

## Índice de área foliar de *Eucalyptus grandis* em resposta à adubação com potássio e sódio

Julio Cesar Raposo de Almeida <sup>1</sup>  
Jean-Paul Laclau <sup>2,3</sup>  
José Leonardo de Moraes Gonçalves <sup>3</sup>  
Rildo Moreira e Moreira <sup>3</sup>  
Juan Sinforiano Delgado Rojas <sup>3</sup>

1. Universidade de Taubaté - UNITAU  
Estrada Mun. Dr. José Luiz Cembranelli, 5000 - 12080-010 - Taubaté - SP, Brasil  
jcraposo@uol.com.br

2. Centre de coopération internationale em recherche agronomique pour le développement  
CIRAD – Forêt, França

3. Universidade de São Paulo - USP/ESALQ  
Av. Pádua Dias, 11 - 13418-900, Piracicaba - SP, Brasil  
jplaclau, jlmgonca, jsdrojas@esalq.usp.br

**Abstract:** Leaf Area Index (LAI, i.e. horizontal projection of leaf area per unit ground area) is highly correlated with water balance and net primary production in forest ecosystems. LAI is related with species, but it is also highly dependent on environmental conditions and management practices which influence the availability of water and nutrients. This work aimed at establishing allometric relationships in fast-growing *Eucalyptus grandis* plantations in Brazil (Itatinga – São Paulo) making it possible to predict the LAI under K and Na fertilization. Dendrometric inventories (Crown diameter – CD, Diameter at Breast Height - DBH and total height - H) were made at 5, 8, 11, 24 and 35 months after planting. The trees were divided into 8 crown index (CI) or basal area (g) classes per treatment. One representative tree in each class was felled at ground level and sampled for leaf area determination at each age. The biomass and the specific leaf area (SLA = cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) were determined in 3 parts of the crown of equal length (bottom, middle and top). The data were used to establish a regression (Proc NLP, SAS) between CI, DBH and H and the total leaf area per tree. The equation was applied to all the trees inventoried at the same age, and the sum of total leaf area per plot was divided by the plot area. The comparison of local models (established individually for each treatment) with global models (for the trees sampled in different treatments) showed that global models were more adapted over the early growth of the stands (5, 8 and 11 months of age). By contrast, locals models were more accurate at 24 and 35 months after planting (AIC and BIC procedures). Throughout the 35 months of growth, the mean SLA for all the treatments decreased. However, the fertilization regimes modified leaf structure at 35 months after planting. Whereas the commercial K application led to a mean SLA of 119,4 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, Na application led to a decrease in SLA of 22% and 5,7% without K and Na application (control). The leaf area index was highly modified by fertilization regimes. The LAI increased continuously under K application to reach 5,40 at age 35 months. At age 11 months, Na application led to a LAI 39% higher than in the control treatment, but the differences were no more significant at 24 and 35 months after planting, LAI values stabilized around in almost 3. Therefore, K fertilization enhanced the LAI by a factor of about 2 over the first three years of growth in this *Eucalyptus grandis* plantation and Na fertilization did not increase significantly the LAI from age 1 year onwards.

## 1. Introdução

O índice de área foliar (IAF), denominado por Watson (1947) como sendo a razão entre a área foliar do dossel e a unidade de superfície projetada no solo, é uma variável biofísica que está diretamente relacionada com a transpiração e a produtividade florestal (Lang e McMurtrie, 1992) e, indiretamente com a eficiência de uso de água. Por se tratar de uma característica inerente as espécies, o IAF pode ser influenciado por fatores ambientais.

O uso da água pelo *Eucalyptus* tem sido um assunto controverso em muitas partes do mundo e, em função disso, muito esforço tem sido feito para adequar e compreender os efeitos de práticas silviculturais sobre as florestas plantadas para manter a sustentabilidade do sítio.

A adubação potássica tem possibilitado aumentos significativos de produtividade em grande parte das áreas plantadas com *Eucalyptus* spp no Brasil. Esses resultados são decorrentes dos baixos teores de K encontrados nos solos, bem como estão diretamente relacionados ao fato desse elemento atuar no processo de abertura e fechamento dos estômatos, que por sua vez regula o processo de assimilação de C e perda de água, afetando a turgescência e a expansão foliar, o que propicia melhor aproveitamento da radiação solar.

O Na, de forma similar ao K, também atua no metabolismo de algumas plantas, tendo grande importância sobre o controle osmótico (Epstein, 2005; Malavolta, 2006; Marschner, 1995). No entanto, a presença de Na em concentrações elevadas nos solos impõe restrições ao uso para fins agrícolas ou florestais.

Considerando a importância do K e do Na no ajuste e/ou controle da evapotranspiração e estreita relação do IAF com produtividade florestal o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito do K e Na sobre o IAF de *Eucalyptus grandis* durante os 3 primeiros anos de crescimento.

## 2. Material e Métodos

O estudo do efeito da adubação com K e Na sobre o IAF de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden (procedência de Coff's Harbor / Suzano), foi realizado em um experimento estabelecido em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico de textura média (200 g kg<sup>-1</sup> de argila), na Estação Experimental de Itatinga (ESALQ/USP).

A Estação Experimental está situada a 23° 02' S e a 48° 38' W, a 857m de altitude. O clima da região é mesotérmico úmido (Cwa), segundo a classificação de Köppen. Durante os primeiros anos de cultivo a precipitação foi de 1400, 1504 e 1191 mm, respectivamente. A temperatura média foi de 21,6 °C, e as temperaturas mínimas registradas variaram de 0 a 21,4 °C e as temperaturas máximas variaram de 15,8 a 37,6 °C (Figura 1). O período entre maio e setembro é o mais seco, mas durante o estudo ocorreram veranicos em fevereiro e março. A evapotranspiração potencial anual é de aproximadamente 1000 mm (Thornthwaite & Matter, 1948).

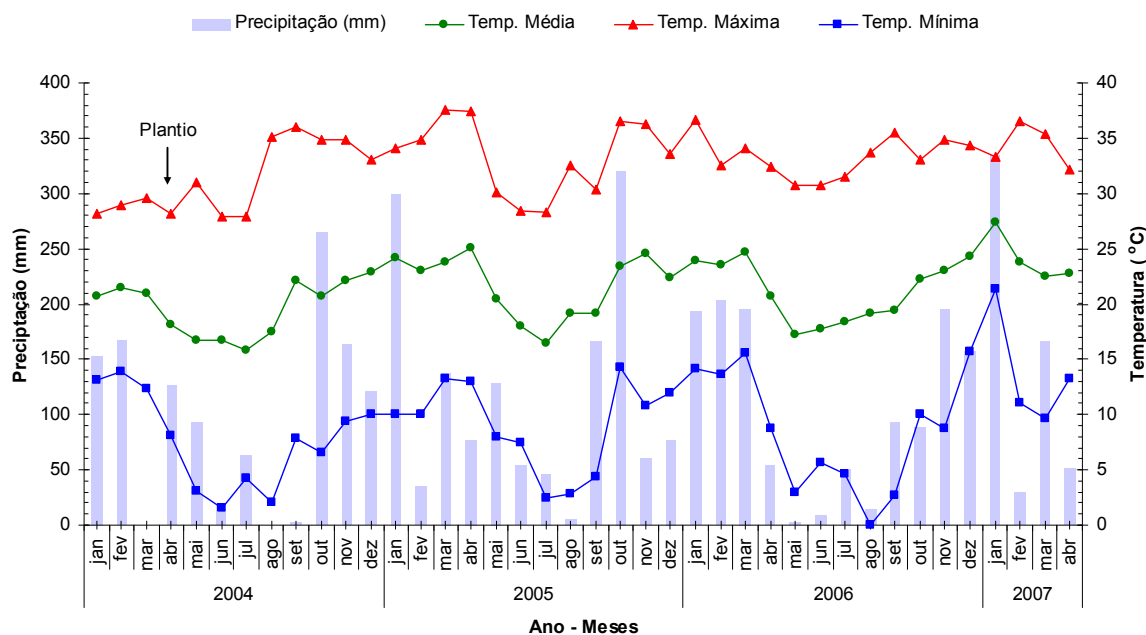


Figura 1 Precipitação pluviométrica mensal (mm), temperaturas (°C) máximas, mínimas e médias registradas na Estação Experimental de Itatinga (SP) entre 2004 e 2007

O Experimento foi instalado em blocos ao acaso, com 4 repetições, e os tratamentos avaliados foram:

T: Controle

K: 3 kmol ha<sup>-1</sup> de K (220 kg de KCl ha<sup>-1</sup>)

Na: 3 kmol ha<sup>-1</sup> de Na (175 kg de NaCl/ha<sup>-1</sup>)

O plantio foi realizado em espaçamento de 3x2m (1666 plantas/ha). As parcelas continham 81 plantas (9 linhas com 9 plantas por linha), mas para se evitar possíveis efeitos de bordadura, apenas as 25 plantas centrais foram avaliadas.

A fertilização básica realizada no plantio foi constituída por 80 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Super Fosfato Simples), 30 kg/ha de N ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e 30 kg/ha de FTE BR-12 (micronutrientes) dispostos em covetas ao lado das mudas e, 2000 kg/ha de calcário dolomítico distribuídos a lanço sem incorporação. No decorrer do primeiro ano, 90 kg/ha de N ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e as doses correspondentes aos tratamentos foram distribuídos a lanço.

Inventários para medição do diâmetro das copas (DC), da altura total (H) e circunferência à altura do peito (CAP = medida a 1,3 m em relação ao solo) foram realizados aos 5, 8 e 11, 24 e 35 meses após o plantio. A partir da distribuição de frequência por índice de copa (IC) e área basal (g) foram selecionadas e colhidas 8 árvores por tratamento, para representar todo o intervalo de distribuição.

As árvores colhidas foram avaliadas quanto à altura total, altura da copa, a circunferência à altura do peito (CAP = 1,3m do solo). Posteriormente, determinou-se a massa verde de folhas, subdividindo-se a copa em 3 estratos (inferior, médio e superior). De cada estrato foram colhidas duas amostras. A primeira amostra (30 folhas), logo que colhidas eram digitalizada em cores numa resolução de 150 dpi, em scanner de mesa, e em seguida eram secadas em estufa para determinação da massa seca. As imagens foram processadas pelo

software MATLAB 6.0, obtendo-se a área foliar das amostras. A área foliar específica (AFE =  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ ), definida como a área por unidade de massa, foi determinada dividindo-se a área foliar pela massa seca das amostras. A segunda amostra (200g) foi levada para a estufa a  $65^\circ\text{C}$  até massa constante para determinação do teor de umidade.

Descontando-se a umidade da biomassa verde de folhas, obteve-se a biomassa seca de folhas por estrato. Posteriormente, multiplicando-se biomassa seca de folhas pela AFE de cada estrato, determinou-se a área foliar por árvore.

Aos dados foram ajustadas equações alométricas utilizando o procedimento NLP do SAS para atingir a máxima verosimilhança. Modelos globais por idade (independentemente do tratamento) e modelos locais por tratamento dentro de cada idade, foram estabelecidos com até 3 parâmetros ( $\bar{y} = a + bx^c$ ). A escolha dos modelos baseou-se no critério de informação de Akaike (Akaike's information criterion - AIC) e no critério de informação bayesiano de Schwarz's (Bayesian information criterion - BIC) (Sicard et al., 2006). Os modelos permitiram estimar a área foliar de cada árvore da parcela em função das suas dimensões. O IAF por parcela foi determinado dividindo-se a área foliar total estimada (25 árvores) pela área da parcela ( $150\text{m}^2$ ).

### 3. Resultados e Discussão

Ao longo do primeiro ano de desenvolvimento (5, 8 e 11 meses) modelos globais foram os mais eficientes em estimar a área foliar das árvores independentemente do tratamento aplicado. Posteriormente, aos 24 e 35 meses, modificações na arquitetura da copa e na estrutura da folhas exigiram modelos específicos por tratamento (**Tabela 1**). Esses resultados evidenciam que a AF não está unicamente relacionada às dimensões da árvore podendo também ser influenciada por práticas de manejo, como a adubação, conforme foi ressaltado por Smersthurst et al.(2003). Em função disso, o uso de modelos globais deve ser feito de maneira criteriosa, pois pode levar a estimativa pouco precisa do IAF.

Tabela 1. Modelos para estimativa da área foliar ( $\text{m}^2$ ) por árvore em função da adubação com K e Na em diferentes idades.

Meses	Tratamentos*	Modelo para média	Modelo para a variância (Erro)
5	T, K e Na	$\mu=2,31(\text{IC})$	$\varepsilon^2=\text{raiz}(0,189)(\text{IC})^{(0,89)}$
8	T, K e Na	$\mu =1,116(\text{IC})$	$\varepsilon^2=\text{raiz}(88,045)(\text{IC})^{(-0,36)}$
12	T, K e Na	$\mu =4,40+1445,9(\text{D}^2\text{H})$	$\varepsilon^2=\text{raiz}(160,95)(\text{D}^2\text{H})^{(0,25)}$
24	T	$\mu =393,44(\text{D}^2\text{H})$	$\varepsilon^2=\text{raiz}(773,70)(\text{D}^2\text{H})^{(0,57)}$
	K	$\mu =281,06(\text{D}^2\text{H})$	
	Na	$\mu =235,95(\text{D}^2\text{H})$	
35	T	$\mu = 152,59 (\text{D}^2\text{H})$	$\varepsilon^2=\text{raiz}(40,50)(\text{D}^2\text{H})^{( 0,379)}$
	K	$\mu = 3,18 + 133,18 (\text{D}^2\text{H})$	
	Na	$\mu = 118,52 (\text{D}^2\text{H})$	

\*Os tratamentos T, K e Na correspondem a Testemunha, e a adubação com  $3 \text{ kmol ha}^{-1}$  de K e Na, ou  $220 \text{ kg ha}^{-1}$  de KCl e  $175 \text{ kg ha}^{-1}$  de NaCl, respectivamente.

No decorrer de 35 meses de avaliação verificou-se uma forte redução da AFE, passando de 145 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> aos 5 meses para 110 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> aos 24 meses. Aos 36 meses verificou-se uma ligeira diferença dos tratamentos Testemunha e K com o Na, 112,6, 119,4 e 93,4 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> respectivamente (**Tabela 2**). O que evidencia uma modificação na estrutura foliar do tratamento Na em virtude do acúmulo de carboidratos nas folhas devido à menor retranslocação dos fotoassimilados das folhas para os drenos.

A adubação com K possibilitou aumentos contínuos do IAF até os 24 meses após o plantio (**Figura 2b**). Os valores obtidos com K atingiram 5,4, o dobro da Testemunha e 69% maior que Na. O fornecimento de Na apresentou IAF maior que a Testemunha na fase inicial de desenvolvimento (até 11 meses), mas aos 24 e 35 meses as diferenças não foram significativas e, para ambos, o IAF estabilizou em valor próximo a 3, valor semelhante ao encontrado por Xavier et al. (2002) e Kallarackal & Somen (1997)

Tabela 2. Área foliar específica (AFE = cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) e Índice de Área foliar (IAF) de *Eucalyptus grandis* em função adubação com K e Na em diferentes idades (\*os valores representam a média e o erro padrão da média - ep).

Idade (meses)	T	Tratamentos*	
		K	Na
		AFE ± ep*	
		cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	
5	141,8 ± 5,04	145,6 ± 4,8	147,1 ± 4,7
8	140,1 ± 5,4	132,6 ± 4,5	129,2 ± 7,1
11	124,4 ± 5,7	139,4 ± 4,4	140,8 ± 4,9
24	100,9 ± 3,6	99,6 ± 4,6	97,6 ± 4,4
35	112,6 ± 5,0	119,4 ± 5,9	93,4 ± 2,3
		IAF ± ep*	
5	0,19 ± 0,04	0,27 ± 0,015	0,23 ± 0,015
8	1,60 ± 0,14	2,70 ± 0,17	2,06 ± 0,09
11	1,52 ± 0,12	3,06 ± 0,09	2,11 ± 0,17
24	3,19 ± 0,45	5,18 ± 0,16	2,98 ± 0,29
35	2,70 ± 0,30	5,40 ± 0,20	3,20 ± 0,27

\*Os tratamentos T, K e Na correspondem a Testemunha, e a adubação com 3 kmol ha<sup>-1</sup> de K e Na, ou 220 kg ha<sup>-1</sup> de KCl e 175 kg ha<sup>-1</sup> de NaCl, respectivamente.

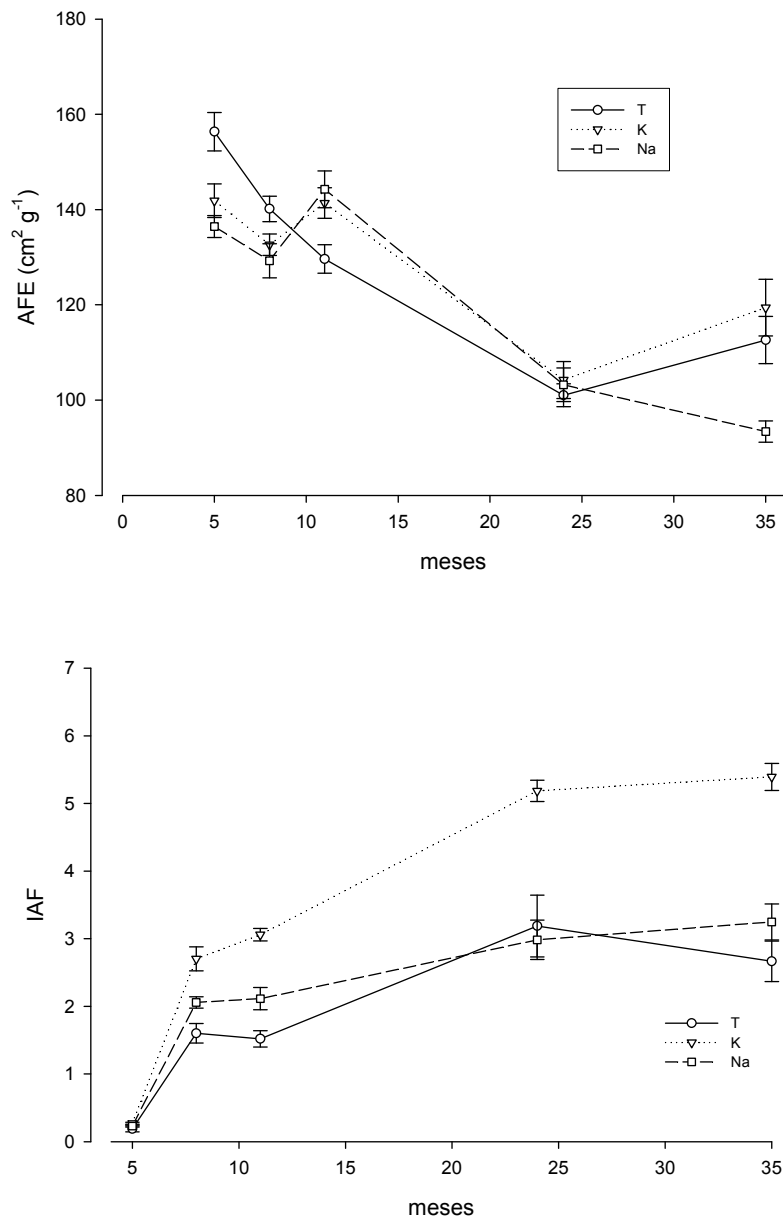


Figura 2. (a) Área Foliar Específica ( $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ ), (b) Índice de Área foliar (IAF) de *Eucalyptus grandis* em função adubação com K e Na em diferentes idades. (Os tratamentos T, K e Na correspondem a Testemunha, e a adubação com  $3 \text{ kmol ha}^{-1}$  de K e Na, ou  $220 \text{ kg ha}^{-1}$  de KCl e  $175 \text{ kg ha}^{-1}$  de NaCl, respectivamente. As barras junto às médias representam o erro padrão da média).

#### 4. Conclusão

A adubação potássica aumenta expressivamente o índice de área foliar (IAF) de folrestas plantadas de *Eucalyptus grandis*.

O fornecimento de Na, sob deficiência de K, podem modificar a estrutura foliar do *Eucalyptus grandis* diminuindo sua área foliar específica (AFE).

## Agradecimentos

A Fundação de amparo a pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (Auxílio Pesquisa: 2005/60312-0) e ao Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD/França) pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

A Universidade de Taubaté (UNITAU) pela bolsa de estudo concedida ao primeiro autor para o Doutorado no Programa de Ciências Florestais da ESALQ/USP e ao Institut Scientifique de Recherche Agronomique (INRA/França) pela concessão de bolsa de pós-doutorado ao último autor.

Aos funcionários e estagiários da Estação Experimental de Itatinga (ESALQ/USP) pelo apoio no trabalho de campo.

## Referências

- EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição Mineral de plantas**: princípios e perspectivas. Trad. M.E.T. Nunes. Londrina: Editora Planta, 2006, 403p.
- KALLARACKAL, J.; SOMEN, C. K. An ecophysiological evaluation of the suitability of *Eucalyptus grandis* for planting in the tropics. **Forest Ecology and Management**, v. 95, p. 53-61, 1997.
- LANG, A. R. G.; McMURTRIE, R. E. Total leaf areas of single trees of *Eucalyptus grandis* estimated from transmittances of the sun's beam. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.58, p.79-92, 1992.
- MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo. Ed. Agronômica Ceres, 2006. 638p.
- MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of higher plants**. 2ed. London: Academic Press. 1995. 889p.
- SICARD, C.; SAINT-ANDRE, L.; GELHAYE, D.; RANGER, J. Effect of initial fertilisation on biomass and nutrient content of Norway spruce and Douglas-fir plantations at the same site. **Trees** v.20: p.229-246, 2006.
- SMETHURST P.; BAILLIE C.; CHERRY M.; HOLZ G. Fertilizer effects on LAI and growth of four *Eucalyptus nitens* plantations. **Forest Ecology and Management**, v.176, n.1, p.531-542, 2003.
- WATSON, D. J. Comparative physiological studies on growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**, v.11, p.41-76. 1947.
- XAVIER, A. C.; SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C. Variação do índice de área foliar em clones de eucalipto ao longo de seu ciclo de crescimento. **Rev. Árvore**, Viçosa-MG, v.26, n.4, p.421-427, 2002