

Eficiência de uso de boro no crescimento de clones de eucalipto em vasos

Boron use efficiency on growth by *Eucalyptus* clones in potsVitor Corrêa de Mattos Barretto¹, Sérgio Valiengo Valeri²,
Ronaldo Luiz Vaz de Arruda Silveira³ e Ernesto Norio Takahashi⁴**Resumo**

Este trabalho avaliou níveis críticos, responsividade e eficiência de uso de boro no crescimento e produção de biomassa de seis clones comerciais (Ca, Cb, Cc, Cd, Ce e Cf) de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*. Para isso, foi conduzido experimento em vasos contendo sílica moída, em condições de casa de vegetação, com a aplicação de quatro doses de boro via solução nutritiva (0; 0,135; 0,27; 0,54 mg L⁻¹ de B), seguindo o delineamento em blocos ao acaso. Os tratamentos foram combinados num esquema fatorial 6 (clones) x 4 (doses), com três repetições. Foram feitas avaliações de altura, diâmetro do caule, massa de matéria seca dos componentes da parte aérea da planta e eficiência de uso de boro nas folhas, no caule e na biomassa total das plantas aos oito meses de idade. As plantas de eucalipto com 240 dias após transplântio em vasos responderam em crescimento e produção de biomassa da parte aérea à adubação com boro com ganhos em altura e biomassa entre 35 e 54% e entre 21 e 64%, respectivamente. As doses de boro que promoveram maior crescimento das plantas variaram de 0,33 a 0,44 mg L⁻¹ de B e nesta faixa o clone mais eficiente para produção de biomassa de folhas foi o Cf e o menos eficiente para a produção de biomassa de caule e da parte aérea foi o clone Cd, sem diferenças entre os demais clones. Os níveis críticos de boro na solução variaram de 0,09 a 0,24 mg L⁻¹ de B para o crescimento das plantas.

Palavras-chave: Nutrição florestal, *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, Micronutriente, Muda, Responsividade

Abstract

This paper evaluated the critical level, responsivity and boron use efficiency on growth and the biomass production in six *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* clones (Ca, Cb, Cc, Cd, Ce and Cf). An experiment was carried out in pots containing ground silicon, under greenhouse conditions using four boron rates per solution (0; 0.135; 0.27; 0.54 mg L⁻¹ of B). The treatments were combined in a randomized block experimental design in a 4 x 6 factorial scheme with three replications. Plant height, stem diameter, dry matter production in the shoots of the plant and boron use efficiency in the leaves, stem and total dry matter at the 8th month of age were evaluated. Due to boron fertilization, growth and shoot biomass were observed in the *Eucalyptus* plants after 240 days of being planted in pots. The increases in growth and biomass were 35 to 54% and 21 to 64%, respectively. The boron rates that promoted major growth of the plants were 0.33 to 0.44 mg L⁻¹ of B and in this range the most efficient clone for dry matter production of leaves was Cf and the least efficient one to stem biomass production and the shoot biomass was Cd, no significant differences among other clones were observed. The critical level of boron in solution was 0.09 to 0.24 mg L⁻¹ of B in the growth of the plants.

Keywords: Forest nutrition, *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, Micronutrient, Responsivity

INTRODUÇÃO

O cultivo de eucalipto no Brasil ocupa área de aproximadamente três milhões de hectares, devido ao seu crescimento rápido e por apresentar

boa adaptação às condições edafoclimáticas do país. Essa cultura permite ciclo de corte relativamente curto e alta produtividade, quando compa-

¹Mestre em Agronomia pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista - Rua Emílio Menon, 268 - Taquaritinga, SP - 15900-000 - E-mail: barretto@fcav.unesp.br

²Professor Titular do Departamento de Produção Vegetal da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista - Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane, km 5 - Jaboticabal, SP - 14884-900 - E-mail: valeri@fcav.unesp.br

³Doutor em Solos e Nutrição de Plantas pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo - Rua Alfredo Guedes, 1949 - Piracicaba, SP - 13416-901 - E-mail: ronaldo@rragroflorestal.com.br

⁴Engenheiro Florestal do Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento Florestal da Votorantim Celulose e Papel - Rodovia MS 395, km 20 - Três Lagoas, MS - 79.601-970 - E-mail: ernesto.takahashi@vcp.com.br

rada com espécies florestais nativas, apresentando assim importante função quanto aos aspectos econômicos e silviculturais. Do ponto de vista ambiental, essas plantações têm surtido grande efeito na redução da exploração predatória de matas nativas (GONÇALVES e VALERI, 2001).

Os solos destinados às culturas florestais são geralmente arenosos, de baixa fertilidade natural e com déficit hídrico, fatores esses que interferem no teor de boro no solo e na disponibilidade deste para as plantas (SILVEIRA *et al.*, 2000).

O boro é um elemento essencial cuja deficiência resulta em rápida inibição no crescimento das plantas, atuando no seu crescimento meristemático (MARSCHNER, 1995). A importância do boro está associada à formação da parede celular, mais especificamente na síntese dos seus componentes, como a pectina, a celulose e a lignina (MARSCHNER, 1995; MORAES *et al.*, 2002; SILVEIRA *et al.*, 2002).

O termo “eficiência” é definido como a habilidade da planta em absorver e / ou, em usar os nutrientes e é empregado para diferenciar espécies de plantas, genótipos e cultivares (BALIGAR e FAGERIA, 1999).

A eficiência de uso consiste em quantificar a produção de biomassa por cada unidade de nutriente absorvida.

De acordo com Moll *et al.* (1982), a eficiência de uso de nutrientes (EUN) pode ser expressa pela relação entre a biomassa seca produzida por unidade de nutriente absorvida. Já para Siddiqi e Glass (1981), a EUN é conceituada como sendo o produto do quociente de uso pela biomassa produzida, o que corresponde à razão entre o quadrado da produção (matéria seca) e a quantidade do nutriente contida na biomassa.

Para Guimarães (1993), as diferenças na absorção e uso de nutrientes nas espécies de plantas é consequência direta da evolução de genótipos em ambientes distintos. Faulkner *et al.* (1976), citados por Guimarães (1993), mencionaram que existem diferenças na absorção de nutrientes e na resposta em crescimento entre espécies, procedências, progênies e clones de espécies florestais.

Barros *et al.* (1985), estudando clones de *E. grandis*, encontraram variações na eficiência de absorção e de utilização, segundo o nutriente e de clone para clone. Moraes (1988) observou diferenças na eficiência nutricional de cinco espécies de eucalipto e Furtini Neto *et al.* (1996) também observaram variações acentuadas quanto à eficiência de utilização do nutriente por algumas espécies de eucalipto. Paula (1995) verificou que as famílias de meio-irmão de *Eucalyptus camaldul-*

ensis mais eficientes em usar os nutrientes apresentaram tendência de serem as mais produtivas, refletindo, proporcionalmente, em menor exportação de nutrientes por biomassa produzida.

A avaliação de eficiência de uso de nutrientes para a produção de biomassa (caule) permite identificar clones mais eficientes no uso de nutrientes menos disponíveis no solo, como o boro. São mais indicados aqueles que produzem maior volume de madeira e exportam relativamente menores quantidades de nutrientes limitantes do solo no lenho.

Estudos de eficiência de uso de nutrientes entre diferentes clones de eucalipto realizados em casa de vegetação podem ser úteis para os programas de melhoramento genético que visam seleção precoce, pois as respostas são obtidas em período curto de tempo.

O presente estudo teve por objetivo avaliar níveis críticos, responsividade e eficiência de uso de boro no crescimento e produção de biomassa de seis clones comerciais (Ca, Cb, Cc, Cd, Ce e Cf) de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* em vasos.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliados seis clones comerciais, híbridos de *Eucalyptus grandis* W. (Hill ex Maiden) x *E. urophylla* S.T. Blake, que vêm sendo usados em áreas de plantio da Votorantim Celulose e Papel – VCP, na região de Ribeirão Preto, SP. As mudas foram obtidas por mini-estaquia em tubetes de 50 cm³ e apresentavam altura média de 20 cm e idade de 75 dias.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, localizada no Viveiro Experimental da Votorantim Celulose e Papel - VCP, município de Luiz Antônio, SP, no período de janeiro a agosto de 2001.

Usou-se vaso de plástico com capacidade para 10 litros, conectado por uma mangueira de plástico a um frasco de vidro de um litro para reposição de solução nutritiva. Os vasos e os frascos repositores foram revestidos externamente com tinta alumínio para evitar o crescimento de algas. Os vasos foram preenchidos com sílica moída e, em seguida, cobertos por saco de plástico preto, também para evitar o crescimento de algas.

Foram aplicadas quatro doses de boro via solução nutritiva (0; 0,135; 0,27; 0,54 mg L⁻¹ de B), empregando-se o ácido bórico (17% de B). A solução nutritiva incluiu todos os nutrientes, com exceção do boro, tendo sido uma modificação da solução proposta por Sarruge (1975), de

acordo com a Tabela 1. A parcela foi constituída por um vaso de 10 litros contendo uma planta. O delineamento experimental empregado foi o de blocos ao acaso, usando o esquema fatorial 6 x 4 (seis clones e quatro doses de boro), com três repetições, totalizando 72 parcelas.

As mudas foram plantadas nos vasos com raízes nuas, após terem sido submetidas ao processo de remoção do substrato em água corrente. Os vasos foram mantidos com solução nutritiva.

Diariamente, o nível nos frascos repositores foi completado até o volume de um litro com água desmineralizada, sendo este o volume da irrigação diária pela manhã. A cada 15 dias, a solução nutritiva foi renovada. O ensaio foi conduzido por cerca de 240 dias contados a partir do plantio e, após esse período, foram feitas avaliações de altura, diâmetro do caule a 60 cm de altura em relação à sílica, massa de matéria seca de folhas (MSF), caule (MSC) e total da parte aérea (MST).

As plantas foram colhidas e separadas em folhas, ramos, casca e caule. As partes vegetais foram lavadas em água de torneira e em água desmineralizada. Em seguida, os diferentes componentes da parte aérea da planta foram acondicionados em sacos de papel e colocados em estufa com circulação forçada de ar a $\pm 70^\circ$ C até atingir massa constante. Após a determinação da massa de matéria seca, realizou-se a moagem do material em moinho de aço inoxidável do tipo Willey, com peneira de 20 mesh, de acordo com as instruções de Bataglia *et al.* (1983). Neste trabalho foram usados os dados de biomassa de folhas, caule e parte aérea total.

A determinação do teor de boro da matéria seca vegetal foi realizada através do uso da colo-

rimetria de azometina-H, de acordo com a metodologia descrita por Malavolta *et al.* (1997).

Foi determinada a eficiência de uso de boro (EUB) nas folhas, no caule e na matéria seca total da parte aérea, empregando-se a fórmula: $EUB = (MS)^2/Q$, onde MS é a massa de matéria seca e Q é a quantidade de boro presente na biomassa, de acordo com Siddiqi e Glass (1981).

Foram feitas análises de variância dos dados obtidos e as médias das variáveis entre clones comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os efeitos das doses de boro nas variáveis dependentes foram estudados por meio de análises de regressão. A responsividade de um clone ou grupo de clones ao boro foi avaliada com base no incremento, ou seja, na diferença entre o menor valor da variável obtida, geralmente sem a aplicação de boro, e o máximo valor obtido com uma determinada dose de boro. A responsividade foi discutida tanto para clone(s) de baixa como de alta produtividade.

Foram estimados os níveis críticos de boro na solução através do ajuste de regressões entre as variáveis avaliadas em cada clone em função das doses de boro aplicadas, considerando-se 90% da produção máxima quando o efeito foi quadrático. Também foi feito o ajuste de regressões entre a produção de matéria seca de caule de cada clone e o teor de boro nas folhas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito das doses de boro e dos clones no crescimento em altura e diâmetro das plantas. O clone Cd demonstrou-se inferior aos demais com relação ao crescimento (Tabela 2 e Figura 1).

Tabela 1. Composição química da solução nutritiva modificada (ml L^{-1}) usada no experimento¹.

Table 1. (Chemical composition of modified nutrient solution (ml L^{-1}) used in the experiment)¹.

Fertilizantes	Doses de boro (mg L^{-1})			
	0	0,135	0,270	0,540
	(g 100 L ⁻¹ de água)			
Nitrato de cálcio	118	118	118	118
MAP	11,5	11,5	11,5	11,5
Cloreto de potássio	40	40	40	40
Sulfato de magnésio	49	49	49	49
Uréia	49	49	49	49
	ml L ⁻¹ de água ^(a)			
Solução de boro (0,37 g de ácido bórico/L)	0	200	400	800
Solução de micronutrientes sem o boro*	100	100	100	100
Solução de Fe-EDTA**	100	100	100	100

¹Fonte: (SARRUGE, 1975)

^(a)A ser completado em 100 L de água.

* - Composição (g L^{-1}) da solução de micronutrientes sem o boro: 2,43 de $\text{MnSO}_4 \cdot (\text{H}_2\text{O})$; 0,08 de $\text{CuSO}_4 \cdot 5(\text{H}_2\text{O})$; 0,21 de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7(\text{H}_2\text{O})$ e 0,02 de $\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot (\text{H}_2\text{O})$.

** - 26,1 g de EDTA dissódico dissolvido em 286 ml de NaOH 1N e misturado com 24,9 g de $\text{FeSO}_4 \cdot 7(\text{H}_2\text{O})$. Arejado por uma noite e completado o volume a um litro com água desmineralizada.

Tabela 2. Resultados das análises de regressão e de variância referentes a altura e diâmetro dos clones Ca, Cb, Cc, Cd, Ce e Cf de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* em função das doses de boro aplicadas via solução nutritiva, aos 240 dias após plantio.

Table 2. (Results of regression analysis and variance referring height and stem diameter of *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* clones (Ca, Cb, Cc, Cd, Ce e Cf), as affected by boron doses in the nutrient solution, at 240 days after planting).

Causas de variação	G.L.	Quadrados Médios	
		Altura	Diâmetro
Regressão Linear para Ca	1	0,4521**	19,1019*
Regressão Quadrática para Ca	1	0,2350**	2,6048 ^{ns}
Regressão Linear para Cb	1	0,5089**	0,9325 ^{ns}
Regressão Quadrática para Cb	1	0,1601*	0,4690 ^{ns}
Regressão Linear para Cc	1	0,3220**	8,9177 ^{ns}
Regressão Quadrática para Cc	1	0,1240*	0,1484 ^{ns}
Regressão Linear para Cd	1	0,0823 ^{ns}	2,0917 ^{ns}
Regressão Quadrática para Cd	1	0,0535 ^{ns}	0,0191 ^{ns}
Regressão Linear para Ce	1	0,5343**	7,4161 ^{ns}
Regressão Quadrática para Ce	1	0,3174**	5,3358 ^{ns}
Regressão Linear para Cf	1	0,5201**	15,6948*
Regressão Quadrática para Cf	1	0,0450 ^{ns}	0,1688 ^{ns}
(Doses de B) (D)	(3)	1,2644**	21,0151**
(Clones) (C)	(5)	0,1953**	10,9511*
(D x C)	(14)	0,0389 ^{ns}	3,9866 ^{ns}
(Blocos)	(2)	0,0225 ^{ns}	3,3784 ^{ns}
Resíduo	46	0,0285	3,3817
C.V. (%)		9,51	13,34
Média		1,78	13,76

ns = não significativo ($P > 0,05$); (*, **) = significativos, respectivamente ($P < 0,05$) e ($P < 0,01$).

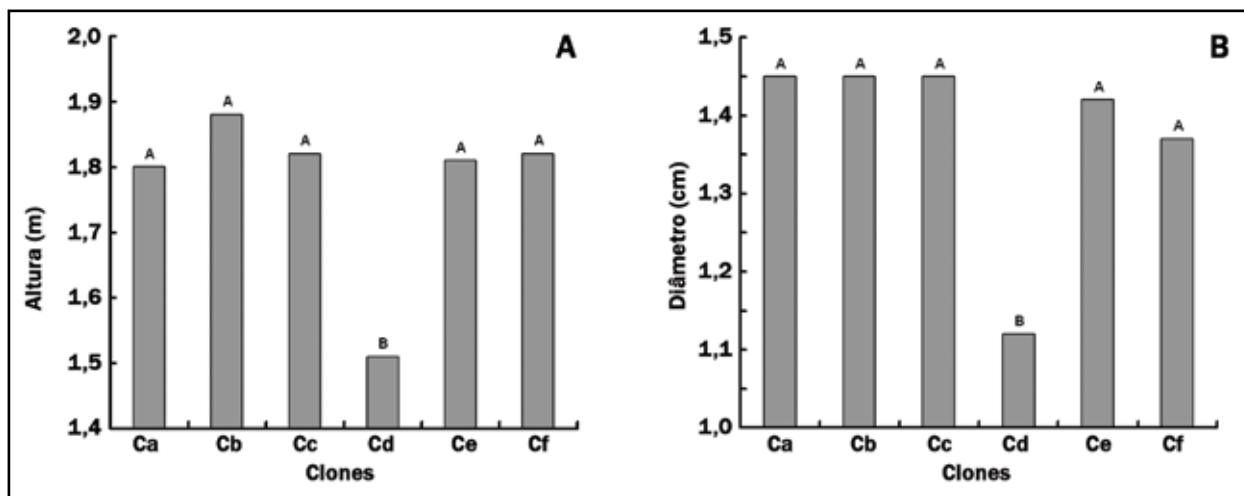


Figura 1. Altura (A) e diâmetro do caule a 60 cm do substrato (B) dos clones Ca, Cb, Cc, Cd, Ce e Cf de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, aos 240 dias após plantio. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Figure 1. (Height (A) and diameter of stem at 60 cm of substrate (B) by *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* clones Ca, Cb, Cc, Cd, Ce and Cf in the nutrient solution, at 240 days after planting).

Foram feitos os desdobramentos das interações para estudar os efeitos das doses de boro dentro de cada clone. Houve efeitos quadráticos para a altura dos clones estudados, com exceção do clone Cf (Figura 2), que foi linear. Com relação ao Cd, a interação não foi significativa.

Com relação ao diâmetro (Y), houve efeito linear das doses de boro (X) para os clones Ca ($Y = 13,018 + 6,3189X$; $R^2 = 0,87$) e Cf ($Y = 12,3027 + 5,7277X$; $R^2 = 0,92$), sendo que para os demais clones, não houve efeito da aplicação de boro.

Os níveis críticos de boro para altura variaram de 0,16 a 0,18 mg L^{-1} de B, para os clones Ca, Cb, Cc e Ce. Trabalhando com uma faixa maior de doses de boro, Silveira *et al.* (2000) verificaram que doses, variando de 0,125 a 4,0 mg L^{-1} de B na solução nutritiva, promoveram maior altura das brotações de *E. citriodora* aos 84 dias após o corte, em condições de vaso contendo sílica moída como substrato, do que as plantas que não receberam boro.

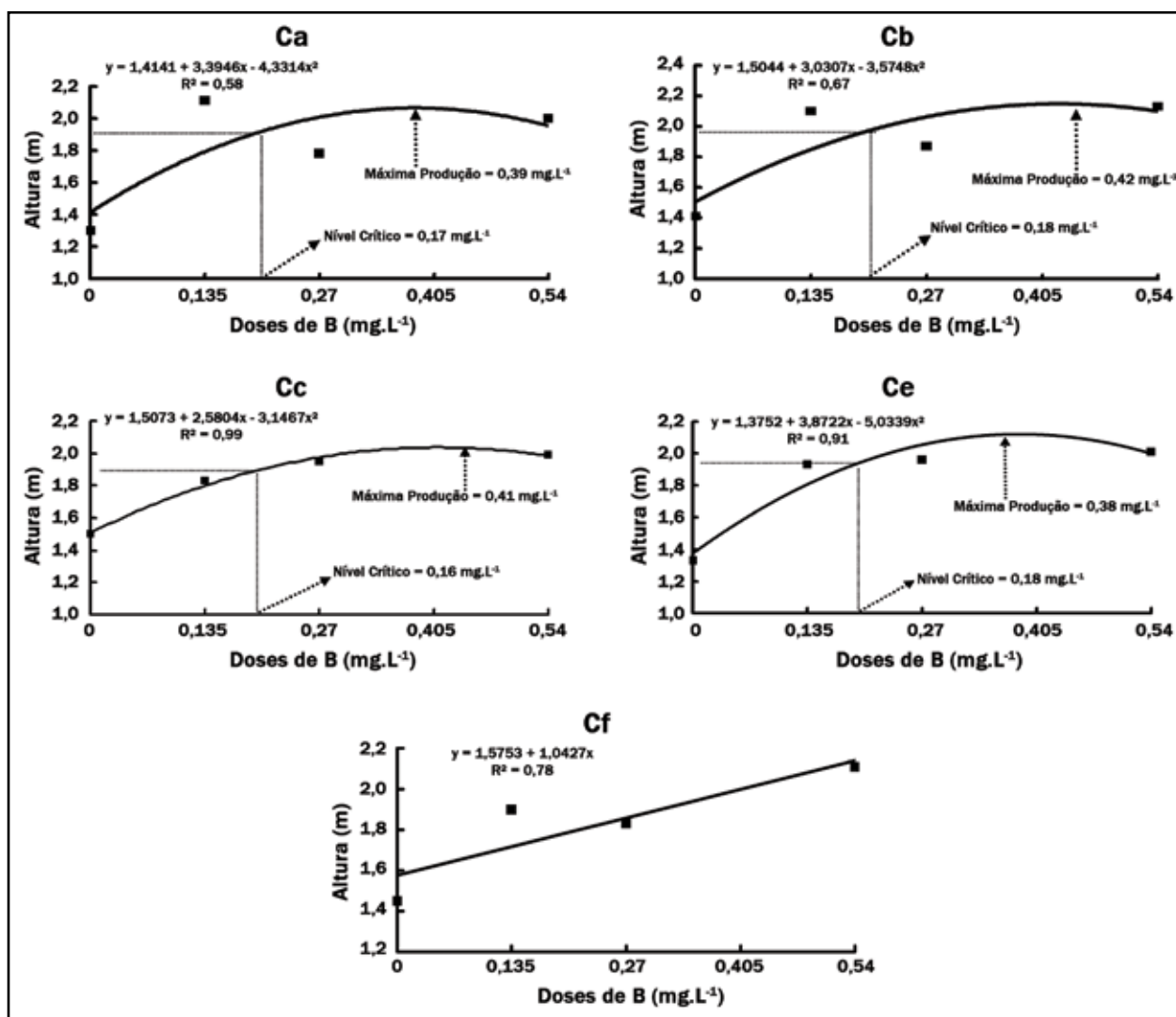


Figura 2. Variação da altura dos clones Ca, Cb, Cc, Ce e Cf de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, em função das doses de boro aplicadas via solução nutritiva, aos 240 dias após plantio.
Figure 2. (Height variation by *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* clones Ca, Cb, Cc, Ce and Cf, as affected by boron doses in the nutrient solution, at 240 days after planting).

Na avaliação da responsividade dos clones para altura em função das doses de boro, o clone mais responsivo foi o clone Ce, apresentando aumento de crescimento de 54% em relação à testemunha, vindo em seguida os clones Ca (46%), Cb (43%), Cf (35%) e Cc (35%) com relação às respectivas testemunhas.

Como houve efeitos lineares das doses de boro no crescimento em diâmetro dos clones Ca e Cf, foi determinada a responsividade de ambos, considerando o incremento obtido entre a menor e a maior dose, obtendo-se os valores de 26% e 25%, respectivamente.

Em condições de campo, Bouchardet (2002) avaliou a responsividade de dois clones (A1 e A2) em idades diferentes adubadas com boro (0; 0,5; 1; 2; 4 e 8 kg ha⁻¹). Observou que os clones A1 e A2 tiveram, respectivamente, na dose de 0,5 kg ha⁻¹ de B aumentos de 48% e 18% na altura em relação à testemunha, aos

12 meses de idade e de 27% e 17%, aos 24 meses de idade. A dose de 4 kg ha⁻¹ de B provocou decréscimo na altura para o clone A2. O trabalho dessa autora evidencia que a responsividade a boro varia entre clones de eucalipto para o crescimento.

Deficiências e respostas à aplicação de boro em plantações de eucaliptos nas diversas regiões do Brasil são encontradas em áreas com deficiência hídrica e em solos de baixa disponibilidade deste micronutriente, principalmente solos de origem sedimentar, de textura grossa, altamente intemperizados e com baixos teores de matéria orgânica, com base na revisão de Gonçalves e Valeri (2001). A adição de boro em solos de baixa fertilidade tem sido realizada juntamente com macronutrientes (NPK), parceladamente na fase de implantação do eucalipto, que termina geralmente aos 24 meses, sendo que os resultados obtidos têm

demonstrado a necessidade de sua recomendação para que haja ganho de produtividade em volume de madeira e crescimento em diâmetro (FONSECA *et al.*, 1990; GIOVANETTI, 1999). Rerkasem e Jamjod (1997) argumentaram que o uso de fertilizantes é a solução mais simples e de menor custo para o problema de cultivos em solos com baixa disponibilidade de boro e salientam que o desenvolvimento de genótipos com maior eficiência no aproveitamento de boro pode oferecer uma alternativa real e exequível para o problema de boro. Chichorro *et al.* (1994) verificaram que a adição de B e Zn melhorou a eficiência econômica do uso de fertilizantes. Constataram que o tratamento 2 t ha⁻¹ de fosfato natural e 75 g de NPK (fórmula 10-28-06) mais B e Zn, por planta, foi o que apresentou maior ganho econômico (12,38%) e razão benefício custo (1,17).

Para os dados de biomassa, houve efeito da interação entre doses e clones para a massa de matéria seca de folhas e total e efeito independente de doses e clones para a matéria seca de caule (Tabela 3). Com o desdobramento da interação observa-se que sem a aplicação de boro, o clone Ce apresentou menor produção de matéria seca de folhas que os clones Cd e Cf (Tabela 4), mostrando ser mais exigente ao boro do que os demais clones. Na dose 0,135

mg L⁻¹ de B, o clone Cf produziu mais massa de folhas do que os clones Cb e Cd. Na dose 0,27 mg L⁻¹ de B, os clones Ca e Cf produziram mais massa de folhas do que o clone Cd e, na dose 0,54 mg L⁻¹ de B, os clones Ca, Cc, Ce e Cf produziram mais massa de folhas do que o Cd. Sendo assim, o clone Cd parece ser menos exigente ao boro, pois, relativamente, produziu bastante matéria seca de folhas na ausência de boro e na maior dose de boro foi o que produziu menor matéria seca.

A ordem decrescente dos clones, em relação à produção de massa de matéria seca estimada de folhas, média para os seis clones testados, foi: Cf > Ca > Cc > Ce > Cb > Cd.

A variação da massa de matéria seca de folhas em função das doses de boro para cada clone está apresentada na Figura 3, onde são mostrados as equações e os níveis críticos. De maneira semelhante ao observado para altura, o clone Ce foi mais exigente em boro (maior nível crítico). O clone Ce foi o mais responsivo, apresentando aumento de produção de 49% em relação ao produzido sem a aplicação de boro, vindo em seguida o Ca (42%), Cc (40%), Cb (40%) e Cf (25%), também com relação às suas respectivas testemunhas. A produção de massa de folhas do clone Cd decresceu linearmente com o aumento das doses de boro.

Tabela 3. Resultados das análises de regressão e de variância referentes a massa de matéria seca de folhas (MSF), caule (MSCau) e total da parte aérea (MST) dos clones Ca, Cb, Cc, Cd, Ce e Cf de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* aos 240 dias após plantio em função das doses de boro.

Table 3. (Results of regression analysis and variance referring dry matter of leaves (MSF), stem (MSCau) and total (MST) by *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* clones (Ca, Cb, Cc, Cd, Ce e Cf), as affected by boron doses in the nutrient solution, at 240 days after planting).

Causas de Variação	G.L.	Quadrados Médios		
		MSF (g/planta)	MSCau (g/planta)	MST(g/planta)
Regressão Linear para Ca	1	444,960 ^{ns}	6450,752 ^{**}	14239,215 ^{**}
Regressão Quad. para Ca	1	3150,741 ^{**}	734,933 ^{ns}	8425,820 [*]
Regressão Linear para Cb	1	377,721 ^{ns}	5545,920 ^{**}	12520,872 ^{**}
Regressão Quad. para Cb	1	2276,299 ^{**}	1594,915 [*]	14029,452 ^{**}
Regressão Linear para Cc	1	824,040 ^{**}	10988,554 ^{**}	25527,846 ^{**}
Regressão Quad. para Cc	1	2053,411 ^{**}	4939,204 ^{**}	17583,636 ^{**}
Regressão Linear para Cd	1	1572,961 ^{**}	14,374 ^{ns}	2460,172 ^{ns}
Regressão Quad. para Cd	1	223,310 ^{ns}	1316,208 ^{ns}	3151,786 ^{ns}
Regressão Linear para Ce	1	1679,60 ^{**}	6923,924 ^{**}	24761,857 ^{**}
Regressão Quad. para Ce	1	1875,703 ^{**}	345,974 ^{ns}	6634,092 [*]
Regressão Linear para Cf	1	390,729 ^{ns}	2085,051 [*]	9006,276 [*]
Regressão Quad. para Cf	1	1261,758 ^{**}	11,283 ^{ns}	2632,398 ^{ns}
(Doses de B) (D)	(3)	4551,44 ^{**}	10801,92 ^{**}	36379 ^{**}
(Clones) (C)	(5)	1628,08 ^{**}	4193,75 ^{**}	12009 ^{**}
(D x C)	(15)	395,94 [*]	658,11 ^{ns}	2583,97 [*]
(Blocos)	(2)	194,27 ^{ns}	182,61 ^{ns}	262,10 ^{ns}
Resíduo	46	170,68	441,20	1322,15
C.V. (%)		9,78	21,54	10,59
Média		133,60	97,51	343,38

ns = não significativo (P > 0,05); (*,**) = significativos, respectivamente (P < 0,05) e (P < 0,01).

Tabela 4. Massa de Matéria seca de folhas dos clones Ca, Cb, Cc, Cd, Ce e Cf de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, em função das doses de boro aplicadas via solução nutritiva, aos 240 dias após plantio.

Table 4. (Dry matter of leaves by *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* clones Ca, Cb, Cc, Cd, Ce and Cf, as affected by boron doses in the nutrient solution, at 240 days after planting).

Clones	Doses de B na solução (mg L ⁻¹)				Médias ⁿ²
	0	0,135	0,270	0,540	
	Matéria Seca de Folhasⁿ¹				
	(g/planta)				
Ca	111,5 ab	157,9 ab	155,2 a	138,1 a	140,7
Cb	104,1 ab	133,8 b	144,6 ab	124,3 ab	126,7
Cc	102,9 ab	154,2 ab	139,6 ab	137,7 a	133,6
Cd	128,0 a	130,0 b	122,4 b	99,2 b	119,9
Ce	95,2 b	142,8 ab	136,7 ab	137,6 a	128,1
Cf	129,8 a	168,3 a	157,9 a	154,5 a	152,6

n1 e n2 (número de repetições) = 03 e 12, respectivamente

a, b = Médias seguidas pela mesma letra entre clones e para cada dose de boro não diferem entre si pelo teste de Tukey (P > 0,05).

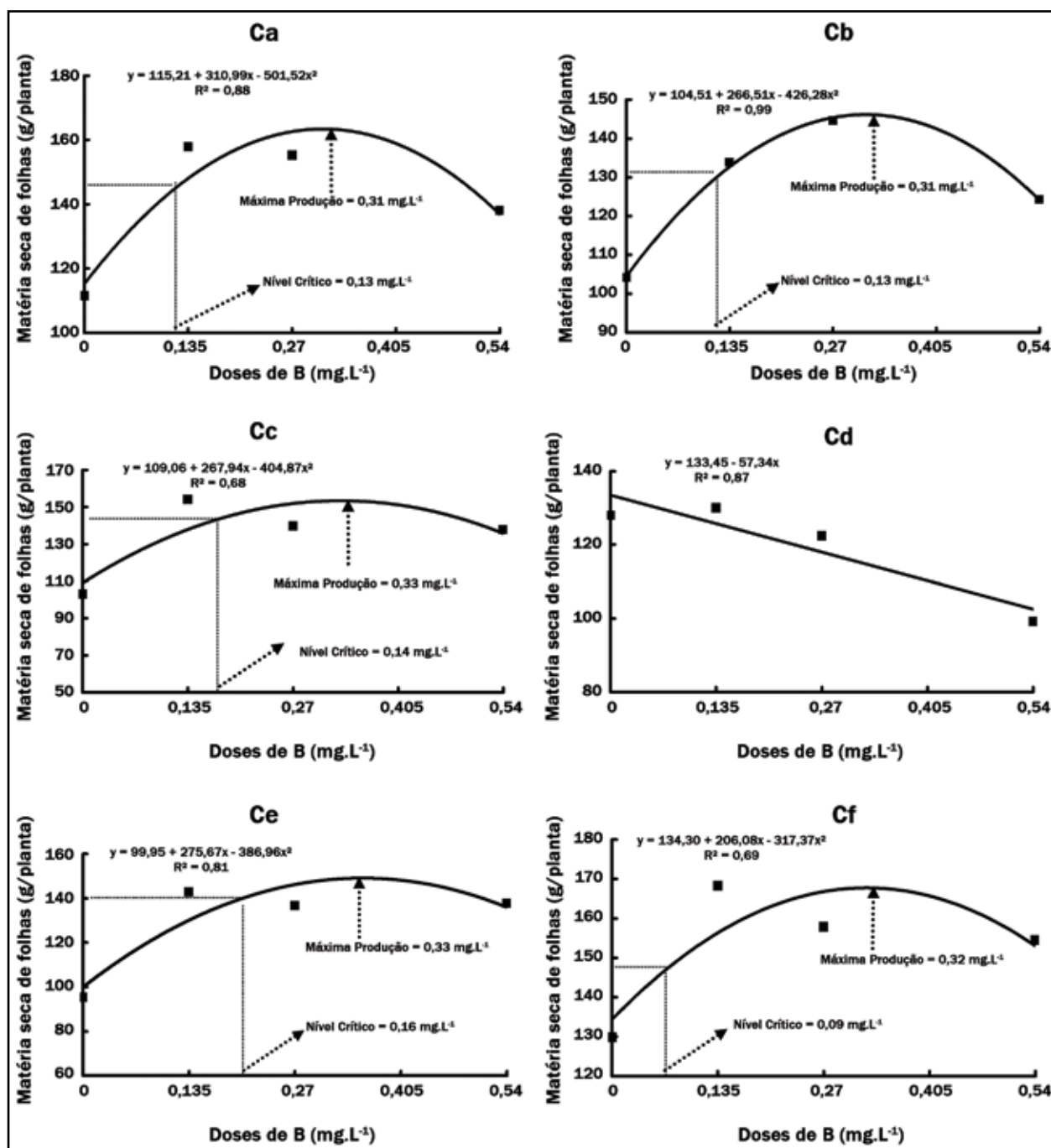


Figura 3. Variação da massa de matéria seca de folhas dos clones Ca, Cb, Cc, Cd, Ce e Cf de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, em função das doses de boro aplicadas via solução nutritiva, aos 240 dias após plantio.

Figure 3. (Leaves dry matter variation by *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* clones Ca, Cb, Cc, Cd, Ce and Cf, as affected by boron doses in the nutrient solution, at 240 days after planting).

A eficiência do uso de boro variou entre os clones de maneira mais significativa para a produção de folhas e parte aérea total do que para a produção de caule (Tabela 5). A variação de eficiência entre os clones foi específica para cada dose de boro aplicada. Quanto à produção de folhas, no tratamento sem fornecimento de boro, observou-se que o clone Cd foi o que apresentou maior eficiência no uso do boro e no tratamento com máximo forneci-

mento de boro, o clone Cf foi o mais eficiente do que Cd. A produção de biomassa de folhas é importante para as plantas jovens durante o período que ocorre entre as épocas de plantio e fechamento do dossel. Nesse período, a fertilidade do solo e a adubação adequada são necessárias para a produção de biomassa de folhas, que são os órgãos fotossintetizadores responsáveis para o crescimento inicial e produção de biomassa da planta.

Tabela 5. Resultados da análise de variância e eficiência de uso de boro (EUB) na folha, no caule e total de clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, em função das doses de boro aplicadas via solução nutritiva, aos 240 dias após plantio.

Table 5. (Results of variance analysis and efficiency use of boron (EUB) in leaves, stem and total by *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* clones, as affected by boron doses in the nutrient solution, at 240 days after planting).

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios		
		EUB Folhas	EUB Caule	EUB Total
(Doses de B) (D)	3	234,2015**	37,3273*	1292,9188**
(Clones) (C)	5	25,5212**	54,1634**	125,4434**
(D x C)	15	22,7604**	27,5467**	103,0946**
(Blocos)	2	0,3270 ^{ns}	3,6190 ^{ns}	9,1483
Resíduo	46	0,4327	7,3146	2,4315
C.V. (%)		9,72	21,18	11,79
Média		6,77	12,77	25,65

Clones	B na solução (mg L ⁻¹)			
	0	0,135	0,270	0,540
EUB Folhasⁿ¹				
(g² mg⁻¹ de B).10⁻³				
Ca	7,96 cd	7,90 cd	5,35 ab	2,94 ab
Cb	6,94 d	8,92 bc	5,16 ab	2,49 ab
Cc	8,58 bc	8,12 bcd	4,23 bc	2,60 ab
Cd	16,00 a	6,84 d	3,50 c	1,54 b
Ce	7,93 cd	9,52 b	4,88 abc	2,55 ab
Cf	9,99 b	18,70 a	6,31 a	3,51 a
Média	9,57	10,00	4,91	2,61
EUB Cauleⁿ¹				
(g² mg⁻¹ de B).10⁻³				
Ca	7,97 a	12,13 a	8,95 b	12,59 ab
Cb	12,01 a	13,37 a	13,04 b	15,18 a
Cc	7,96 a	11,78 a	22,50 a	18,37 a
Cd	10,68 a	11,68 a	9,34 b	7,79 b
Ce	13,87 a	11,49 a	12,86 b	16,86 a
Cf	12,98 a	13,87 a	15,22 b	13,98 ab
Média	10,91	12,39	13,65	14,13
EUB Totalⁿ¹				
(g² mg⁻¹ de B).10⁻³				
Ca	27,58 bc	27,57 cd	20,82 ab	16,11 a
Cb	26,77 c	35,21 b	24,28 a	15,58 ab
Cc	30,22 bc	28,24 cd	24,70 a	16,54 a
Cd	43,27 a	22,47 d	16,60 b	8,47 b
Ce	31,24 bc	31,66 bc	21,76 ab	16,51 a
Cf	34,72 b	48,20 a	25,31 a	18,15 a
Média	32,30	32,23	22,25	15,23

^a(EUB) = ((matéria seca)²/conteúdo de B na biomassa)/1000.

^{ns} = não significativo (P > 0,05); (*,**) = significativos, respectivamente (P < 0,05) e (P < 0,01).

ⁿ¹ (número de repetições) = 03.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P > 0,05).

Alguns clones (Cb e Cf) apresentaram sensíveis aumentos na eficiência de uso com o aumento do fornecimento de boro até doses adequadas para a máxima produção de biomassa. Acima dessas doses, ocorreu acentuado declínio na eficiência de uso. Resultados semelhantes foram encontrados por Furtini Neto *et al.* (1996), em estudo com espécies de *Eucalyptus* e doses de fósforo. Em geral, o aumento da concentração do nutriente na solução do solo leva à sua maior absorção pelas plantas. Quando a taxa de crescimento destas é menor do que a taxa de absorção, percebe-se redução na eficiência de uso do nutriente em questão (SILVA *et al.*, 2002).

Outros estudos com eucalipto indicaram variações na eficiência nutricional entre espécies (SILVA, 1983; MORAIS, 1988; PAULA *et al.*,

1996) e mesmo entre clones de mesma espécie (BARROS *et al.*, 1985).

Para a produção de matéria seca de caule, houve variação entre clones e doses de boro, mas não da interação entre clones e doses (Tabela 3 e Figura 4). O clone Cc produziu cerca de 85% a mais de biomassa do que o Cd (Figura 5). Em relação às doses de boro, verificou-se que houve efeito linear crescente para a produção de matéria seca do caule dos clones Ca, Ce e Cf, quadrático para os clones Cb e Cc e não houve resposta do clone Cd às doses de boro (Figura 4). O nível crítico de boro estimado para a produção de biomassa de caule do clone Cb e Cc foi de 0,24 mg L⁻¹ de B. O boro assume importância na produção de caule, pois este nutriente é usado na formação de paredes celulares do lenho (DECHEN *et al.*, 1991).

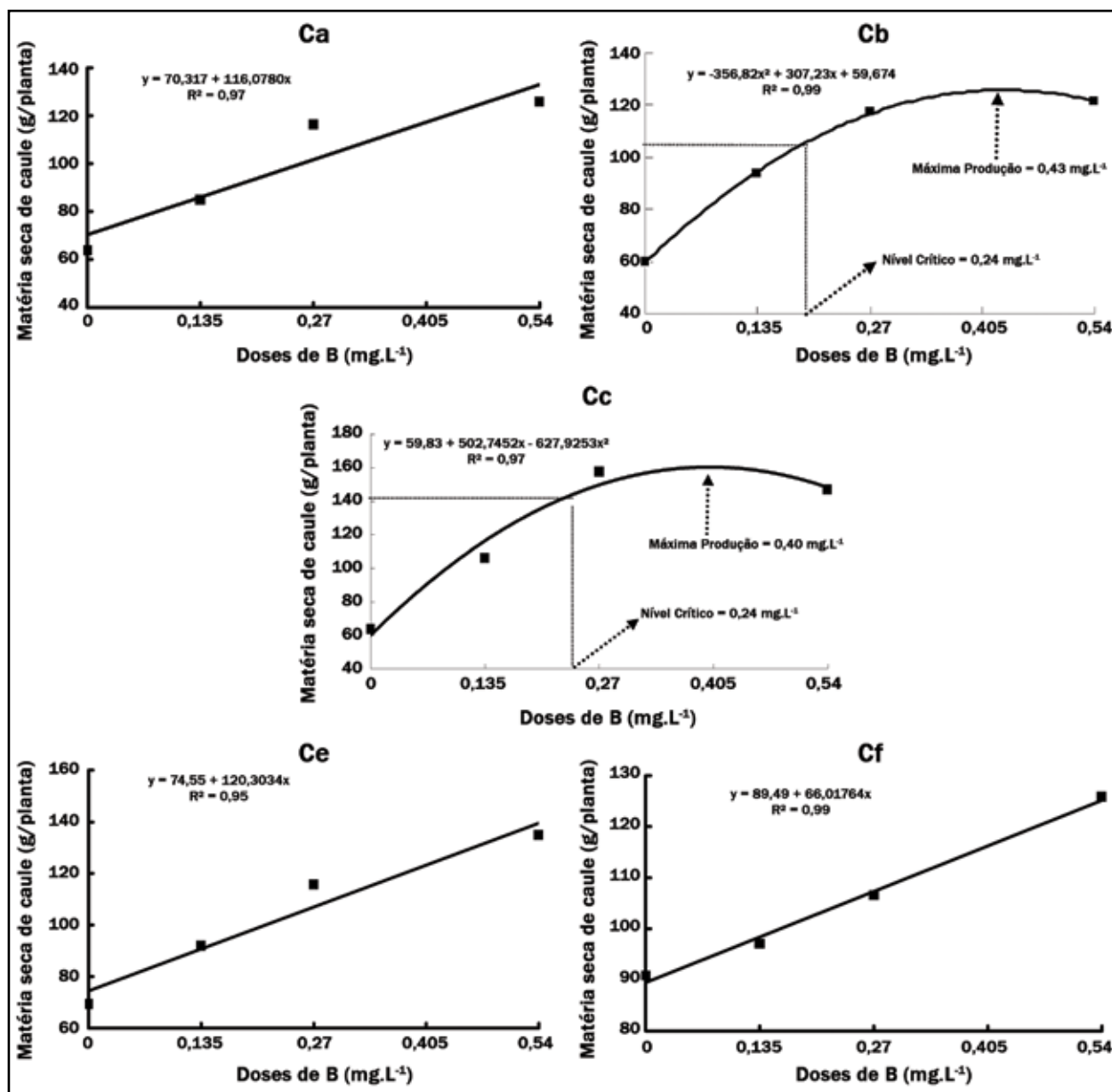


Figura 4. Variação da massa de matéria seca de caule dos clones Ca, Cb, Cc, Ce e Cf de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, em função das doses de boro aplicadas via solução nutritiva, aos 240 dias após plantio.

Figure 4. (Stem dry matter variation by *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* clones Ca, Cb, Cc, Ce and Cf, as affected by boron doses in the nutrient solution, at 240 days after planting).

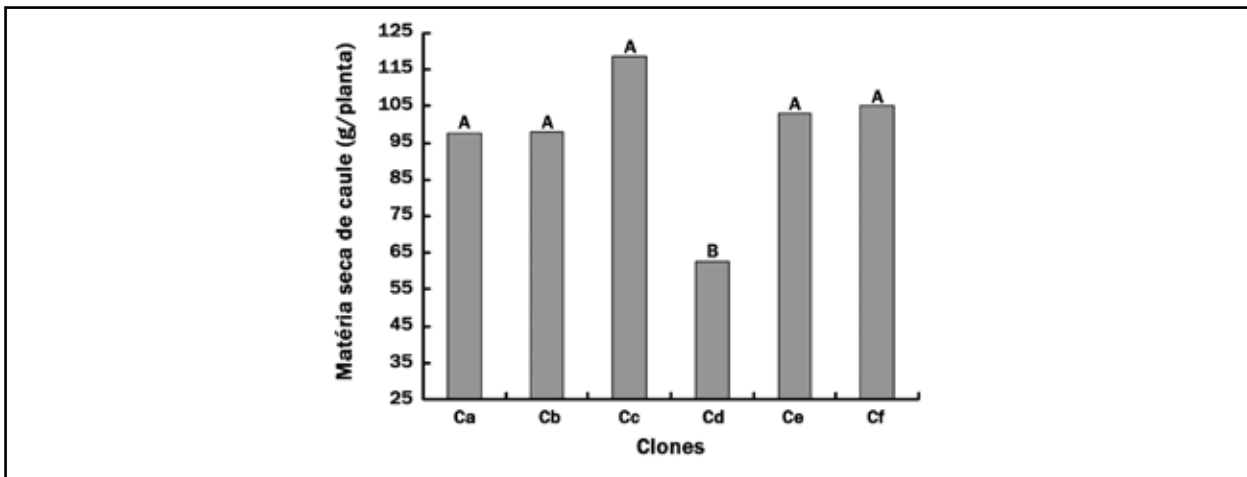


Figura 5. Variação da massa de matéria seca de caule dos clones Ca, Cb, Cc, Cd, Ce e Cf de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, aos 240 dias após plantio. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Figure 5. (Dry matter variation by *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* clones Ca, Cb, Cc, Cd, Ce e Cf, as affected by boron doses in the nutrient solution, at 240 days after planting).

O clone Cc foi o mais responsivo na produção de caule, apresentando aumento de produção de 167% do ponto de máxima produção em relação ao produzido sem a aplicação de boro, vindo em seguida os clones Ca (89%), Ce (87%), Cb (80%) e Cf (40%), com base nas estimativas para a dose máxima testada das equações apresentadas na Figura 4 em comparação com as respectivas testemunhas.

Quanto à eficiência de uso de boro para a produção de caule, no tratamento sem fornecimento de boro observou-se que não houve diferenças significativas entre os clones; já no tratamento com máximo fornecimento de boro, houve diferenças significativas, sendo o Cd o menos eficiente em uso de boro (Tabela 5).

O clone Cf foi o que apresentou maior produção de biomassa total da parte aérea, vindo em seguida, em ordem decrescente os clones Cc > Ca > Ce > Cb > Cd (Figura 6). Houve efeito

quadrático das doses de boro na produção de matéria seca total (MST) da parte aérea para os clones Ca, Cb e Cc e verificou-se efeito linear crescente para os clones Ce e Cf (Figura 7).

O maior nível crítico de B na solução para a produção de MST foi para o clone Ce (0,20 mg L⁻¹) e o menor para os clones Ca e Cb (0,16 mg L⁻¹), não havendo diferença entre estes dois (Figura 7). O clone Cc foi o mais responsivo em produção de matéria seca total, apresentando um aumento de produção de 64% do ponto de máxima produção em relação ao estimado pela equação na testemunha, vindo em seguida o Cb (51%), Ca (43%), Ce (43%) e Cf (21%).

O clone Cd foi o mais eficiente no uso de boro para a produção de biomassa total no tratamento sem fornecimento de boro e o menos eficiente no tratamento com máximo fornecimento de boro foi o clone Cd (Tabela 5).

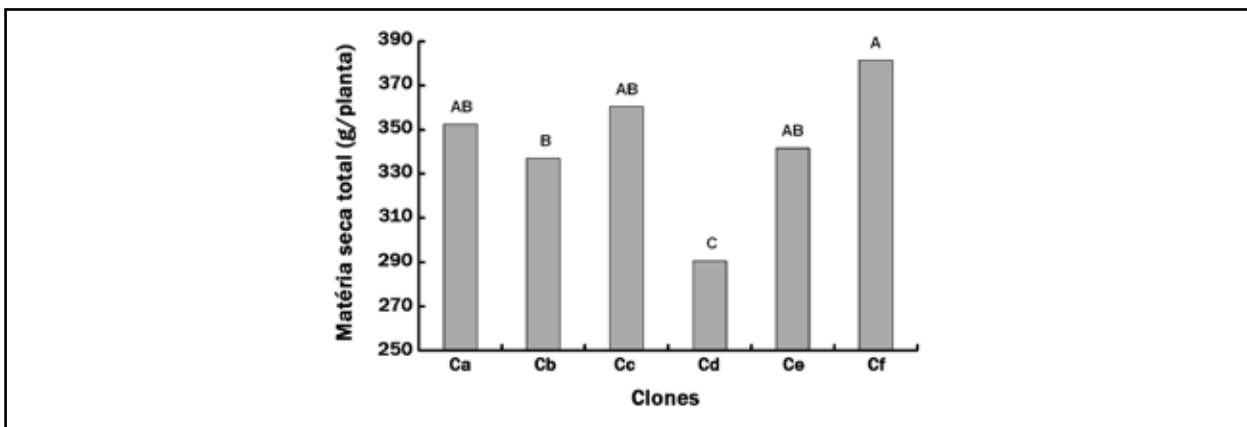


Figura 6. Variação da massa de matéria seca total dos clones Ca, Cb, Cc, Cd, Ce e Cf de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, aos 240 dias após plantio. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Figure 6. (Total dry matter variation by *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* clones Ca, Cb, Cc, Cd, Ce e Cf, as affected by boron doses in the nutrient solution, at 240 days after planting).

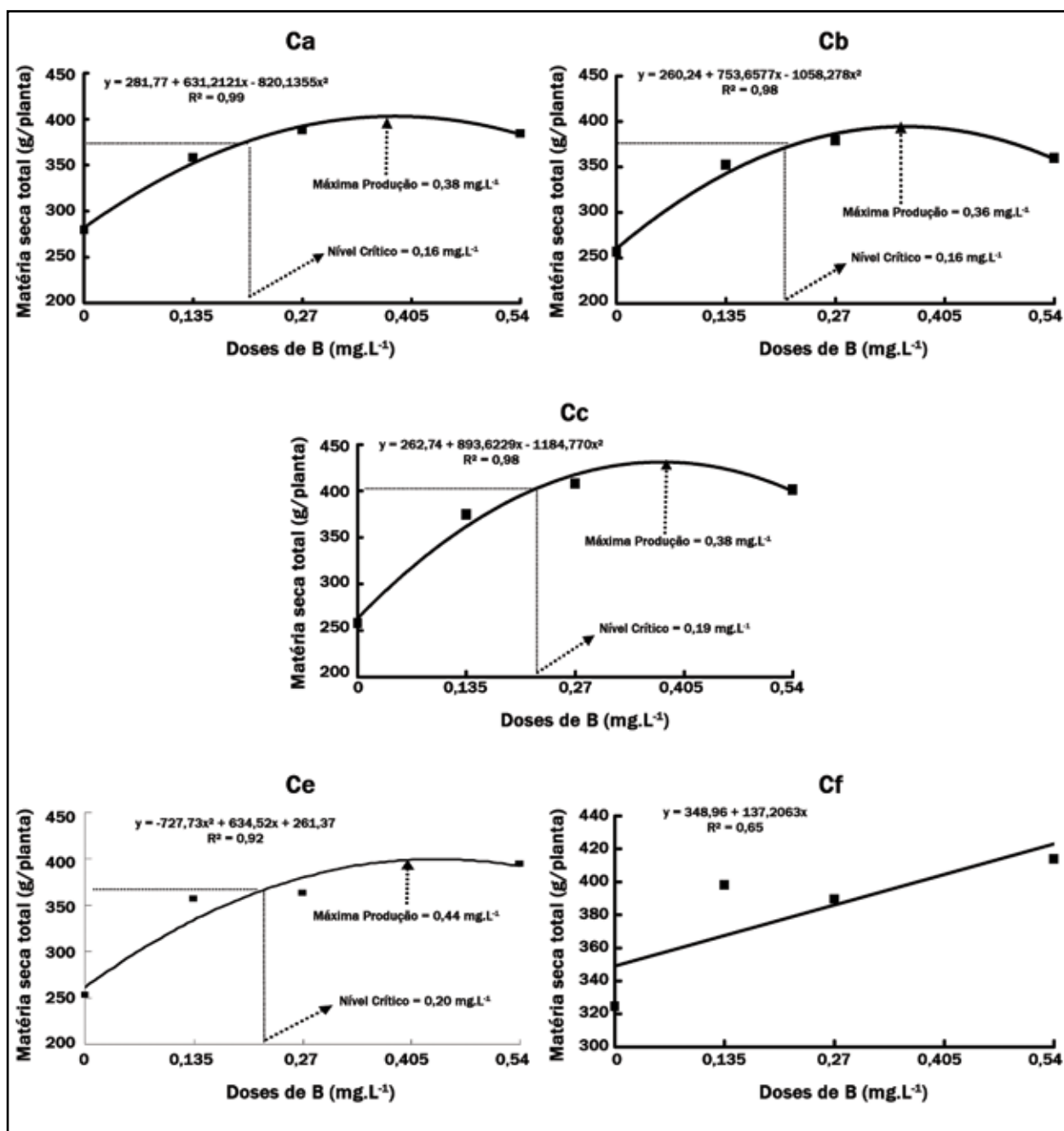


Figura 7. Variação da massa de matéria seca total dos clones Ca, Cb, Cc, Ce e Cf de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, em função das doses de boro aplicadas via solução nutritiva, aos 240 dias após plantio.

Figure 7. (Total dry matter variation by *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* clones Ca, Cb, Cc, Ce and Cf, as affected by boron doses in the nutrient solution, at 240 days after planting).

CONCLUSÕES

As plantas de eucalipto com 240 dias após transplantio em vasos contendo sílica moída como substrato responderam em crescimento e produção de biomassa da parte aérea à adubação com boro com ganhos em altura e biomassa entre 35 e 54% e entre 21 e 64%, respectivamente.

As doses de boro, aplicadas via solução nutritiva, que promoveram maior crescimento das plantas variaram de 0,33 a 0,44 mg L⁻¹ de B. A eficiência de uso de boro variou entre os clones

e de maneira diferente em cada uma das doses de boro aplicadas.

Os níveis críticos de boro na solução variaram de 0,09 a 0,24 mg L⁻¹ de B para o crescimento das plantas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela concessão de bolsa, à Votorantim Celulose e Papel pelos recursos financeiros e humanos e à RR Agroflorestal pelo apoio técnico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALIGAR, V.C.; FAGERIA, N.K. Plant nutrient efficiency: towards the second paradigm. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI-NETO, A.E.; CARVALHO, J.G. (Ed.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA / DCS, 1999. p.183-204.
- BARROS, N.F.; CARMO, D.N.; CALAIS, D.; VIEIRA, F.S. Biomassa, absorção e eficiência de utilização de nutrientes por clones de eucalipto na região norte do Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 20., 1985. Belém. **Programa e Resumos**. Campinas: SBCS, 1985. p.109.
- 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, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).
- BOUCHARDET, J.A. **Crescimento, características físicas e anatômicas da madeira juvenil de dois clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em resposta à aplicação de boro**. 2002. 69p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2002.
- CHICHORRO, J.F.; REZENDE, J.L.P.; BARROS, N.F. Efeito do fertilizante na produtividade e economicidade do *Eucalyptus grandis*, no município de Martinho Campos, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v.18, n.1, p.33-44, 1994.
- DECHEN, A.R.; HAAG, H.P.; CARMELLO, Q.A.C. Funções dos micronutrientes nas plantas. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Ed.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p.65-98.
- FONSECA, S.; MALUF, J.L.P.; OLIVEIRA, A.C. Adução de *Eucalyptus camaldulensis* com boro e zinco em solos do cerrado na região de Brasilândia, Minas Gerais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., Campos de Jordão, 1990. **Anais**. São Paulo: SBS; SBEE, 1990. v.3, p.403-406.
- FURTINI NETO, A.E.; BARROS, N.F.; GODOY, M.F.; NOVAIS, R.F. Eficiência nutricional de mudas de *Eucalyptus* em relação a fósforo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.20, n.1, p.17-28, 1996.
- GIOVANETTI, R.Z. O uso de boro na Lwarcel Celulose e Papel Ltda. In: SIMPÓSIO SOBRE O USO DO BORO EM FLORESTAS DE EUCALIPTO, 2., Piracicaba. 1998. **Anais**. Piracicaba: IPEF; ESALQ, 1999. p.172-188.
- GONÇALVES, J.L.M.; VALERI, S.V. Micronutrientes para culturas: eucalipto e pinus. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; VAN RAIJ, B.; ABREU, C.A. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq / FAPESP / POTAFOS, 2001. p.393-423.
- GUIMARÃES, H.S. **Variabilidade genética para eficiência nutricional em progênies de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus citriodora***. 1993. 68p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Funções, princípios, métodos e técnicas de avaliação do estado nutricional. In: MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. (ed). **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutritional of higher plants**. London: Academic, 1995. 889p.
- MOLL, R.H.; KAMPRATH, E.J.; JACKSON, W.A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, Madison, v.74, n.3, p.562-564, 1982.
- MORAES, L.A.C.; MORAES, V.H.F.; MOREIRA, A. relação entre a flexibilidade do caule de seringueira e a carência de boro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.10, p.1431-1436, 2002.
- MORAIS, E.J. **Crescimento e eficiência nutricional de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais**. 1988. 56p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.
- PAULA, R.C. **Variabilidade genética para densidade básica da madeira e para características de crescimento e de eficiência nutricional em famílias de meio-irmãos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh**. 1995. 126p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

- PAULA, R.C.; BORGES, R.C.G.; BARROS, N.F.; PIRES, I.E.; CRUZ, C.D. Estimativas de parâmetros genéticos em famílias de meios-irmãos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehn: 2- eficiência de utilização de nutrientes. **Revista Árvore**, Viçosa, v.20, n.4, p.483-493, 1996.
- RERKASEM, B.; JAMJOD, S. Genotypic variation in plant response to low boron and implications for plant breeding. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.193, n.1/2, p.169-180, 1997.
- SARRUGE, J.R. Soluções nutritivas. **Summa Phytopathologica**, Piracicaba, v.1, n.3, p.231-233, 1975.
- SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal Plant Nutrition**, New York, v.4, p.289-302, 1981.
- SILVA, H.D. **Biomassa e aspectos nutricionais de cinco espécies do gênero *Eucalyptus*, plantadas em solo de baixa fertilidade**. 1983. 91p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1983.
- SILVA, S.R.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; PEREIRA, P.R.G. Eficiência nutricional de potássio e crescimento de eucalipto influenciados pela compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, n.26, p.1001-1010, 2002.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; MOREIRA, A.; TAKAHASHI, E.N.; SGARBI, F.; BRANCO, E.F. Sintomas de deficiência de macronutrientes e de boro em clones híbridos de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla*. **Cerne**, Lavras, v.8, n.2, p.108-117, 2002.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; TAKAHASHI, E.N.; SGARBI, F.; CAMARGO, M.A.F.; MOREIRA, A. Crescimento e estado nutricional de brotações de *Eucalyptus citriodora* sob doses de boro em solução nutritiva. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 57, p. 53-67, 2000.

Recebido em 30/03/2006
Aceito para publicação em 06/11/2007