



Crescimento radial do tronco em plantios de eucalipto fertilizados com KCl, NaCl e Fonolito.

Alexandre de Vicente Ferraz⁽²⁾; Eric Victor de Oliveira Ferreira⁽³⁾; Fábio Henrique Silva Floriano de Toledo⁽⁴⁾; Yesid Alejandro Mariño Macana⁽⁵⁾; José Carlos Arthur Junior⁽⁶⁾; José Leonardo de Moraes Gonçalves⁽⁷⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do CNPq, FAPESP, Mineradora Curimbaba e International Paper.

^(2;3) Pós-doutorandos (bolsistas CNPq e FAPESP) do Departamento de Ciências Florestais; Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"-ESALQ (Universidade de São Paulo-USP); Piracicaba, São Paulo; avferraz@usp.br, ericsoles@yahoo.com.br. ^(4,5) Doutorando em Recursos Florestais; ESALQ/USP; fhtoledo@usp.br; yesidmarino@usp.br.

⁽⁶⁾ Coordenador Executivo do Programa Cooperativo sobre Silvicultura e Manejo (PTSM); Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF); arthur@ipef.br; ⁽⁷⁾ Professor do Departamento de Ciências Florestais; ESALQ/USP; jlmgonca@usp.br.

RESUMO: O aumento dos custos de produção em plantios de eucalipto, principalmente devido ao consumo de fertilizantes minerais como o cloreto de potássio, tem incentivado o uso de fontes alternativas de nutrientes. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o crescimento radial do tronco de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, por meio da sua circunferência à altura do peito (CAP), em resposta à fertilização com cloreto de potássio, fonolito e cloreto de sódio. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições e cinco tratamentos, sendo: controle (C), sem fertilização; omissão de potássio (-K), fertilização com cloreto de potássio (KCl), fertilização com fonolito (Fon) e fertilização com cloreto de sódio (NaCl). O crescimento radial foi avaliado por meio de cintas dendrométricas, instaladas em quatro árvores por parcela, de acordo com sua classe de CAP. As avaliações foram iniciadas aos 18 meses de idade das árvores e abrangeu o período de transição entre o verão e o outono de 2015. Nesta fase, as árvores fertilizadas com NaCl apresentaram crescimento 20% maior em CAP comparado ao tratamento C. Por outro lado, a fertilização com KCl possibilitou ganhos na CAP de 30% em relação à fertilização com fonolito. Independentemente da fonte mineral utilizada, as árvores pertencentes às maiores classes de CAP (dominantes) responderam melhor às práticas de fertilização. Portanto, árvores fertilizadas com NaCl podem responder tão bem quanto árvores fertilizadas com KCl, principalmente, nas maiores classes de CAP.

Termos de indexação: Fertilização alternativa, Fertilização silicatada, Atividade cambial.

INTRODUÇÃO

Apesar da eucaliptocultura no Brasil ser praticada geralmente em solos ácidos e distróficos, a produtividade média alcançada atualmente é

destaque no cenário internacional ($45 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) (Gonçalves et al. 2013). De acordo com Laclau et al. (2013), vários fatores afetam a sustentabilidade das plantações florestais, das quais destacam-se: a escassez de água, o aumento dos custos dos fertilizantes e o esgotamento das reservas minerais, principalmente, as de fósforo e de potássio. Neste aspecto, vale destacar a grande resposta das árvores de eucalipto à fertilização com cloreto de potássio (Gonçalves et al. 2008).

O Brasil produz apenas 1,1% de todo o potássio consumido no mundo; por isso, cerca de 90% do KCl consumidos pelo país é oriundo de importação (ANDA, 2013). Para tentar mitigar a dependência do Brasil pelo KCl, surge a necessidade de se estabelecerem fontes alternativas de nutrientes, tanto no setor agrícola quanto no setor florestal (Theodoro et al., 2006). Neste aspecto, a rocha fonolito tem despertado grande interesse dada sua capacidade de fornecer potássio (K), além do sódio (Na) e silício (Si) que podem ser benéficos para às plantas (Korndörfer, 2006).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento radial do tronco em plantios de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, por meio da sua circunferência à altura do peito (CAP), após fertilização com KCl, NaCl e fonolito.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no município de Luiz Antônio (SP), em uma área pertencente a empresa International Paper do Brasil. Localizada nas coordenadas geográficas $21^{\circ}38'48,9 \text{ S}$ e $47^{\circ}41'35,9 \text{ W}$, a uma altitude de 665 m, a área encontra-se numa região de clima mesotérmico úmido (Cwa), conforme classificação de Köppen, com temperatura média anual de $20,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e precipitação anual média de 1.483 mm (Alvarez et al., 2013). O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) de textura média, cujo teor médio de argila é de 20% e o teor disponível de



potássio é inferior a $0,4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Em junho de 2013, foi realizado o plantio de mudas clonais do híbrido IPB8 (nº de registro 21008), oriundo do cruzamento de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake e *E. grandis* W. Hill ex Maiden. As mudas foram estabelecidas no espaçamento $3 \times 2,5 \text{ m}$ e foram fertilizadas com 10 kg ha^{-1} de N, via sulfato de amônio; 10 kg ha^{-1} de K_2O , via KCl e 10 kg ha^{-1} de P_2O_5 , via superfosfato triplo. Esta fertilização de base foi efetuada em todas as parcelas apenas para garantir a sobrevivência inicial das mudas no campo.

Tratamentos e amostragens

O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso, com 13 tratamentos e quatro repetições, perfazendo 52 unidades experimentais. Cada parcela ficou composta por 64 plantas (oito linhas por oito plantas), sendo 16 árvores pertencentes à área útil e 48 plantas da bordadura dupla.

No presente trabalho, foram estudados apenas os tratamentos: 1) Controle, com apenas fertilização de base (C); 2) Omissão da fertilização potássica e/ou sódica (-K); 3) Fertilização com 200 kg ha^{-1} de cloreto de potássio (KCl); 4) Fertilização com 1500 kg ha^{-1} de fonolito (Fon) e 5) Fertilização com 76 kg ha^{-1} de cloreto de sódio (NaCl). As quantidades de KCl e de fonolito (3,3% de K, 2,6% de Na e 25,7% de Si) aplicadas ao solo corresponderam a 120 kg ha^{-1} de K_2O ; por sua vez, a quantidade de NaCl foi estabelecida com base na equivalência do número de mols de Na^+ em relação ao íon K^+ , adicionado com base na dose de K_2O . Com exceção do Controle, as parcelas dos demais tratamentos foram fertilizadas com 2000 kg ha^{-1} de calcário dolomítico, 20 kg ha^{-1} de FTE Br12 (1,8% de B, 0,8% de Cu, 2,0% de Mn, 0,1% de Mo e 9,0% de Zn), 4 kg ha^{-1} de boro e 50 kg ha^{-1} de N e P_2O_5 .

O crescimento radial do tronco das árvores foi avaliado por meio de cintas dendrométricas, instaladas a 1,30 metros de altura do solo. As cintas foram confeccionadas de acordo com a metodologia descrita por Sette Junior et al. (2010), sendo constituídas de fita e mola de aço inox. Após a medição da circunferência do tronco à altura do peito (CAP), aos 18 meses de idade das árvores, os indivíduos de cada tratamento foram distribuídos em classes de acordo com as médias (μ) da CAP e respectivos desvios padrão (s), sendo: **classe I** ($-2s \pm -1s$); **classe II** ($-1s \pm \mu$); **classe III** ($\mu \pm +1s$) e **classe IV** ($+1s \pm +2s$). Em cada parcela, foi selecionada uma árvore por classe (Tabela 1), o que resultou em 16 cintas por tratamento.

Instaladas em 07/01/2015, as cintas passaram a ser avaliadas em intervalos de aproximadamente quinze dias até 29/05/2015, o que permitiu averiguar o incremento corrente e o incremento acumulado da CAP ao longo do período de transição entre o verão e o outono.

Tabela 1 – Classes de circunferência do tronco à altura do peito (CAP) utilizadas na seleção das árvores onde foram instaladas as cintas dendrométricas.

Trat.	Classes de CAP			
	I	II	III	IV
C	18,5 f 20,2	20,2 f 21,9	21,9 f 23,6	23,6 f 25,4
-K	21,1 f 22,4	22,4 f 23,7	23,8 f 25,1	25,1 f 26,4
KCl	20,3 f 21,8	21,8 f 23,3	23,3 f 24,8	24,8 f 26,3
Fon	20,8 f 22,3	22,3 f 23,8	23,8 f 25,3	25,3 f 26,8
NaCl	21,1 f 22,5	22,5 f 23,9	23,9 f 25,3	25,3 f 26,8

Análise estatística

Os resultados foram averiguados quanto à presença de “outliers”, heterogeneidade da variância e normalidade. Nos casos em que foram necessárias transformações de dados, utilizou-se o método de potência ótima de Box-Cox. Em seguida, os resultados de cada classe de CAP e período de avaliação foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Incremento corrente

Os tratamentos proporcionaram incrementos distintos apenas em alguns períodos (**Figura 1A**). Sette Junior et al. (2010) relatam que a taxa de crescimento do tronco das árvores pode variar com o regime pluviométrico, a temperatura do ar e o déficit de pressão de vapor, com o estágio fenológico das árvores e, principalmente, com a disponibilidade de água e de nutrientes no solo.

Na classe de circunferência I, aos 56 dias de avaliação, a fertilização com NaCl proporcionou maior incremento da CAP (cerca de 20%) comparado aos tratamentos C, -K e Fon; ao passo que, aos 112 dias, as árvores fertilizadas com NaCl e KCl apresentaram ganhos de 22-23% na CAP do tronco em relação ao tratamento C. De acordo com Almeida et al. (2010), a possibilidade de substituir o K pelo Na em suas funções fisiológicas pode representar grande vantagem do *Eucalyptus* perante outros gêneros florestais, principalmente em solos altamente intemperizados.



Na classe II, aos 42 dias de avaliação, o incremento da CAP foi cerca de 30% maior no tratamento KCl em relação ao tratamento Fon. Estes resultados podem ser atribuídos a lenta liberação dos nutrientes contidos no fonolito para o solo, o que impossibilita o adequado fornecimento de K para as plantas conforme a sua demanda nutricional (Brandão et al., 2014). Na Classe IV, aos 30 e 56 dias de avaliação, as árvores fertilizadas com NaCl apresentaram incrementos significativamente maiores, superando em cerca de 30% as árvores cultivadas nos tratamentos C e Fon.

O menor incremento corrente foi proporcionado aos 13 dias na classe de CAP I, pelo tratamento C (**Figura 1A**). Por outro lado, o maior incremento foi observado na classe de CAP IV, aos 30 dias de avaliação, pelo tratamento NaCl. Em plantações de eucalipto, árvores com maior CAP possuem geralmente maior altura e, desta forma, são classificadas como dominantes. Na grande maioria das vezes, esses indivíduos respondem melhor às práticas de fertilização, pois possuem maior capacidade de absorção e de eficiência no uso da luz (Binkley et al., 2013), o que acarreta em maiores taxas de crescimento.

Incremento acumulado

Ao longo do período de avaliação, as maiores diferenças no incremento acumulado da CAP foram observadas nas árvores pertencentes a classe IV (**Figura 1B**). Otto et al. (2014), ao estudarem o consumo de água pelo eucalipto, observaram que árvores dominantes apresentam maior taxa de crescimento em relação às árvores dominadas, além de maior eficiência no uso da água.

Na classe de CAP IV, as árvores cultivadas no tratamento NaCl apresentaram, desde o sexagésimo nono dia de avaliação, maiores incrementos acumulados ($\approx 25\%$) em comparação ao tratamento C. Apesar desses resultados, vale salientar que o estudo encontra-se em fase inicial de avaliação; por isso, a resposta das árvores ao NaCl, ao fonolito e ao KCl pode ainda sofrer modificações.

CONCLUSÕES

A aplicação de NaCl em plantações de eucalipto pode proporcionar, na fase inicial de desenvolvimento das plantas, incrementos na circunferência do tronco similares à fertilização com KCl.

A resposta do eucalipto à fertilização potássica e/ou sódica é mais intensa em árvores com circunferência do tronco maior, ou seja, em árvores dominantes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, FAPESP e CAPES pelas bolsas de estudo e reservas técnicas; à International Paper do Brasil pela infraestrutura e logística; ao IPEF pelo apoio técnico-científico e à Mineração Curimbaba pelo fornecimento da rocha Fonolito e apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. Anuário estatístico do setor de fertilizantes. ano base 2012. São Paulo: ANDA, 2013. 173p.

ALMEIDA, J.C.R. et al. A positive growth response to NaCl applications in *Eucalyptus* plantations established on K-deficient soils. *Forest Ecology and Management*, 259:1786-1795, 2010.

ALVARES, C. A. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22:711-728, 2013.

BINKLEY, D. et al. Why one tree grows faster than another: Patterns of light use and light use efficiency at the scale of individual trees and stand. *Forest Ecology and Management*, 288:1-4, 2013

BRANDÃO, J.A.V. et al. Solubilization of diabase and phonolite dust by filamentous fungus. *Ceres*, 61:740-745, 2014.

GONÇALVES, J.L.M. et al. Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast growing eucalypt plantations: the Brazilian experience. *Southern Forests*, 70:105-118, 2008.

GONÇALVES, J.L.M. et al. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. *Forest Ecology and Management*, 301:6-27, 2013.

KORNDÖRFER, G.H. Elementos benéficos. In: FERNANDES, M.S. ed. *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa: SBC, 2006. p. 355-374.

LACLAU, J.P. et al. Perspectives for the management of eucalypt plantations under biotic and abiotic stresses. *Forest Ecology and Management*, 301:1-5, 2013.

OTTO, M.S.G. et al. Dominant clonal *Eucalyptus grandis* x *urophylla* trees use water more efficiently. *Forest Ecology and Management*, 259:1786-1795, 2010.

SETTE JUNIOR, C.R. et al. Crescimento em diâmetro do tronco das árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill. EX. Maiden e relação com as variáveis climáticas e fertilização mineral. *Revista Árvore*, 34:979-990, 2010.

THEODORO, S.H. et al. Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. *Espaço & Geografia*, 9:263-292, 2006.

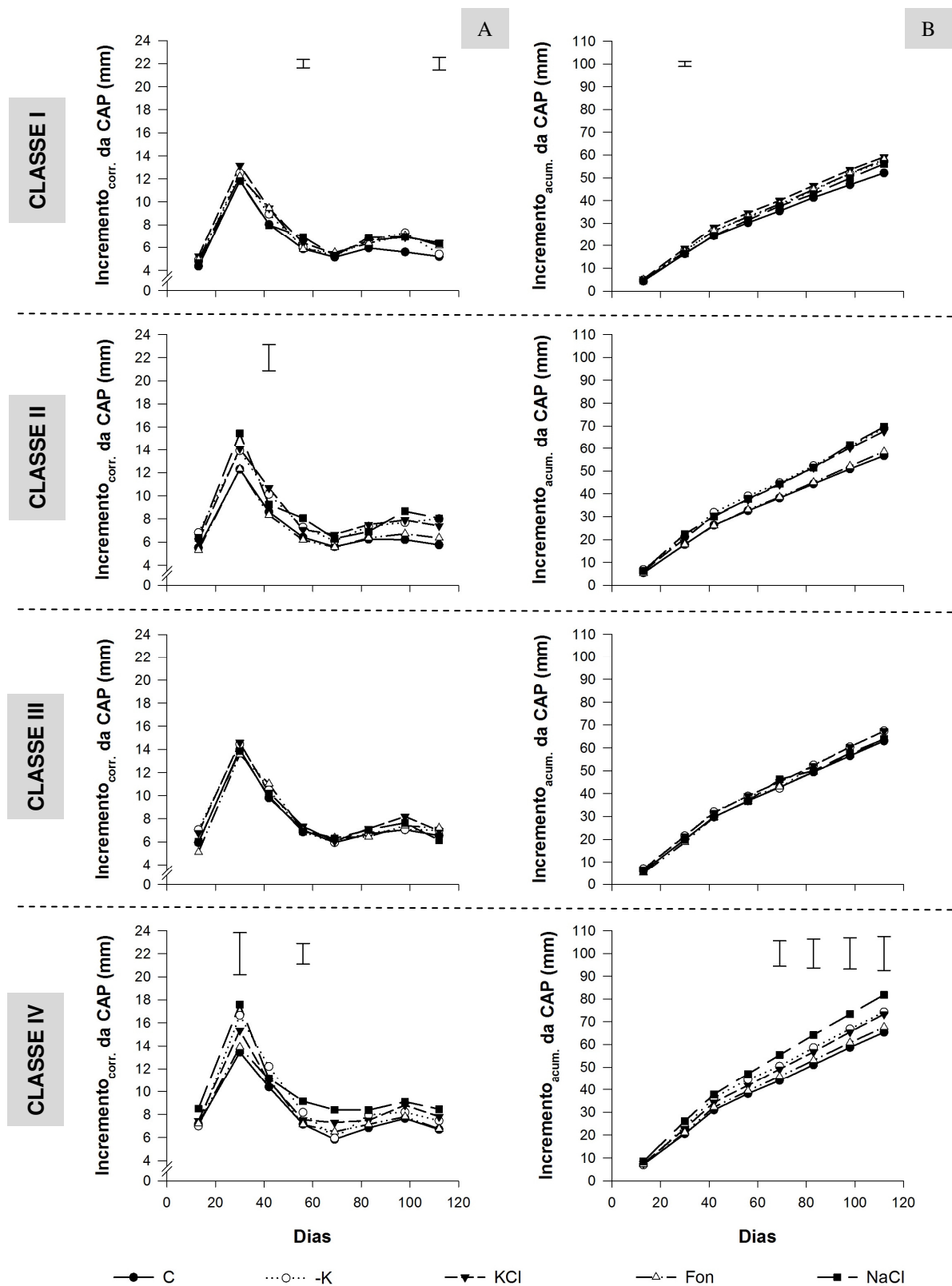


Figura 1 – Incremento corrente (Incremento_{corr.}) (A) e acumulado (Incremento_{acum.}) (B) da circunferência do tronco de eucalipto à altura do peito (CAP), de acordo com diferentes classes de CAP (classe I = $-2s \pm -1s$; classe II = $-1s \pm \mu$; classe III = $\mu \pm +1s$ e classe IV = $+1s \pm +2s$) e em função dos tratamentos: Controle (C), apenas com fertilização de base; Omissão da fertilização potássica e/ou sódica (-K); Fertilização com cloreto de potássio (KCl), Fertilização com fonolito (Fon) e Fertilização com cloreto de sódio (NaCl). Para cada classe de CAP e período de avaliação, as barras verticais correspondem ao valor da diferença mínima significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).