5,5	2,0	2,9	0,5	4,1	11,3	1,8
833	19,1	1,1	6,8	5,3	1,8	2,9	0,4	5,0	14,0	2,0
1.250	20,2	1,1	8,1	5,8	2,0	3,0	0,4	5,2	9,8	1,5
1.666	19,2	1,1	7,5	4,4	1,9	3,4	0,4	5,8	8,6	1,6
2.500	16,4	1,1	8,6	5,2	1,7	3,3	0,4	5,9	7,9	1,8
5.000	21,3	1,1	10,1	5,4	1,9	3,4	0,4	6,1	8,5	1,7
	Galho					Lenho				
500	3,1	0,4	3,2	4,8	0,6	0,6	0,1	1,6	1,1	0,2
625	2,9	0,4	2,9	4,5	0,7	0,5	0,1	1,3	1,0	0,2
833	3,6	0,4	3,4	3,7	0,7	0,6	0,1	1,4	1,1	0,2
1.250	2,7	0,3	2,6	2,9	0,5	0,6	0,1	1,3	1,0	0,2
1.666	2,4	0,3	2,5	3,0	0,4	0,7	0,1	1,4	0,7	0,2
2.500	3,2	0,4	3,1	3,1	0,7	0,7	0,1	1,2	0,9	0,1
5.000	3,3	0,4	4,6	3,1	0,5	0,7	0,1	1,3	1,0	0,1
	Serrapilheira					Folheto				
500	7,6	0,4	2,4	15,9	2,2	-	0,3	2,9	7,6	1,3
625	8,3	0,3	1,9	12,8	1,9	-	-	-	-	-
833	7,3	0,3	1,9	12,8	2,1	-	0,3	2,6	5,9	1,4
1.250	8,9	0,3	1,7	13,2	2,0	-	-	-	-	-
1.666	7,5	0,3	1,8	12,5	2,1	-	0,5	3,5	5,1	1,6
2.500	8,1	0,3	2,1	12,7	2,4	-	-	-	-	-
5.000	9,7	0,5	1,9	12,3	2,3	-	0,5	4,4	6,0	1,6

As variações nas concentrações de nutrientes entre folhas e folheto indicam, comparativamente, a intensidade do processo de ciclagem bioquímica desses nutrientes. Já as variações nas concentrações desses nutrientes entre o folheto e a serrapilheira são indicadoras da intensidade de ciclagem biogeoquímica dos nutrientes contidos na serrapilheira (Reis & Barros, 1990). Dos nutrientes avaliados, a seqüência de grandeza de variações, na média de todas as situações avaliadas, entre as folhas e o folheto, foi $P > K > Mg > Ca$ e do folheto para a serrapilheira foi $K > P > Mg > Ca$ (Quadro 3).

Entre plantas estabelecidas em diferentes DP, observou-se que a ciclagem bioquímica foi mais intensa nas plantas em menores DP (Quadro 3), o que indicaria maior demanda relativa de P, K e Mg para a continuação do crescimento das árvores. As plantas em menores DP, na idade em que a avaliação foi realizada, ainda dispunham de muito espaço para crescimento da copa e, por conseguinte, demandavam maior investimento para formação de folhas e galhos finos, que são os componentes, em geral, com maiores concentrações desses nutrientes, razão por que a retranslocação relativa teria sido maior. Já a ciclagem biogeoquímica da serrapilheira não

apresentou tendência definida de variação em função da DP. O valor positivo para P no espaçamento de 4 x 5 m pode ser decorrente de contaminação da amostra com solo. Para Ca e Mg, os valores positivos indicam redução na biomassa sem correspondente liberação desses nutrientes. Desse modo, a quantidade de material mineralizado por esse processo será mais dependente da quantidade de serrapilheira existente em cada situação.

Apesar de a relação entre a produção de biomassa e o acúmulo de nutrientes na planta, na fase de crescimento intenso, ser bastante estreita (Barros et al., 1990b; Miller, 1995) e de ter ocorrido uma relação linear entre a produção de biomassa (Quadro 4) e a DP (Leite, 1996), a relação entre o conteúdo de P, K, Mg e N e a DP foi mais bem descrita por equações de regressão do tipo quadrática (Quadro 5). Esse comportamento indica que, nas DP maiores que a correspondente ao ponto de máximo de cada equação, a relação entre o conteúdo de nutrientes imobilizados na biomassa da parte aérea (por área) e a matéria seca de biomassa (por área) decresce. Esse comportamento pode implicar maior eficiência de uso desses nutrientes pela biomassa total da parte aérea e também, pode estar indicando, que, nessas

Quadro 3. Variação percentual da concentração de nutrientes entre o folheto (Fo) e as folhas (F) e entre a serrapilheira (S) e o folheto de plantas de *E. grandis* em diferentes densidades populacionais (DP)

DP	P	K	Ca	Mg
planta ha ⁻¹ ————— % —————				
Folheto vs folhas⁽¹⁾				
500	-70,0	-55,4	+4,1	-38,1
833	-72,7	-61,8	+11,3	-22,2
1.666	-54,5	-53,3	+15,9	-5,9
5.000	-54,5	-56,4	+11,1	-5,9
Serrapilheira vs folheto⁽²⁾				
500	+33,0	-17,2	+109,2	+69,2
833	0,0	-26,9	+116,9	+50,0
1.666	-40,0	-48,6	+145,1	+31,2
5.000	0,0	-56,8	+105,0	+43,7

⁽¹⁾ $\frac{([Fo]-[F])}{[F]} \times 100$. ⁽²⁾ $\frac{([S]-[Fo])}{[Fo]} \times 100$.

situações (DP maiores que a correspondente ao ponto de máximo), estava ocorrendo algum tipo de limitação à absorção desses nutrientes. Essa limitação pode ser consequência do menor teor de água encontrado no solo nessas situações (Leite, 1996). Já o comportamento observado para o Ca poderia, a princípio, indicar que não está havendo limitação à absorção desse nutriente em função do aumento da DP. Entretanto, os valores de concentração encontrados (Quadro 2) e as relações entre esse nutriente e outros (Quadro 6) mostram não ser essa inferência verdadeira. Essa observação enfatiza a necessidade de mais de um critério para avaliar o estado nutricional de plantas de eucalipto de forma correta.

Com relação a distribuição de nutrientes na biomassa, constatou-se que a alocação média de nutrientes nas folhas, nas cascas, nos galhos e nos lenhos das árvores de todos os tratamentos foi de 36,2; 22,7; 16,0 e 25,1%, respectivamente.

Os efeitos de diluição e de concentração, devidos às variações de produção de matéria seca causadas por fatores que não só a disponibilidade de nutrientes, fazem com que métodos alternativos de interpretação do estado nutricional, como as relações entre nutrientes, sejam mais confiáveis do que a simples avaliação das concentrações ou conteúdos de modo isolado. Relações entre dois nutrientes são melhores indicadores do desequilíbrio nutricional do que simplesmente o uso da concentração do nutriente (Beaufils, 1973; Jones, 1981). Entre os tratamentos avaliados, observou-se que as relações entre o Ca e os demais nutrientes aumentavam à medida que se reduzia a DP (Quadro 6), indicando suprimento inadequado (insuficiente) de Ca em plantas nas maiores DP. As demais relações não apresentavam padrão de variação definida. Pressupõe-se, aqui, que as relações calculadas para as menores DP estejam próximas daquelas consideradas ideais para o crescimento ótimo dessa espécie de eucalipto, pois a competição por Ca seria menor, e o transporte dos nutrientes no solo deveria sofrer menor limitação em razão da maior disponibilidade de água para as plantas nessas situações de menores DP.

As regressões ajustadas para descrever a relação entre o CUB e a DP mostraram não só ausência de variação significativa na eficiência de uso de K e de N em função da DP (Quadro 5), mas também ocorrência de maior eficiência de utilização de P, Ca e Mg pelo tronco em DP na faixa de 3.200 a 3.700 plantas ha⁻¹. Resultados obtidos para *E. camaldulensis* e *E. pellita* (Leles, 1995), para *E. grandis* (Pereira, 1990) e para *E. urophylla* e *E. pellita* (Bernardo, 1995), para P, Ca, Mg e K, em

Quadro 4. Peso dos componentes secos da parte aérea de árvores de *Eucalyptus grandis*, com a respectiva distribuição relativa entre eles, em diferentes densidades populacionais (DP)

Densidade populacional	F	G	C	L	M	BT/F	PF	PG	PC	PL
planta ha ⁻¹ ————— t ha ⁻¹ ————— % —————										
500	2,61	3,95	1,94	13,17	3,71	8,3	12,0	18,2	8,9	60,7
625	2,76	3,65	2,77	19,21	4,31	10,3	9,7	12,8	9,8	67,6
833	3,75	4,41	3,68	25,56	5,58	9,9	10,1	11,1	9,9	68,8
1.250	4,18	5,58	3,25	27,46	6,52	9,7	10,3	13,8	8,0	67,7
1.666	3,98	6,61	5,01	32,41	6,53	12,1	8,2	13,7	10,4	67,5
2.500	4,72	6,28	5,85	46,62	8,06	13,5	7,4	9,9	9,2	73,5
5.000	4,01	7,60	5,48	45,19	7,36	15,5	6,4	12,2	8,8	72,5

F = folhas; G = galhos; C = casca; L = lenho; M = manta orgânica; BT/F relação entre matéria seca da biomassa total da parte aérea e matéria seca de folhas; PF = contribuição percentual de folhas; PG de galhos; PC de casca e PL de lenho na composição da biomassa total da parte aérea.

regiões de cerrado de Minas Gerais apresentaram relação linear entre o CUB e a DP. Os valores encontrados nos CUB de P e K para tronco estão abaixo daqueles considerados como críticos por Barros et al. (1990a). Já os de Ca e de Mg nas plantas nas maiores DP e o de N para todos os tratamentos foram maiores que os valores considerados como críticos, a despeito da idade relativamente jovem das plantas avaliadas.

Quadro 5. Equações de regressão de conteúdo (kg ha⁻¹) de P, K, Ca, Mg, N, do somatório de todos esses nutrientes (NUT) na biomassa total da parte aérea de *Eucalyptus grandis*, com 31 meses de idade, e dos coeficientes de utilização biológico (CUB) do tronco (matéria seca do tronco/conteúdo de nutriente no tronco) de P, K, Ca, Mg e N, em função da densidade populacional (DP)

Equação de regressão	R ²
P = 4,12 + 0,0063 DP - 0,00000087 DP ²	0,945**
K = 33,54 + 0,0693 DP - 0,00000838 DP ²	0,977**
Ca = 95,46 + 0,0111 DP	0,561*
Mg = 13,74 + 0,0096 DP - 0,00000137 DP ²	0,866**
N = 51,85 + 0,0631 DP - 0,0000083 DP ²	0,886**
NUT = 195,85 + 0,1629 DP - 0,0000195 DP ²	0,922**
CUB P = 5637,46 + 1,0255 DP - 0,000151 DP ²	0,558*
CUB K = 552	ns
CUB Ca = 148,18 + 0,3069 DP - 0,000048 DP ²	0,624*
CUB Mg = 1316,00 + 1,0433 DP - 0,000139 DP ²	0,746*
CUB N = 1.088	ns

*, **: significativos a 5 e 1% pelo teste F.

O balanço de nutrientes no sistema solo (0-195 cm de profundidade)-planta(parte aérea)-serrapilheira indica que, para DP maior que 833 plantas ha⁻¹, as quantidades de P, K e Ca existentes no solo são insuficientes 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 31 meses (Quadro 7).

Somente para Mg, o balanço seria positivo independentemente da DP utilizada. Mesmo considerando a contribuição total dos nutrientes existentes na serrapilheira, as quantidades presentes de P e K não suportariam um próximo ciclo em DP maiores que 1.666 plantas ha⁻¹.

Entre os tratamentos, não foram detectadas diferenças significativas (P < 0,05), exceto para P, entre os teores de nutrientes presentes nas camadas do solo de 0-5 e de 5-10 cm de profundidade. Esse fato pode ser um indicativo de que as formas de nutrientes detectadas não devem apresentar boas correlações com as quantidades de nutrientes absorvidas pelas plantas, uma vez que, considerando a maior quantidade de nutrientes imobilizadas na biomassa das plantas estabelecidas em maiores DP (Quadro 5), esperavam-se menores quantidades de nutrientes no solo, o que não foi confirmado pelas análises. Isso indica, portanto, que, para as condições deste experimento, a sensibilidade dos métodos analíticos adotados para solo é baixa, daí a necessidade de estudos que visem à adequação ou desenvolvimento de métodos de análise de solos para fins florestais.

Quadro 6. Relações médias entre conteúdo (ou concentração) de nutrientes nas folhas e na biomassa total da parte aérea (kg ha⁻¹)/(kg ha⁻¹) de plantas de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais (DP)

Densidade populacional	Ca/P	Ca/K	Ca/Mg	Ca/N	K/P	K/Mg	K/N	N/P	N/Mg	Mg/P
planta ha ⁻¹	kg ha ⁻¹ /kg ha ⁻¹									
	Folha									
500	7,31	1,10	3,54	0,43	7,14	3,21	0,39	16,67	8,33	2,08
625	5,28	0,79	2,87	0,29	5,26	3,66	0,37	16,67	10,00	1,85
833	5,04	0,77	2,90	0,27	5,00	3,78	0,36	20,00	11,11	1,72
1.250	5,52	0,72	2,98	0,29	5,55	4,11	0,40	20,00	10,00	1,85
1.666	4,01	0,59	2,27	0,23	4,00	3,86	0,39	16,67	10,00	1,75
2.500	4,61	0,61	2,99	0,32	4,54	4,93	0,52	14,28	9,09	1,54
5.000	4,64	0,54	2,68	0,25	4,54	4,94	0,47	20,00	11,11	1,72
	Biomassa total da parte aérea									
500	13,29	1,43	5,85	1,26	12,50	4,07	0,88	10,00	4,54	2,27
625	10,73	1,23	4,82	1,00	11,11	3,94	0,82	11,11	4,76	2,22
833	11,82	1,23	5,34	1,03	12,50	4,35	0,84	11,11	5,26	2,22
1.250	9,74	1,00	4,86	0,80	10,00	4,86	0,80	12,50	6,25	2,00
1.666	9,12	0,87	4,34	0,79	9,09	4,99	0,91	11,11	5,55	2,08
2.500	9,34	0,91	4,53	0,91	9,09	4,95	1,00	10,00	5,00	2,08
5.000	9,87	0,83	4,93	0,89	10,00	5,92	1,07	11,11	5,55	2,00

Quadro 7. Nutrientes no solo (camada de 0-195 cm) na planta (parte aérea) e serrapilheira, em valores absolutos e percentuais, em parcelas com *Eucalyptus grandis*, em diferentes densidades populacionais (DP)

Densidade populacional	Parte aérea				Serrapilheira				Solo			
	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
planta ha ⁻¹												
500 (A) kg ha ⁻¹	6,3	62,4	108,0	17,2	1,4	9,8	71,4	9,9	9,2	93,7	112,4	101,4
(P) (%)	37,0	37,6	36,3	13,4	8,5	5,9	24,0	7,7	53,9	56,5	37,8	79,0
625 (A) kg ha ⁻¹	7,9	68,7	88,1	17,9	1,3	8,0	57,6	8,3	9,63	93,2	103,0	89,6
(P) (%)	41,9	40,4	35,5	15,5	7,0	4,7	23,2	7,2	51,1	54,8	41,5	77,6
833 (A) kg ha ⁻¹	9,9	95,8	123,3	23,3	1,8	11,0	77,5	13,1	9,5	92,8	102,1	94,5
(P) (%)	46,8	48,0	40,7	17,8	8,4	5,5	25,6	10,0	44,8	46,5	33,7	72,2
1.250 (A) kg ha ⁻¹	10,6	107,0	91,1	23,8	2,0	12,3	77,6	15,3	9,54	96,4	85,7	100,1
(P) (%)	47,9	49,6	35,8	17,1	9,0	5,7	30,5	11,0	43,1	44,7	33,7	71,9
1.666 (A) kg ha ⁻¹	11,8	126,1	112,1	26,6	2,0	13,4	88,4	14,0	9,73	96,7	103,6	98,0
(P) (%)	50,1	53,6	36,9	19,0	8,6	5,7	29,1	10,0	41,3	41,1	34,1	70,0
2.500 (A) kg ha ⁻¹	14,7	151,7	134,2	28,1	2,6	17,5	101,3	17,7	8,2	91,9	93,4	81,2
(P) (%)	55,0	58,1	40,8	22,1	9,9	6,7	30,8	13,9	35,0	35,2	28,4	63,9
5.000 (A) kg ha ⁻¹	14,2	170,8	148,4	27,8	3,4	13,8	95,0	16,2	9,3	92,2	100,9	85,3
(P) (%)	52,7	61,7	43,1	21,5	12,7	5,0	27,6	12,5	34,6	33,3	29,3	66,0

CONCLUSÕES

1. A utilização da densidade populacional (DP) de 5.000 plantas ha⁻¹ fez com que ocorresse maior limitação à absorção de nutrientes em relação às menores DP avaliadas.

2. Produção semelhante de biomassa do tronco, com diferentes níveis de eficiência de utilização de P, Ca e Mg, pode ser obtida, utilizando diferentes densidades populacionais.

3. Na planta, o Ca foi o mais influenciado pela alteração na densidade populacional, tendo seu teor diminuído em relação aos demais nutrientes com o aumento da DP.

4. As quantidades de P disponível e de K e Ca trocáveis no solo (camada de 0 a 195 cm) não seriam suficientes para atender à demanda nutricional das plantas, até os 31 meses de idade, nas DP iguais e superiores a 833 plantas ha⁻¹, em um próximo ciclo de cultivo.

LITERATURA CITADA

- BARBER, S.A. Influence of the plant root on ion movement in soil. In: CARSON, E.W., ed. The plant root and its environment. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p.524-564.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; LEITE, R.A. & TEIXEIRA, J.L. NUTRICALC - Versão I - manual técnico. Viçosa, UFV, 1990a. 41p.

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. & NEVES, J.C.L. In: BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F., eds. Relação solo eucalipto, Viçosa, Folha de Viçosa, 1990b. p.25-91.

BEAUFILS, E.R. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Pietermaritzburg: University of Natal, 1973. 132p. (Soil Sci. Bulletin, 1)

BERNARDO, A.L. Crescimento e eficiência nutricional de *Eucalyptus spp* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado de Minas Gerais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 102p. (Tese de Mestrado)

BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofométrica de fósforo em extratos de solo e plantas. R. Ceres, 21:73-85, 1974.

CÁRDENAS, A.C. Exportação de nutrientes e produtividade de povoamentos de eucalipto no litoral norte do Espírito Santo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1987. 98p. (Tese de Mestrado)

EMBRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento de Solos, 1979. não paginado.

FORD, E.D. The dynamics of plantation growth. In: BOWEN, G. D. & NAMBIAR, E. K. S., eds. Nutrition of plantation forests. London, Academic Press, 1984. p.15-52.

HERBERT, M.A. & ROBERTSON, M. A. Above-ground biomass composition and nutrient content for *Eucalytus* species in the Southeastern Transvaal. In: SCHÖNAL, A.P.G., ed. SYMPOSIUM ON INTENSIVE FORESTRY: the role of eucalypts, Durban, 1981. Proceedings. Durban, Southern African Institute of Forestry, 1991. p.662-674.

- JARRELL, W.M. & BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. *Adv. Agron.*, 34:197-224, 1981.
- JONES, C.A. Proposed modifications of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for interpreting plant analyses. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 12:785-794, 1981.
- LEITE, F.P. Crescimento, relações hídricas, nutricionais e lumínicas em povoamento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1996. 90p. (Tese de Mestrado)
- LELES, P.S.S. Crescimento, alocação de biomassa e distribuição de nutrientes e uso de água em *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 133p. (Tese de Mestrado)
- MILLER, H.G. Dynamics of nutrient cycling in plantation ecosystems. In: ALDOUS, J.R., ed. *Wood for energy: The implications for harvesting utilization and marketing*. Edinburgh, Institute of Chartered Foresters, 1984. p.137-146.
- MILLER, H.G. The influence of stand development on nutrient demand, growth and allocation. *Plant Soil*, 168-169:225-232, 1995.
- NELSON, D.W. & SOMMERS, L.E. Determination of total nitrogen in plant material. *Agron. J.*, 65:109-12, 1973.
- NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Nutrição Mineral do Eucalipto. In: BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F., eds. *Relação solo eucalipto*. Viçosa, Folha de Viçosa, 1990. p.25-91.
- OLIVA, M.A.; BARROS, N.F.; GOMES, M.M.S. & LOPES, N.F. Seca de ponteiro em *Eucalyptus camaldulensis* DEHN. em relação a estresse hídrico e nutrição mineral. *R. Árv.*, 13:19-33, 1989.
- PEREIRA, A.R. Biomassa e ciclagem de nutrientes minerais em povoamentos jovens de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, em regiões de cerrado. Viçosa, 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, Folha de Viçosa, 1990. p.265-302.