

Aplicação foliar de boro em eucalipto sob estresse hídrico

Leaf Boron application in eucalypt under water stress

Paulo Henrique Muller da Silva¹, Otavio Camargo Campoe²,
Israel Gomes Vieira² e Rinaldo Cesar de Paula³**Resumo**

A fertilização mineral é uma ferramenta utilizada para aumentar a produtividade das culturas, sendo que em regiões com ocorrência de estresse hídrico a aplicação foliar de boro é uma prática cuja importância é crescente ao longo dos últimos anos. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação foliar de dois fertilizantes contendo boro no crescimento, nos teores e no acúmulo de B nas folhas e em características fisiológicas de dois clones de eucalipto, sob duas condições de disponibilidade hídrica. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com mudas plantadas em vasos preenchidos com 7 L de areia. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, em esquema fatorial 6 x 2 x 2 (seis tipos de fertilização de boro - dose e fonte fertilizante; dois clones comerciais de eucalipto amplamente difundidos no país; e dois regimes hídricos - estressado e não estressado), totalizando 24 tratamentos, com cinco repetições. O experimento teve duração total de 90 dias e as características avaliadas foram: biomassa dos compartimentos aéreos e radicular, área foliar, concentrações foliares de B, mineralomassa de boro foliar, condutância estomática, transpiração e assimilação líquida. A aplicação foliar de boro melhorou a nutrição com aumento dos teores nas folhas, mesmo em condições de estresse hídrico e independentemente do genótipo, sendo que a fonte de boro influencia a assimilação do nutriente, ocorrendo maior assimilação com aplicação da fonte com sorbitol.

Palavras-chave: Fonte de boro, Estresse hídrico, Fisiologia, Nutrição.

Abstract

Mineral fertilization is a common practice to increase crop productivity; in regions with occurrence of water stress foliar application of boron has become more important in the last years. The objectives of our study were to evaluate the effects of foliar application of two boron fertilizers in two level of soil water availability on: growth, nutritional levels, boron accumulation in leaves, and physiological characteristics of two clones of eucalypt. The experiment was conducted in a greenhouse. The plants were in containers with 7 l of sand. The experiment was comprised of a 6x2x2 factorial (six boron fertilizations; two clones; and two water regimes -stressed and non-stressed), totaling 24 treatments, set up with five replications per treatment. The plant characteristics evaluated, 90 days of planting, were: growth (leaf area and biomass production), foliar concentrations of B, boron foliar mineral mass, stomata conductance, transpiration and photosynthesis. The foliar applications of boron improve tree nutrition, even under conditions of drought stress, regardless of genotype and boron source. The boron source affects the assimilation of the nutrient uptake and the assimilation was higher when applied with sorbitol.

Keywords: Source of boron, Water stress, Physiology, Nutrition.

INTRODUÇÃO

A fertilização mineral é uma ferramenta comum e efetiva que se dispõe para aumentar a produtividade do setor agrícola e florestal, sendo encontrados diversos estudos realizados em função de formas, fontes e quantidades de ferti-

lizantes aplicados (SGARBI et al. 1999; VALE et al., 2000; SILVA et al., 2008; SILVA et al., 2013). Tradicionalmente nos plantios de eucalipto a fertilização é realizada no solo, mas a aplicação via foliar é uma prática que vem ganhando importância no Brasil em situações de estiagem, principalmente com aplicação de boro, devido

¹Pós Doutorando. UNESP – Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho” / FCAV – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Via de Acesso Prof. Donato Castellane s/n – 14884-900 – Jaboticabal, SP. IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Caixa Postal 530 – 13400-970 – Piracicaba, SP. E-mail: paulohenrique@ipef.br.

²Pesquisador Doutor. IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Caixa Postal 530 – 13400-970 – Piracicaba, SP. E-mail: otavio@ipef.br.

³Professor Doutor do Departamento de Produção Vegetal. UNESP – Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho” / FCAV – Faculdade de Ciências Agrônomicas e Veterinárias. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n – 14884-900 – Jaboticabal, SP. E-mail: rcpaula@fcav.unesp.br.

à quantidade exigida pela cultura, à mobilidade do elemento e função na planta (SILVEIRA et al., 1998; BARRETTO et al., 2007; MATTIELLO et al., 2009b; SÃO JOSÉ et al., 2009).

O boro é um micronutriente cuja deficiência promove a degeneração dos tecidos meristemáticos gerando má formação das folhas e do caule, influenciando diretamente na forma da árvore. O sintoma começa com clorose nas margens das folhas seguidas de necrose das gemas apicais (também chamada de seca do ponteiro), sendo que o correto fornecimento de boro evita a morte das gemas apicais (DELL; MALAJCZUK, 1994). Em algumas plantações no Brasil, o eucalipto apresenta seca de ponteiro causada pela deficiência de boro, principalmente em regiões com déficit hídrico acentuado (TIRLONI et al., 2011).

Em solos arenosos o boro pode ser lixiviado durante o período chuvoso e em solos mais argilosos pode ser adsorvido na fração orgânica e inorgânica, sendo que o tipo de solo influencia diretamente na ocorrência da deficiência do nutriente (SHORROCKS, 1997). Outro fator que agrava a carência de boro é a mobilidade restrita do elemento na planta, pois não ocorre translocação entre os tecidos senescentes para região apical (LEHTOA et al., 2010).

Mesmo com baixo teor do nutriente no solo e com déficit hídrico ocorre a assimilação do boro pelo eucalipto por meio do fluxo difusivo (MATTIELLO et al., 2009a), mas essa assimilação é pequena e pode não atingir a quantidade exigida pela cultura. Assim, a aplicação foliar de boro é uma opção, pois mesmo com aplicação na parte inferior da copa tem-se verificado melhoria no status nutricional do topo das copas do eucalipto (MATTIELLO et al., 2009b; SÃO JOSÉ et al., 2009).

Esse estudo objetivou avaliar o efeito da aplicação foliar de boro, via dois tipos de fertilizantes, no crescimento, nos aspectos nutricionais e nas características fisiológicas em dois clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em Jaboticabal – SP (Latitude: 21° 15' S; Longitude: 48° 19' W; Altitude 605 m) em casa de vegetação coberta com filme de plástico transparente (200 µm de espessura) e revestida na lateral com tela branca com capacidade de interceptação de 30% da luz solar.

As mudas foram produzidas pelo processo de miniestaquia, em tubetes de polipropileno preenchidos com 55 cm³ de substrato orgânico, constituído por uma mistura, em volume, de 20% de casca de arroz carbonizada, 35% de casca de pinus, 30% de fibra de coco e 15% de vermiculita. Com aproximadamente 90 dias de idade, as mudas foram plantadas em vasos de plástico preenchidos com 7 L de areia. Após o plantio nos vasos, as mudas passaram por um período de aclimação de 45 dias, antes da aplicação dos regimes hídricos e fertilizações. As mudas receberam irrigações semanais de solução nutritiva, contendo todos os nutrientes (SARRUGE, 1975), com exceção do boro que foi aplicado ou não, conforme apresentado na Tabela 1.

O experimento foi estabelecido no delineamento de blocos ao acaso, com cinco repetições, em esquema fatorial 6 x 2 x 2 (6 tipos de fertilização de boro – dose e fertilizante; 2 clones comerciais de eucalipto amplamente difundidos no Brasil - H13 e I144 (*Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*) e 2 regimes hídricos: EST – sob deficiência hídrica e NE – sem deficiência hídrica ou não estressados).

No regime sob deficiência hídrica (EST) a irrigação era suspensa até a ocorrência de sintomas iniciais de deficiência hídrica (murcha foliar), quando novamente as plantas eram irrigadas com 500 mL de água, obtendo o valor máximo de umidade do solo entre 20 e 25% da capacidade de retenção. No regime sem deficiência hídrica (NE), as plantas recebiam irrigação diária, de forma a não ocorrer sintomas de deficiência hídrica.

Tabela 1. Fertilizantes, quantidade de boro e modo de aplicação.

Table 1. Fertilizer, boron amount and application.

Fertilizações	Produto	Aplicação	Concentração B	Unidade	B Aplicado (mg)
Controle	--	--	--	--	0
5 mg/L AB (100% da recomendação)	Acido Bórico (AB)	Foliar	0,85	mg/l	0,0085
8,5 mL Aj/L (50% da recomendação)	AJIFOL® SM Boro (Aj)	Foliar	0,425	mg/l	0,00425
17 mL Aj/L* (concentração recomendada)	AJIFOL® SM Boro (Aj)	Foliar	0,85	mg/l	0,0085
25,5 mL Aj/L (150% da recomendação)	AJIFOL® SM Boro (Aj)	Foliar	1,275	mg/l	0,01275
0,5 mg/L B (via AB no solo)*	Acido Bórico (AB)	Solo	17	%	3,5

Obs.: Aplicação foliar do boro foi realizada apenas uma vez, sendo aplicada na parte inferior da copa, deixando o terço superior sem aplicação do fertilizante.

* Concentração de acordo com recomendação do fabricante; + Dose aplicada de acordo com Barreto et al. (2007)

Aos 25, 30 e 35 dias após a fertilização com boro e início da aplicação dos regimes hídricos, foram avaliadas a taxa líquida (assimilação líquida), transpiração e condutância estomática. Essas avaliações foram realizadas entre 7h30 e 11h, com o uso de um analisador de gases infravermelho portátil (LCPro+, ADC BioScientific, England), ajustado para um fluxo de fótons fotossinteticamente ativo (FFFA) de 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e concentração de CO_2 de 380 ± 10 ppm. Estas avaliações foram realizadas em quatro repetições por tratamento, utilizando folhas completamente expandidas do terço superior da copa das plantas. A umidade do solo no momento dessas avaliações variou de 5 a 8% da capacidade máxima de retenção de água.

Após 45 dias da aplicação do boro e dos regimes hídricos, quando o experimento foi finalizado, foram avaliadas em todas as plantas do experimento as seguintes variáveis:

- Área foliar: após retirar todas as folhas da planta, a área foliar foi determinada utilizando o integrador LI-3100 (LiCor Biosciences, Lincoln, NE, EUA);
- Biomassa: as plantas foram separadas em raiz, caule e folhas que foram secos em estufa de circulação forçada (65 °C por 96 h) e pesados; e
- Teores foliares de B: foram coletadas folhas do terço superior da copa, que após secas, foram moídas e o teor de boro determinado por colorimetria de azometina-H (MALAVOLTA et al., 1997).

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de comparação de médias de Tukey nas variáveis que apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$). Para assimilação líquida, transpiração e condutância estomática, usou-se a média des três avaliações realizadas. Foram ajustadas regressões lineares entre assimilação líquida e condutância estomática e entre transpiração e condutância estomática; a relação

entre a concentração foliar de boro e as doses aplicadas foi ajustada por uma regressão logarítmica.

RESULTADOS

A disponibilidade hídrica afetou significativamente todas as variáveis avaliadas, já a aplicação de boro afetou apenas o teor e a mineralomassa acumulada de boro nas folhas. Os clones apresentaram diferenças significativas na produção da biomassa de caule e de folhas e na área foliar. Interações significativas foram observadas entre clones e regimes hídricos na produção de biomassa de caule e fertilização para os teores foliares de B (Tabela 2).

A aplicação de boro não influenciou o crescimento das plantas, mas houve efeito dos regimes hídricos, independentemente da fertilização ou do clone (Figuras 1 e 2).

Ocorreu aumento na concentração e na mineralomassa foliar de boro com a aplicação dos fertilizantes. O clone H13 apresentou maior concentração de B que o I144; a maior concentração nas folhas de ambos os clones ocorreu sob deficiência hídrica (Figura 3); o maior estoque foliar de B ocorreu no H13, nas plantas sem restrição hídrica e com aplicação do B via solo (Figura 4).

Com a aplicação foliar de B, a maior concentração do nutriente nas folhas ocorreu com a aplicação do AJIFOL® SM Boro, comparativamente à aplicação via ácido bórico (Figura 5).

Não foram observadas diferenças nas trocas gasosas entre as formas de fertilização de B, mas a deficiência hídrica reduziu significativamente os valores de transpiração, assimilação líquida e condutância estomática (Figura 6). Maiores valores nos coeficientes angulares das relações da assimilação líquida (A) e da transpiração (E) com a condutância estomática (gs) das plantas em condições de estresse (Figura 7) denotam aumento da eficiência no uso da água.

Tabela 2. Nível de significância da análise de variância (valor de p) para as características e fontes de variação estudadas em dois clones de eucalipto submetidos a seis formas de aplicação de B, em dois regimes hídricos em casa de vegetação.

Table 2. Analysis of variance significance level (p value) for the characteristics and sources of variation studied in two eucalypt clones submitted to six application forms of B in two water regimes in a greenhouse.

Fonte de Variação	Crescimento					Boro foliar		Fisiológicos		
	Área foliar	Biomassa				Teor	Mineralomassa	E	A	gs
		Raiz	Caule	Folha	R/(C+F)					
Clone	0,0119	0,1466	<0,0001	<0,0001	0,2419	0,2606	0,0225	0,3627	0,3671	0,2398
Reg. Hídrico (RH)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0003	0,0007	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Fertilização (Fert)	0,8635	0,0711	0,1973	0,0604	0,1239	<0,0001	<0,0001	0,5933	0,2749	0,6479
Clone*RH	0,5969	0,4895	0,0413	0,0787	0,4699	0,0907	0,0709	0,1529	0,0856	0,1597
Clone*Fert	0,7515	0,2950	0,7502	0,3009	0,2116	0,9409	0,3785	0,6204	0,4320	0,7298
Clone*RH*Fert	0,8488	0,8303	0,9354	0,9504	0,9459	0,5894	0,7554	0,9944	0,8839	0,9106
RH*Fert	0,8391	0,6237	0,2156	0,3642	0,6187	<0,0001	0,6701	0,5633	0,6627	0,4582

F=Folha; C= Caule; E= Transpiração; A=assimilação líquida; gs=Condutância estomática

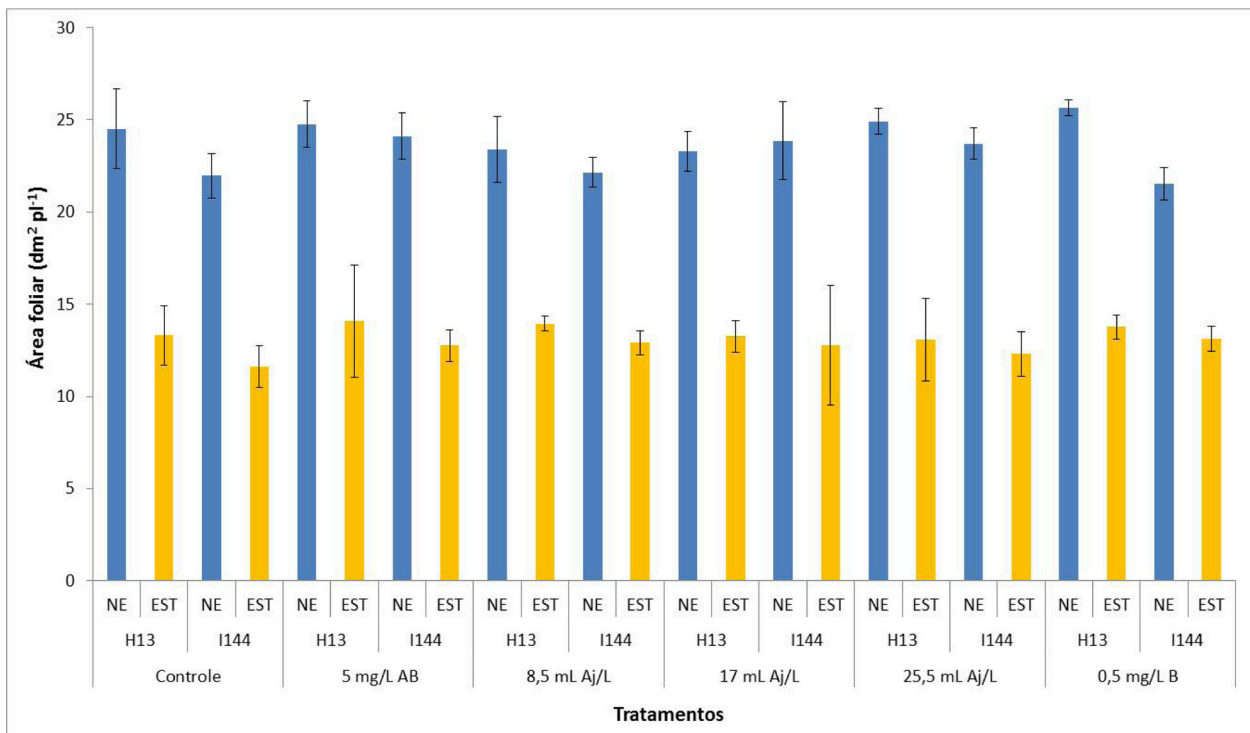


Figura 1. Média da área foliar de dois clones (H13 e I144) de eucalipto submetidos a seis formas de aplicação de B (controle – sem aplicação de B; AB – B fornecido via ácido bórico; Aj – boro fornecido via Ajifol), em dois regimes hídricos (NE: não estressado; EST: estressado). Barras representam desvio padrão.

Figure 1. Mean leaf area of two eucalypts clones (H13 and I144) with six application forms of B (control - no B application, AB - B provided by boric acid, Aj - B provided by Ajifol) in two water levels (NS: not stressed; EST: stressed). Bars mean standard deviation.

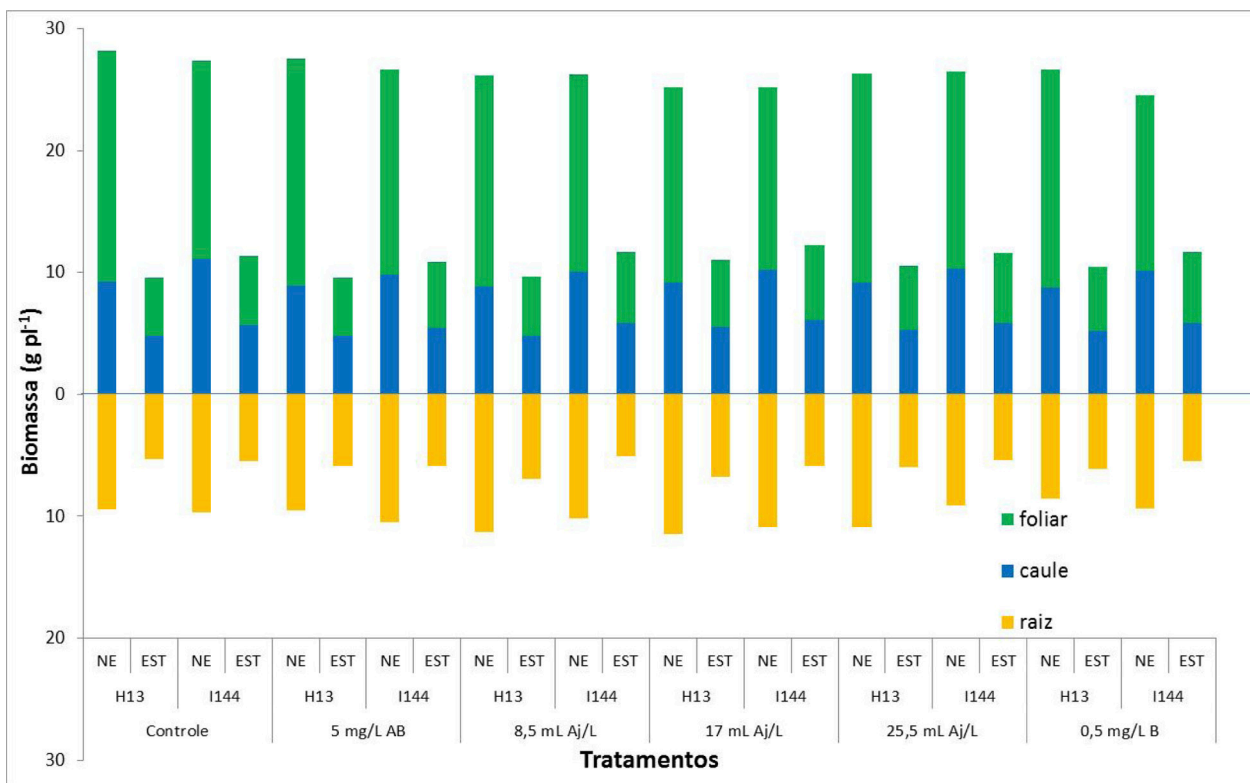


Figura 2. Biomassa dos compartimentos aéreo e radicular de dois clones de eucalipto (H13 e I144) submetidos a seis formas de aplicação de B (controle – sem aplicação de B; AB – B fornecido via ácido bórico; Aj – boro fornecido via Ajifol), em dois regimes hídricos (NE: não estressado; EST: estressado).

Figure 2. Shoot and root biomass of two eucalypts clones (H13 and I144) with six application forms of B (control - no B application, AB - B provided by boric acid, Aj - B provided by Ajifol) in two water levels (NS: not stressed; EST: stressed).

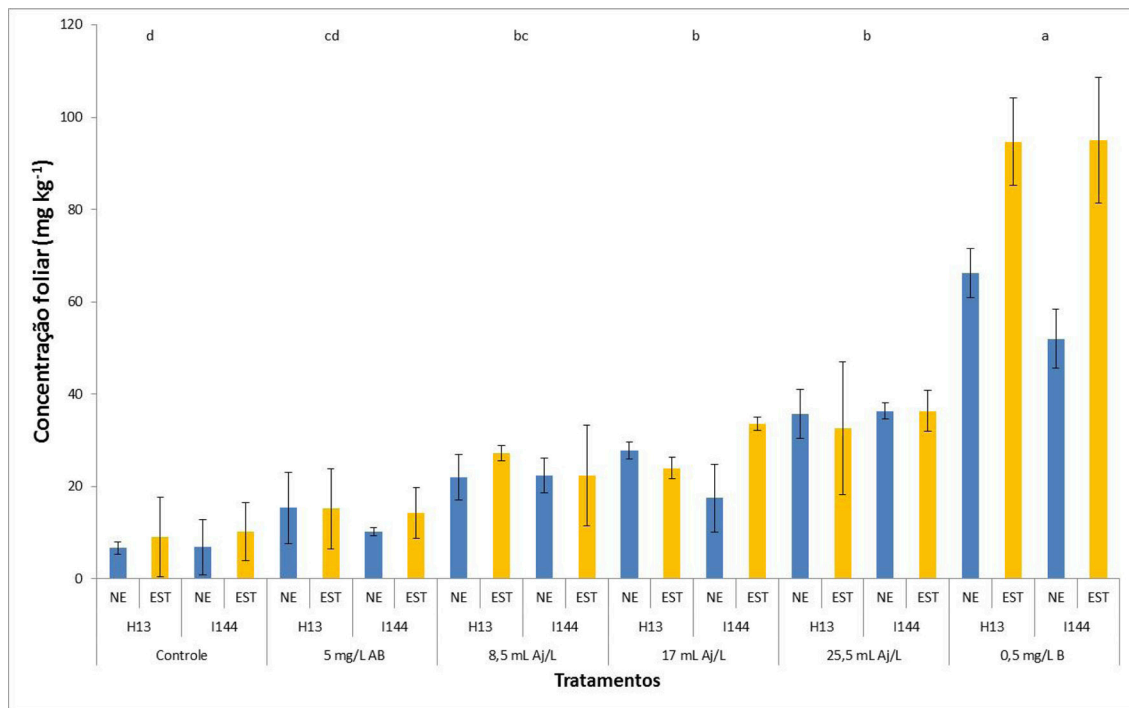


Figura 3. Concentração foliar de boro em dois clones de eucalipto (H13 e I144) submetidos a seis formas de aplicação de B (controle – sem aplicação de B; AB – B fornecido via ácido bórico; Aj – boro fornecido via Ajifol), em dois regimes hídricos (NE: não estressado; EST: estressado) em casa de vegetação, barras representam desvio padrão. Legenda: letras distintas diferem significativamente ($p < 0,05$), pelo teste de Tukey, indicando diferenças na concentração de B, independentemente do regime hídrico ou genótipo avaliado.

Figure 3. Boron leaf concentration in two eucalypts clones (H13 and I144) with six application forms of B (control - no B application, AB - B provided by boric acid, Aj - B provided by Ajifol) in two water levels (NS: not stressed; EST: stressed) in a greenhouse, bars means standard deviation. Legend: different letters differ significantly ($p < 0.05$) by Tukey's test, indicating just differences in the leaf concentration of B regardless of the water regime or genotype.

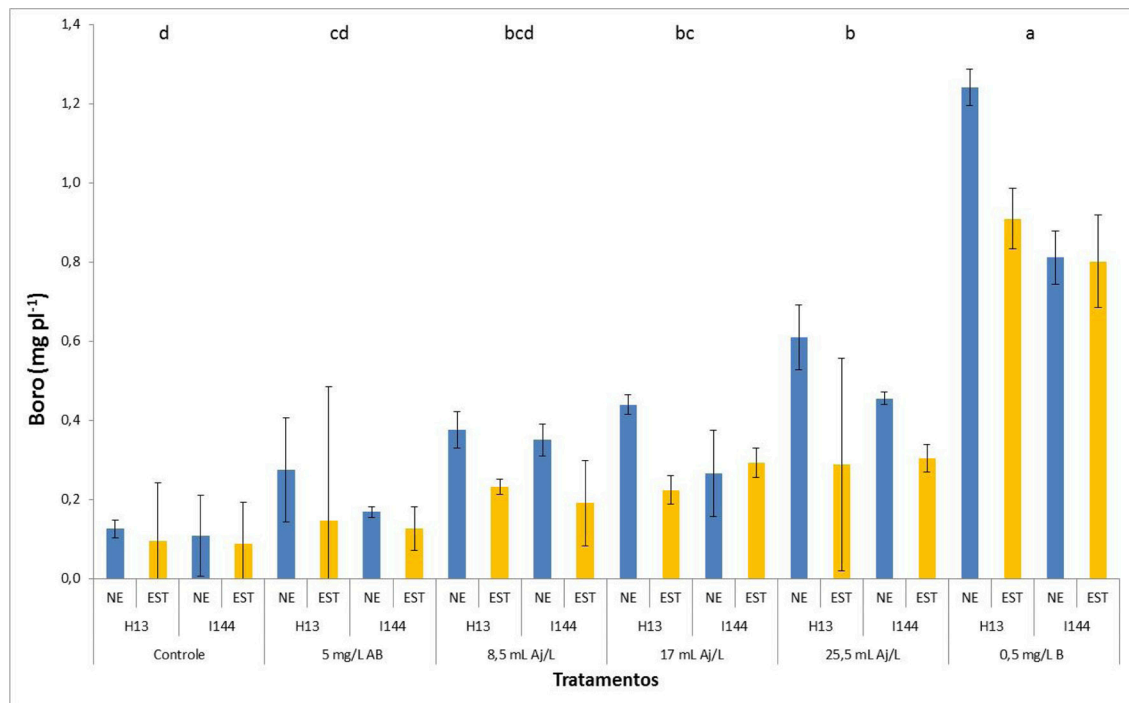


Figura 4. Mineralomassa foliar de boro de dois clones de eucalipto (H13 e I144) submetidos a seis formas de aplicação de B (controle – sem aplicação de B; AB – B fornecido via ácido bórico; Aj – boro fornecido via Ajifol), em dois regimes hídricos (NE: não estressado; EST: estressado) em casa de vegetação, barras representam desvio padrão. Legenda: letras distintas diferem significativamente ($p < 0,05$), pelo teste de Tukey indicando diferenças na mineralomassa de B independentemente do regime hídrico ou genótipo avaliado.

Figure 4. Boron mineral mass in two eucalypts clones (H13 and I144) with six application forms of B (control - no B application, AB - B provided by boric acid, Aj - B provided by Ajifol) in two water levels (NS: not stressed; EST: stressed) in a greenhouse; bars means standard deviation. Legend: different letters differ significantly ($p < 0.05$), by Tukey's test indicating just differences in the leaf concentration of B regardless of the water regime or genotype.

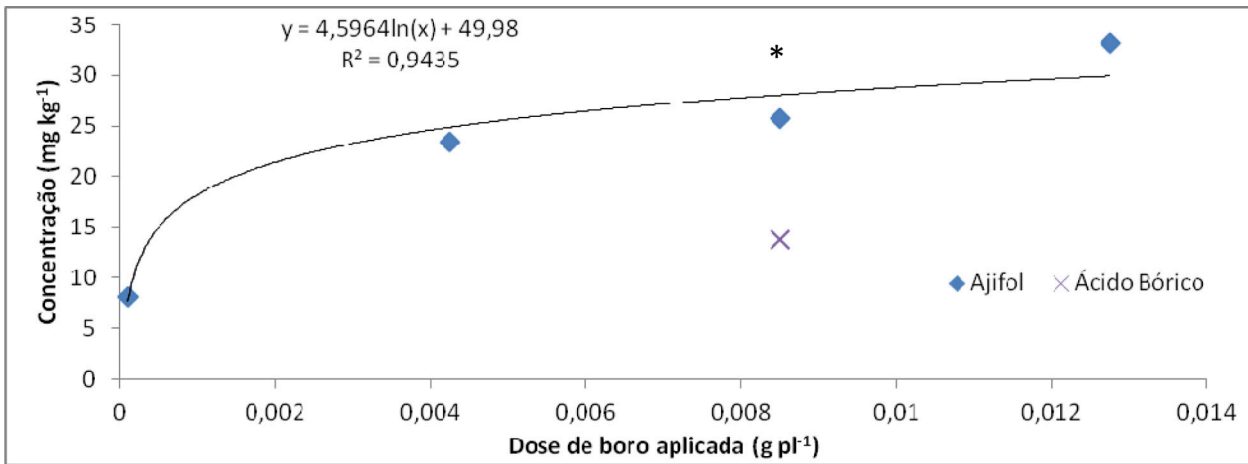


Figura 5. Concentração foliar de Boro em plantas de dois clones de eucalipto submetidas a quatro doses de Ajifol e a dose única com aplicação foliar do ácido bórico, na média de dois regimes hídricos em casa de vegetação (* = $p < 0,05$).

Figure 5. Leaf boron concentration in two eucalypt clones submitted to four doses of Ajifol and one dose of boric acid by foliar application, with two common water regimes in greenhouse (* = $p < 0,05$).

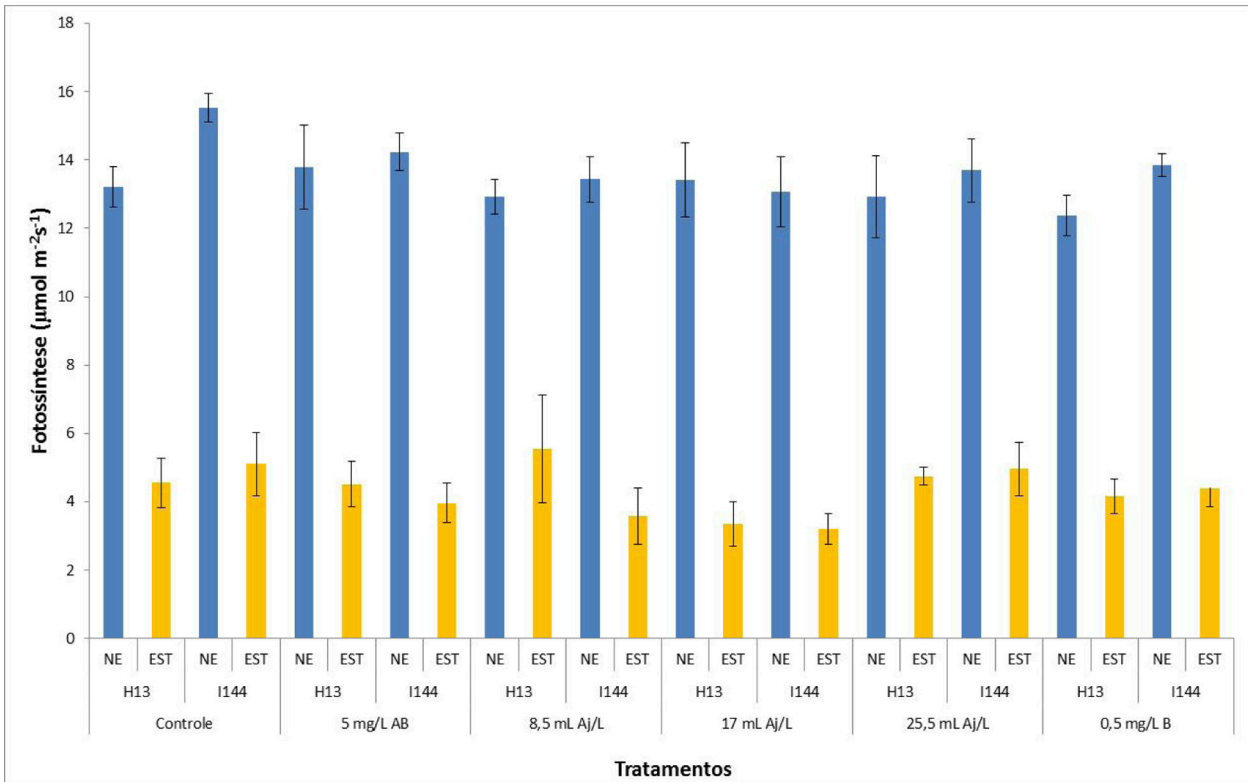


Figura 6. Taxa de assimilação líquida, transpiração e condutância estomática em dois clones de eucalipto (H13 e I144) submetidos a seis formas de aplicação de B (controle – sem aplicação de B; AB – B fornecido via ácido bórico; Aj – boro fornecido via Ajifol), em dois regimes hídricos (NE: não estressado; EST: estressado). Barras representam desvio padrão.

Figure 6. Rate of photosynthesis, transpiration and stomatal conductance in two eucalypts clones (H13 and I144) with six application forms of B (control - no B application, AB - B provided by boric acid, Aj - B provided by Ajifol) in two water levels (NS: not stressed; EST: stressed). Bars means standard deviation.

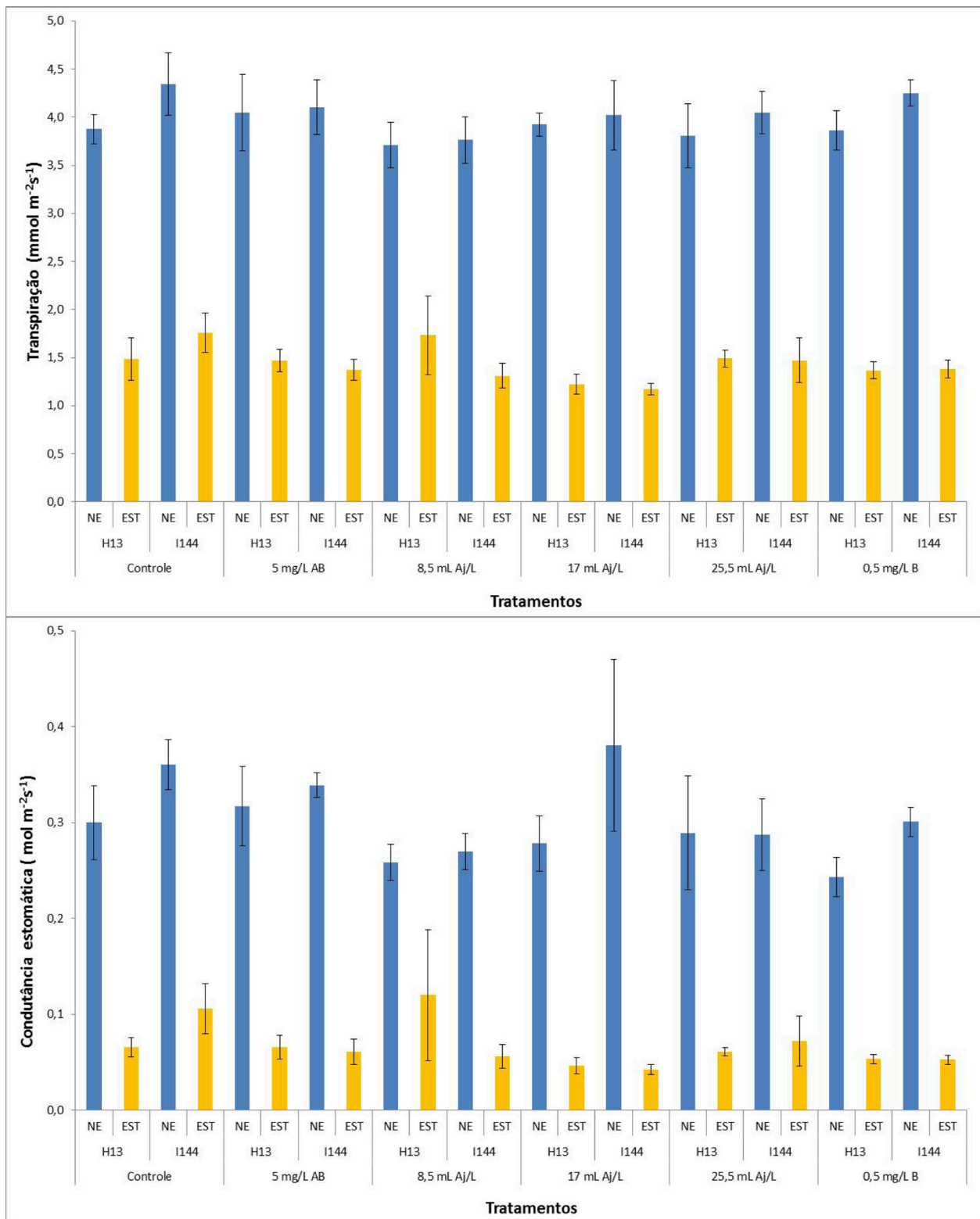


Figura 6 - Continuação. Taxa de assimilação líquida, transpiração e condutância estomática em dois clones de eucalipto (H13 e I144) submetidos a seis formas de aplicação de B (controle – sem aplicação de B; AB – B fornecido via ácido bórico; Aj – boro fornecido via Ajifol), em dois regimes hídricos (NE: não estressado; EST: estressado). Barras representam desvio padrão.

Figure 6 - Continuation. Rate of photosynthesis, transpiration and stomatal conductance in two eucalypts clones (H13 and I144) with six application forms of B (control - no B application, AB - B provided by boric acid, Aj – B provided by Ajifol) in two water levels (NS: not stressed; EST: stressed). Bars means standard deviation.

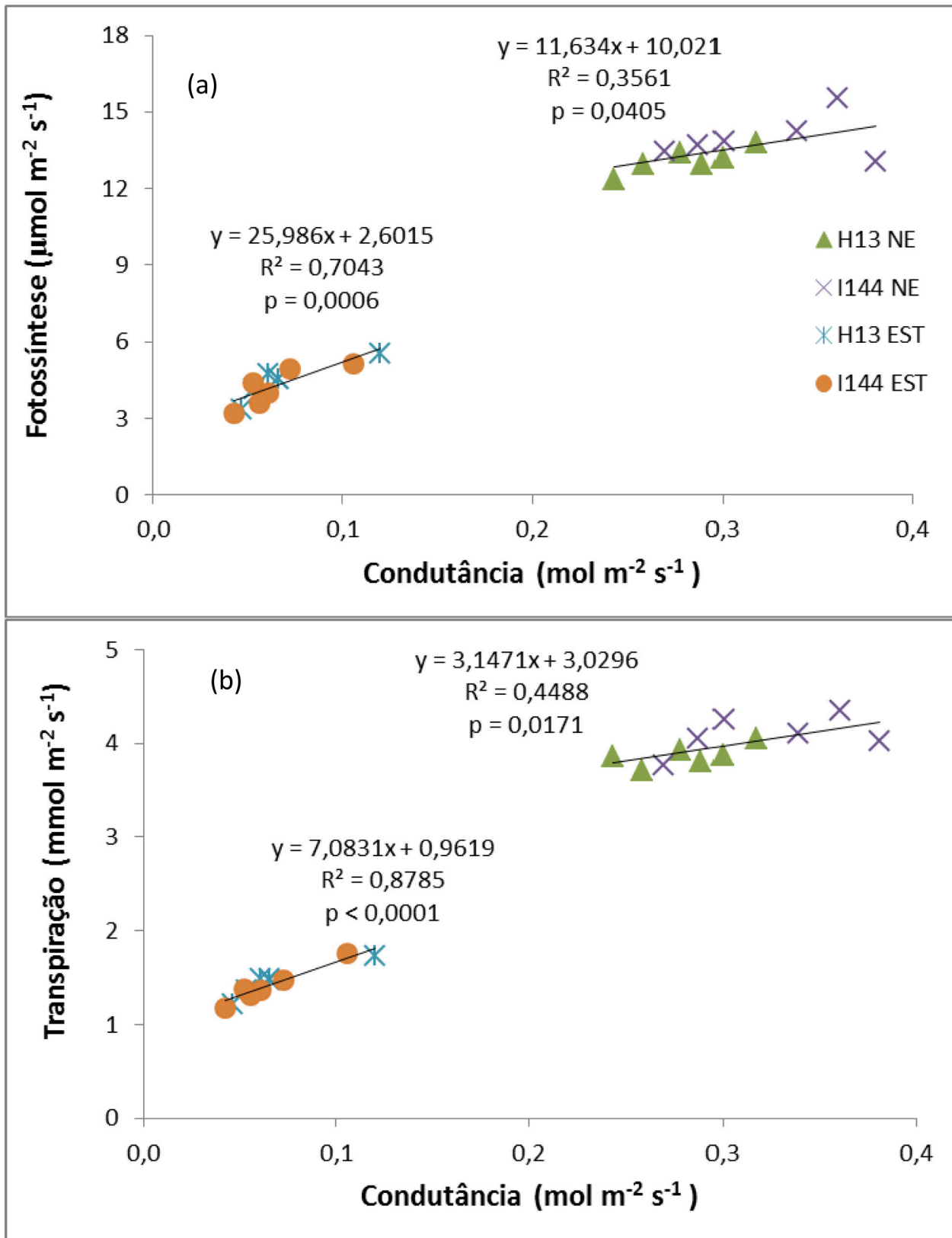


Figura 7. (a) Relação entre assimilação líquida (A) x condutância estomática (gs), e (b) entre transpiração (E) x condutância estomática (gs), em dois clones de eucalipto (H13 e I144) submetidos a seis formas de aplicação de B, em dois regimes hídricos (NE: não estressado; EST: estressado).

Figure 7. (a) Relationship between photosynthesis (A) x stomatal conductance (gs), and (b) between transpiration (E) x stomatal conductance (gs), in two eucalypts clones (H13 and I144) with six application forms of B in two water levels (NS: not stressed; EST: stressed).

DISCUSSÃO

De acordo com Dell et al. (2001), teor foliar de B acima de 12 mg kg⁻¹ é considerado adequado para o eucalipto. Diante disso, à exceção dos tratamentos sem aplicação de B, as plantas não apresentaram níveis abaixo do nível crítico do nutriente. Mas mesmo apresentando valor abaixo do nível crítico os tratamentos sem aplicação de boro não apresentaram diferença com os outros tratamentos no crescimento inicial das plantas ao contrário das diferenças relatadas por Barreto et al. (2007). A similaridade no crescimento inicial das plantas, provavelmente, está relacionada ao efeito residual da aplicação de boro durante a formação das mudas no viveiro que foi suficiente para manter o crescimento das plantas durante o experimento. Também não foi observada toxicidade do boro nas doses mais elevadas no experimento, conforme verificado por Marcar et al. (1999) que estudaram doses superiores ao deste estudo.

O boro aplicado na parte inferior da copa chega às folhas do ápice (MATTIELLO et al., 2009b; SÃO JOSÉ et al., 2009), gerando o aumento da concentração foliar que ocorreu independentemente do clone ou do regime hídrico. Porém, este aumento não promoveu maior crescimento ou mudança nas características fisiológicas avaliadas. Uma das respostas esperadas à deficiência de boro é a paralisação do crescimento meristemático, o que no campo está relacionado com a seca de ponteiro que ocorre em regiões com deficiência hídrica (TIRLONI et al., 2011), fato que não foi observado neste experimento.

Provavelmente o efeito da fonte de boro na concentração foliar do nutriente deve-se à presença de um poliálcool (sorbitol) no AJIFOL[®] SM Boro, o que pode ter contribuído para maior assimilação do nutriente quando comparado com a mesma forma de aplicação e dose do B via ácido bórico, uma vez que o boro é absorvido na forma molecular podendo formar complexos com compostos orgânicos, sendo o sorbitol, manitol e dulcitol, alguns exemplos de açúcares capazes de complexar o boro (SOUZA et al., 2012).

O efeito do regime hídrico superou o efeito de clone e da fertilização com B em todas as características avaliadas. A deficiência hídrica é considerada o principal fator ambiental que afeta diretamente a produtividade florestal (SOUZA et al., 2006; STAPE et al., 2010). Neste estudo a diminuição da biomassa produzida foi superior a 40% nas plantas submetidas ao déficit hídrico,

independentemente do genótipo ou da fertilização aplicada. Foi observada grande variação na área foliar em ambos os clones devido ao déficit hídrico e essa característica pode ser considerada como primeira resposta da planta (SANTOS; CARLESSO, 1998). Contudo, diferenças entre genótipos geralmente são reportadas, conforme observado por Vellini et al. (2008), em estudo com 18 clones de eucalipto submetidos a quatro regimes de irrigação. Os genótipos estudados podem ter contribuído para as pequenas diferenças observadas entre eles, uma vez que são genótipos amplamente usados no Brasil, em função da boa adaptabilidade e produtividade.

Outra resposta ao estresse hídrico observado foi na relação da biomassa do sistema radicular em relação à parte aérea (caule e folhas), em que as plantas estressadas apresentaram 52 % e as não estressadas apenas 38%, independentemente da fertilização e do genótipo. Essa variação está diretamente relacionada à diminuição da biomassa de folhas, pois as plantas sobre estresse hídrico apresentaram em torno de 35% da biomassa foliar das plantas não estressadas. A variação da biomassa é esperada, pois no estudo foi aplicado estresse moderado por longo período o que causa maior impacto na produção de biomassa que um estresse mais intenso por um curto período (MYERS; LANDSBERG, 1989; BAUERLE et al., 2006).

Nos parâmetros de trocas gasosas, os valores encontrados neste estudo estão coerentes com outros obtidos em estudos de deficiência hídrica em clones de eucalipto (VALADARES et al., 2014; MENDES et al., 2013). Não foi observado efeito da fertilização de B, mas esses parâmetros foram significativamente alterados pela deficiência hídrica. As plantas com deficiência hídrica tendem a fechar os estômatos, com consequente redução na condutância estomática, na taxa fotossintética e na transpiração e, também sofrem mudanças bioquímicas como o aumento da síntese de osmoprotetores, como prolina e açúcares (PAULA et al., 2012).

A diminuição da condutância estomática e da transpiração e, por fim, da taxa de assimilação líquida, ocorre em consequência do fechamento estomático que é a primeira reação das plantas para reduzir a perda da água em condição de deficiência hídrica (PAULA et al., 2012). Neste trabalho, foi observada, além da diminuição da área foliar, a redução das trocas gasosas o que gerou maior eficiência no uso da água pelas plantas em condições de estresse, observado pe-

los maiores coeficientes angulares das relações entre assimilação líquida e transpiração com a condutância estomática (Figura 7). O aumento dessa eficiência não significa maior produtividade, mas é a resultante de mecanismos de tolerância que visam manter a planta viva em condições de baixa disponibilidade hídrica (SANTOS; CARLESSO, 1998).

CONCLUSÕES

A aplicação foliar de boro melhora a nutrição das plantas para este elemento, mesmo em condições de estresse hídrico, independentemente do genótipo.

A fonte de boro influencia a assimilação do nutriente pelo eucalipto, independentemente da disponibilidade hídrica.

A baixa disponibilidade hídrica afeta negativamente as características de crescimento e fisiológicas do eucalipto.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa concedida ao último autor, a empresa Ajinomoto pelo apoio ao projeto, ao colega José Francisco Teles, aos revisores e editores que contribuíram para a melhoria do artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRETO, V. C. M.; VALERI, S. V.; SILVEIRA, R. L. V. A.; TAKAHASHI, E. N. Eficiência de uso de boro no crescimento de clones de eucalipto em vasos. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v.76, p. 21-33, 2007

BAUERLE, W. L. WANG, G. G.; BOWDEN, J. D.; HONG, C. M. Na analysis of ecophysiological responses to drought in American Chestnut. *Annals of Forest Science*, Champenoux, v. 63, p. 833-842, 2006.

DELL, B.; MALAJCZUK, N. Boron deficiency in eucalypt plantations in China. *Canadian Journal of Forest Research*, Ottawa, v. 24, n. 12, p. 2409-2416, 1994.

DELL, B.; MALAJCZUK, N.; XU, D.; GROVE, T. S. *Nutrient disorders in plantation eucalypts*. 2 ed. Camberra: ACIAR, 2001. 188 p.

LEHTO, T.; RUUHOLA, T.; DELL, B. Boron in forest trees and forest ecosystems. *Forest Ecology and Management, Amsterdam*, v. 260, n. 12, p. 2053-2069, 2010.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2.ed. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

MARCAR, N. E.; GUO, J.; CRAWFORD, D. F. Response of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., *E. globulus* Labill. ssp. *globulus* and *E. grandis* W.Hill to excess boron and sodium chloride. *Plant and Soil*, Crawley, v. 208, n. 2, p. 251-257, 1999.

MATTIELLO, E. M.; RUIZ, H. A.; SILVA, I. R.; BARROS, N. E.; NEVES, J. C. L.; BEHLING, M. Transporte de boro no solo e sua absorção por eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, n. 5, p.1281-1290, 2009a.

MATTIELLO, E. M.; RUIZ, H. A.; SILVA, I. R.; SARKIS, J. E. S.; NEVES, J. C. L.; PUCCI, M. M. Phloem mobility of boron in two eucalypt clones. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, n. 6, p.1695-1704, 2009b.

MENDES, H. S. J.; PAULA, N. F.; SCARPINATTI, E. A.; PAULA, R. C. Respostas fisiológicas de genótipos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* à disponibilidade hídrica e adubação potássica. *Cerne*, Lavras, v. 19, n. 4, p. 603-611, 2013.

MYERS, B. J.; LANDSBERG, J. J. Water stress and seedling growth of two eucalypt species from contrasting habitats. *Tree Physiology*, Durham, v. 5, n. 2, p. 207-218, 1989.

PAULA, R. C.; PAULA, N. F.; MARINO, C. L. Breeding perennial species for abiotic stress. In: FRITSCHENETO, R.; BORÉM, A. (Eds.) *Plant breeding for abiotic stress tolerance*. Berlin: Springer-Verlag, p. 157-172, 2012.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SÃO JOSÉ, J. F. B.; SILVA, I. R.; BARROS, N. E.; NOVAIS, R. F.; SILVA, E. F.; SMYTH, T. J.; LEITE, F. P.; NUNES, F. N.; GEBRIM, F. O. Boron mobility in eucalyptus clones. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1733-1744, 2009.

SARRUGE, J. R. Soluções nutritivas. *Summa Phytopatologica*, Botucatu, v. 1, n. 3, p. 231-233, 1975.

- SGARBI, F.; SILVEIRA, R. L. V. A.; TAKAHASHI, E. N.; CAMARGO, M. A. F. Crescimento e produção de biomassa de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em condições de deficiência de macronutrientes, B e Zn. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 56, p. 69-82, 1999.
- SHORROCKS, V. M. The occurrence and correction of boron deficiency. **Plant and Soil**, Crawley, v. 193, n. 1-2, p. 121 - 148, 1997
- SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; LIBARDI, P. L.; GONÇALVES, A. N. Fertilizer management of eucalypt plantations on sandy soil in Brazil: Initial growth and nutrient cycling. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 301, p. 67-78, 2013.
- SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F. STAPE, J. L.; MOREIRA, R. M. Crescimento de *Eucalyptus grandis* tratado com diferentes doses de lodos de esgoto úmido e seco, condicionados com polímeros. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 77, p. 79-88, 2008.
- SILVEIRA, R. L. V. A.; GONÇALVES, A. N.; KRÜGNER, T. L. Estado nutricional de *Eucalyptus citriodora* Hook cultivado sob diferentes doses de boro e sua relação com a agressividade de *Botryosphaeria ribis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 53, p. 57-70, 1998.
- SOUZA, J. A.; CANESIN, R. C. F. S.; BUZZETTI, S. Boron mobility in peach seedlings. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 3, p. 930-935, 2012.
- SOUZA, M. J. H.; RIBEIRO, A.; LEITE, H. G. L.; LEITE, F. P.; MINUZZI, R. B. Disponibilidade hídrica do solo e produtividade do eucalipto em três regiões da Bacia do Rio Doce. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 399-410, 2006.
- STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, S.; LOOS, R. A.; TAKAHASHI, E. N.; SILVA, C. R.; SILVA, S. R.; HAKAMADA, R. E.; FERREIRA, J. M. A.; LIMA, A. M. N.; GAVA, J. L.; LEITE, F. P.; ANDRADE, H. B.; ALVES, J. M.; SILVA, G. G. C.; AZEVEDO, M. R. The Brazil Eucalyptus Potential Productivity Project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n. 9, p. 1684-1694, 2010.
- TIRLONI, C.; DANIEL, O.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; CARDUCCI, C. E.; HEID, D. M. Crescimento de *Corymbia citriodora* sob Aplicação de Boro nas Épocas Secas e Chuvosas no Mato Grosso do Sul, Brasil. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 19, n. 2, p. 197-206, 2011.
- VALADARES, J. ; PAULA, N. F. ; PAULA, R. C. Physiological changes in eucalyptus hybrids under different irrigation regimes. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, n. 4, p. 805-814, 2014.
- VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; CARVALHO, C. M.; VEIGA, R. A. A. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill Ex-Maiden e *Acacia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 83-88. 2000.
- VELLINI, A. L. T. T.; PAULA, N. F.; ALVES, P. L. C. A.; PAVANI, L. C.; BONINE, C. A. V.; SCARPINATI, E. A.; PAULA, R. C. Respostas fisiológicas de diferentes clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 651-663, 2008.

Recebido em 16/07/2014

Aceito para publicação em 23/02/2015

