

## Tolerância da erva-mate ao alumínio relacionada à presença de boro.

**Eliziane Luiza Benedetti<sup>(1)</sup>; Delmar Santin<sup>(2)</sup>; Caroline Müller<sup>(3)</sup>; Greice Leal Pereira<sup>(4)</sup>; Nairam Félix de Barros<sup>(5)</sup>.**

<sup>(1)</sup>Professora; Instituto Federal de Santa Catarina-IFSC; Canoinhas, SC; eliziane.benedetti@ifsc.edu.br; <sup>(2)</sup>Pós-doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC; desantinflorestal@yahoo.com.br; <sup>(3)</sup>Pós-doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG; caroline.muller@terra.com.br; <sup>(4)</sup>Graduanda em Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG; greice.pereira@ufv.br; <sup>(5)</sup>Professor; Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. nfbarrros@ufv.br.

**RESUMO:** A erva-mate tolera altos teores de Al, diferente da maioria das espécies que apresentam sintomas tóxicos de Al semelhantes à deficiência de B. Desta forma, tem sido proposto que o fornecimento adicional de B pode minimizar a toxicidade das plantas por Al. Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar a influência do Al no crescimento, e, ainda, o envolvimento do B na tolerância da erva-mate ao Al. Para isso, mudas de erva-mate foram cultivadas, durante 80 dias, em soluções com: 1) ausência de B e Al; 2) aplicação de 92,6  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de B e sem aplicação de Al; 3) sem aplicação de B e aplicação de 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de Al e 4) aplicação de 92,6  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de B e 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de Al. As variáveis determinadas foram: altura, massa seca da folha, comprimento da maior raiz, volume e massa seca da raízes. A aplicação de Al promoveu maior ou similar crescimento das plantas de erva-mate, em relação à aplicação isolada de B no meio de cultivo. Fato este que comprova o efeito benéfico do Al na erva-mate. Algumas características de crescimento radicular foram influenciadas diferencialmente pela adição separada de B e Al. No entanto, ambos elementos favoreceram o crescimento radicular das plantas, em comparação ao tratamento sem aplicação de B e Al. A interação entre B e Al ocasionou incremento significativo, em relação aos demais tratamentos, com efeito sinérgico, para as variáveis de massa seca foliar e volume radicular.

**Termos de indexação:** *Ilex paraguariensis*, crescimento, raiz.

### INTRODUÇÃO

O alumínio é considerado um elemento tóxico para a maioria das plantas (Foy et al., 1978). No entanto, a ocorrência natural da erva-mate (*Ilex paraguariensis*) se dá em solos com baixo pH e elevados teores de alumínio (Carvalho, 2003). Nestas condições, o Al torna-se altamente disponível para as plantas. Os sintomas característicos da toxicidade de Al são percebidos pela inibição do crescimento das raízes (Sivaguru & Horst, 1998; Tabuchi & Matsumoto, 2001). Sintomas

esses que se assemelham aos da deficiência em B, como redução e deformação das zonas de crescimento em raízes e folhas jovens (Dechen & Nachtigall, 2006). O B, como elemento essencial (Blevins & Lukaszewski, 1998) atua na síntese de parede celular (Matoh & Kobayashi, 1998), transporte de açúcares, lignificação, metabolismo de carboidratos, fenóis e integridade da membrana plasmática (Marschner, 1995).

Dessa forma, devido à semelhança dos sintomas de toxidez por Al e de deficiência de B (Brown et al., 2002), somado à similaridade química entre o Al [ $\text{Al}(\text{OH})_3$ ] e o B [ $\text{B}(\text{OH})_3$ ] no interior da planta (Kochian, 1995), tem sido proposta a interação entre esses elementos (Horst et al., 2010). Assim, foi proposto que o Al pode exercer seu efeito tóxico induzindo a deficiência de B (Blevins & Lukaszewski, 1998). Por outro lado, o fornecimento adicional de B poderia diminuir a toxicidade por Al (Yang & Zhang, 1998) e a deficiência de B agravaria a toxicidade do Al nas raízes (Stass et al., 2007). No entanto, a interação entre B e Al ainda não havia sido estudada em plantas tolerantes ao Al, como a erva-mate (Benedetti et al., 2011). Sendo assim, o objetivo desse estudo foi de avaliar a influência do Al no crescimento da erva-mate e o envolvimento do boro na tolerância ao Al.

### MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido com mudas de erva-mate, clone A03, procedente do município de Colombo-PR, os quais foram produzidos por miniestaqueia. As plantas foram crescidas e aclimatadas em sistema hidropônico, sob condições de casa de vegetação por um período de 80 dias precedentes a imposição dos tratamentos. Utilizou-se solução nutritiva segundo Wendling et al. (2007) modificada, com metade da força iônica.

Os tratamentos foram: 1) sem aplicação de B e Al; 2) aplicação de 92,6  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de B e sem aplicação de Al; 3) sem aplicação de B e aplicação de 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de Al; e 4) aplicação de 92,6  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de B e 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de Al. Os elementos foram

aplicados, nas soluções de cultivo, nas formas de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) e cloreto de alumínio ( $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ ). Os tratamentos foram dispostos com quatro repetições, no delineamento em blocos casualizados. Cada unidade experimental foi composta por um vaso com 3 L de solução contendo três mudas

Durante todo o período experimental, o pH das soluções foi ajustado a cada dois dias com HCl 0,1 molL<sup>-1</sup> ou NaOH 0,1 molL<sup>-1</sup> para 4,2 ( $\pm 0,2$ ). As soluções foram mantidas sob arejamento constante e substituídas a cada dez dias.

Na data de aplicação dos tratamentos foram medidos a altura da parte aérea e o comprimento da maior raiz. Após o período de 80 dias, as plantas foram retiradas e separadas em raiz, folha e caule e, posteriormente, todos os órgãos foram lavados com água deionizada. Imediatamente, determinou-se o comprimento do sistema radicular (CR) e volume do sistema radicular (VR), utilizando-se um scanner acoplado ao software Winrhizo modelo LA 2400, versão 2009. As medições de altura da parte aérea e o comprimento da maior raiz foram repetidas para determinação do incremento destas variáveis. Posteriormente, o material vegetal foi levado para estufa a 65 °C, para determinação de matéria seca da folha (MSF) e da raiz (MSR).

As características analisadas foram submetidas à análise da variância, nível de 5 % ( $p < 0,05$ ), empregando-se o software Sisvar (Ferreira, 2008).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A maioria das características de crescimento foi influenciada pela interação B e Al, com maior crescimento quando o Al foi aplicado à solução, independente da presença ou não de B (Figura 1).

A aplicação de Al, na ausência de B, proporcionou incremento em altura (97 %) e em comprimento da maior raiz (273 %); aumento no volume do sistema radicular (156 %) e MSF (157 %), em relação à solução com ausência de B e Al (Figura 1). Estes resultados comprovam o efeito benéfico do Al no crescimento da erva-mate, principalmente em solos sob deficiência de B. Além de reforçarem os indícios de tolerância da erva-mate ao Al, uma vez que, espécies sensíveis a este metal, apresentaram toxicidade mais acentuada em meio deficiente em B (Yang e Zhang, 1998; Stass et al., 2007).

Na presença de B e sem aplicação de Al, as plantas apresentaram crescimento similar aos obtidos pelo tratamento constituído pela presença de Al e ausência em B, como discutido acima. A

presença de B promoveu incremento em todos variáveis analisadas, em comparação à solução de cultivo sem B e Al (Figura 1 e 2). O B tem papel fundamental no crescimento da raiz devido sua função na divisão celular e no crescimento da zona distal deste órgão (Dell & Huang, 1997), o que favorece a absorção de água, nutrientes e, conseqüentemente, no crescimento (Matoh & Kobayashi, 1998).

Ao analisar o efeito do Al quando foi aplicado B à solução, observa-se efeito aditivo no incremento em altura (55 %) e no comprimento da maior raiz (70 %); e aumento no volume do sistema radicular (8 %) e na MSF (48 %) (Figura 1).

Algumas características de crescimento radicular foram influenciadas pela adição de B e Al separadamente (Figura 2), sendo que tanto o B quanto o Al favorecerem o crescimento radicular. A aplicação de Al proporcionou ganhos de 109 e 54 % respectivamente para comprimento do sistema radicular e MSR (Figura 2A e B) e a aplicação de B proporcionou aumento de 99 e 69 %, respectivamente, para as mesmas características (Figura 2C e D).

Normalmente, o principal sintoma da toxidez por Al é a diminuição do crescimento das raízes (Baligar et al., 1995), comportamento não observado neste estudo (Figura 2A e B), uma vez que o incremento no comprimento da maior raiz apresentou forte aumento em resposta ao cultivo em solução com Al, independente da disponibilidade de B.

Já as variáveis volume, comprimento e massa seca da raiz apresentaram aumento nas plantas cultivadas em solução contendo Al sem B, B sem Al, e B com Al. Esses dados sugerem que, mesmo estruturalmente semelhantes, B e Al apresentam funções diferentes no desenvolvimento radicular, porém com sinergismo observado na MSF. Em chá, Chen et al. (2011) sugerem que o Al tenha algum papel na nutrição das plantas e que, em plantas tolerantes, ele seja essencial a algum processo fisiológico, o que pode explicar o fato do maior efeito no crescimento proporcionado pelo Al em relação ao B. Assim, trabalhos complementares envolvendo maior aprofundamento em características intrínsecas da parte aérea e fisiologia da planta podem auxiliar no entendimento dos mecanismos de tolerância da erva-mate ao Al. Estudos mais aprofundados da fisiologia de erva-mate estão sendo conduzidos a fim de elucidar os mecanismos utilizados por estas plantas na tolerância ao Al.

## CONCLUSÕES



O Al possui efeito benéfico ao crescimento da erva-mate.

A aplicação de Al em solução deficiente em B e a aplicação de solução com B e ausência de Al promovem respostas similares ao crescimento das plantas de erva-mate.

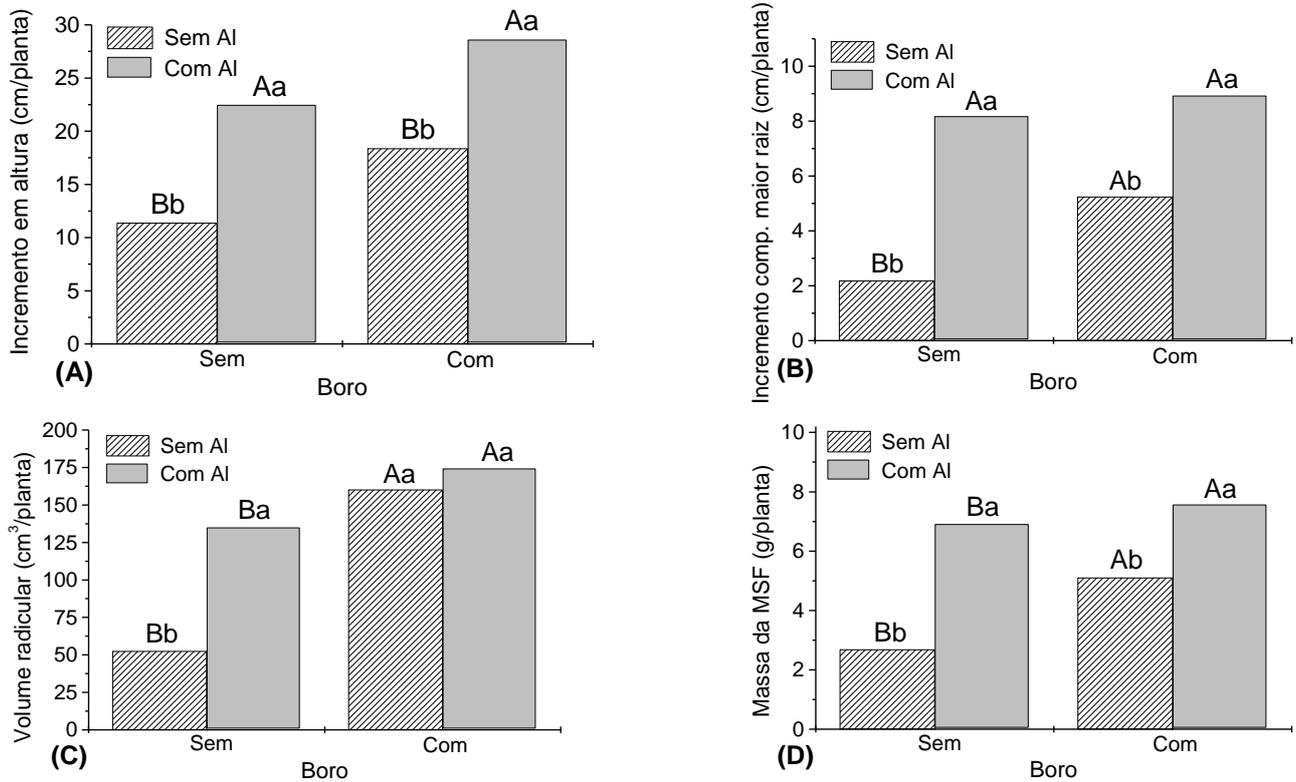
O B não apresenta efeito sobre a tolerância da erva-mate ao Al.

### AGRADECIMENTOS

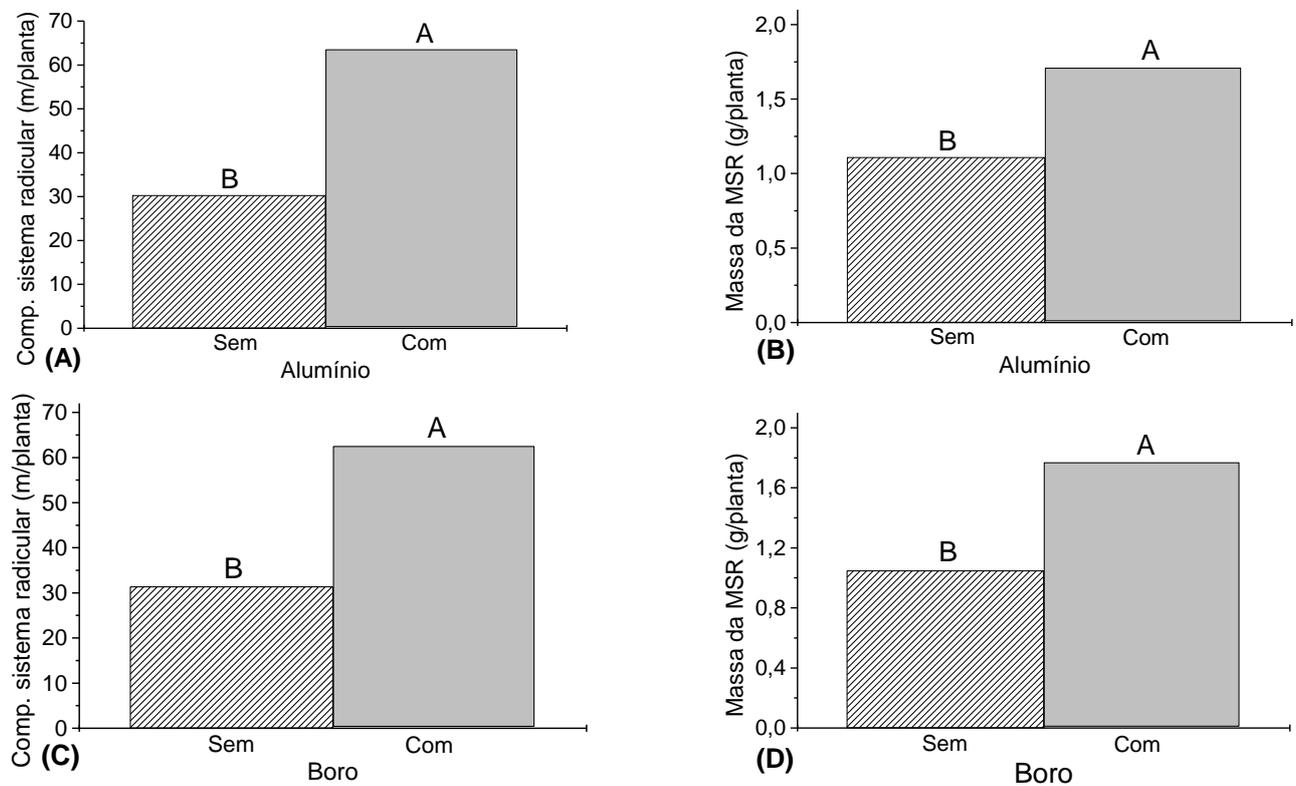
À Embrapa Florestas de Colombo, PR, pela produção das mudas utilizadas nesse trabalho e à Fapemig pela concessão de bolsa para a realização do trabalho.

### REFERÊNCIAS

- BALIGAR, V.C.; ANGHINONI, I.; PITTA, G.V.E. Aluminum effects on plant and nutrient uptake parameter of soil and solution grown sorghum genotypes. *Journal of Plant Nutrition*, 18:2325-2338, 1995.
- BENEDETTI, E. L.; BARROS, N. F.; SANTIN, D. et al. Al favorece o crescimento de mudas de erva-mate. In: Congresso Sudamericano de la Yerba Mate, 5., Posadas, 2011. Actas. Posadas: Instituto Nacional de la Yerba Mate. 2011. p. 153-158.
- BLEVINS, D.G. & LUKASZEWSKI, K.M. Boron in plant structure and function. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49:481-500, 1998.
- BROWN, P.H.; BELLALLOUI, N.; WIMMER, M. et al. Boron in plant biology. *Plant Biology*, 4:205-227, 2002.
- CARVALHO, P.E.R. Espécies arbóreas brasileiras. Colombo: Embrapa Florestas, v. 1, 2003. 1039p.
- CHEN, Y.M.; TSAO, T.M.; LIU, C.C. et al. Aluminium and nutrients induce changes in the profiles of phenolic substances in tea plants (*Camellia sinensis* CV TTES, No. 12 (TTE)). *Journal Science Food Agriculture*, 91: 1111-1117, 2011.
- DECHEN, A.R. & NACHTIGALL, G.R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M.S., ed. *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa, SBCS, 2006. p.327-354.
- DELL, B. & HUANG, L.B. Physiological response of plants to low boron. *Plant and Soil*, 193:103-120, 1997.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: um programa para análises e ensino de estatística. *Revista Científica Symposium*, 6:36-41, 2008.
- FOY, C.D.; CHANEL, R.L.; WRITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. *Annual Review Plant Physiology*, 29:511-566, 1978.
- HORST, W.J.; WANG, Y.; ETICHA, D. The role of the root apoplast in aluminium induced inhibition of root elongation and in aluminium resistance of plants: a review. *Annals of Botany*, 106:185-197, 2010.
- KOCHIAN, L.V. Cellular mechanism of aluminum toxicity and resistance in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 46:237-60, 1995.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MATOH, T. & KOBAYASHI, M. Boron and calcium, essential inorganic constituents of pectic polysaccharides in higher plant cell walls. *Journal of Plant Research*, 111:179-190, 1998.
- SIVAGURU, M. & HORST, W.J. The distal part of the transition zone is the most aluminium-sensitive apical root zone of maize. *Plant Physiology*, 116:155-163, 1998.
- STASS, A.; KOTUR, Z.; HORST, W.J. Effect of boron on the expression of aluminium toxicity in *Phaseolus vulgaris*. *Physiologia Plantarum*, 131: 283-290, 2007.
- TABUCHI, A. & MATSUMOTO, H. Changes in cell-wall properties of wheat (*Triticum aestivum*) roots during aluminium-induced growth inhibition. *Physiologia Plantarum*, 112:353-358, 2001.
- WENDLING, I.; DUTRA, L.F.; GROSSI, F. Produção e sobrevivência de miniestacas e minicepas de erva-mate cultivadas em sistema semi-hidropônico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42:289-292, 2007.
- YANG, Y.H. & ZHANG, H.Y. Boron amelioration of aluminum toxicity in mung bean seedlings. *Journal Plant Nutrition*, 21:1045-1054, 1998.



**Figura 1:** Incremento em altura (A), incremento em comprimento da maior raiz (B); volume do sistema radicular (C) e massa da matéria seca da folha - MSF (D). Dentro de cada nível de B, médias seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem pelo teste F a 5 %. Dentro de cada nível de Al, médias seguidas pela mesma letra maiúscula, não diferem pelo teste F a 5 %.



**Figura 2:** Comprimento do sistema radicular (A) e massa da matéria seca da raiz (B) influenciados pela ausência e presença de Al; comprimento do sistema radicular (C) e massa da matéria seca da raiz (D). Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de F a 5 %.