

A magnitude da toxidez de B é dependente da condição de acidez do solo

Julierme Zimmer Barbosa¹, Rangel Consalter¹, Volnei Pauletti¹ e Antonio Carlos Vargas Motta¹

¹ Universidade Federal do Paraná – UFPR, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo. Rua dos Funcionários, 1540, Juvevê, CEP: 80.035-050, Curitiba, PR.

barbosajz@yahoo.com.br, rangelconsalter@hotmail.com, vpauletti@ufpr.br, mottaacv@ufpr.br

Resumo: O boro (B) é um micronutriente para as plantas, sendo que sua carência e toxidez são responsáveis por sérios prejuízos à produção vegetal. Acessar visualmente o efeito do excesso de B em diferentes manejos da acidez do solo sobre plantas de trigo foi o objetivo deste estudo. Para tanto, em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, foi avaliado o efeito da presença ($3,5 \text{ mg dm}^{-3}$) e ausência de adição de B em três manejos de acidez do solo (gessagem, alta acidez e baixa acidez). As plantas de trigo foram cultivadas até o florescimento, quando foi fotografada a parte aérea, as inflorescências e as estruturas reprodutivas (androceu + gineceu). O excesso de B proporcionou toxidez no trigo, principalmente onde, devido ao manejo da acidez, o pH do solo era menor (alta acidez e gessagem), de maneira que além de menor crescimento, constatou-se atraso no desenvolvimento das estruturas reprodutivas.

Palavras-chave: solos ácidos, estresse abiótico, poáceas.

The B toxicity magnitude is dependent of the soil acidity

Abstract: Boron (B) is a micronutrient for plants, your defficiency and toxicity are negative for productivity. Access visually the effect of excess B in different management of soil acidity on plants was the goal of this study. Therefore, in an Oxisol evaluated the effect of the presence (3.5 mg dm^{-3}) and absence of B in three management of soil acidity (gypsum, high acidity and low acidity). The wheat plants were grown until flowering, when it was photographed shoots, inflorescences and reproductive structures (androecium + gynoecium). The excess of B provided toxicity in wheat, particularly where, due to the management of acid, the pH of the soil was lower (gypsum and high acidity), so that in addition to lower growth delay was observed in the development of reproductive structures.

Key words: acid soils, abiotic stress, grass.

Introdução

O boro (B) é um micronutriente para as plantas. Sua carência tem impacto negativo sobre os tecidos meristemáticos radiculares, onde ocorre o espessamento e fragilização da parede celular, o que por sua vez prejudica a divisão e alongação celular (Sommer & Sorokin, 1928; Moraes-Dallaqua, 2000). Também ocorre alteração no metabolismo das auxinas, na síntese de ácidos nucleicos e na integridade da membrana plasmática, de maneira que o crescimento radicular e da parte aérea é prejudicado, sendo que estes variam com a intensidade de deficiência e com o estágio de desenvolvimento vegetal (Broadley et al., 2012). Dessa forma, a deficiência pode causar a morte da planta ou redução de crescimento, caso isso não ocorra, a qualidade das sementes pode ainda ser prejudicada (Dordas et al., 2006; Broadley et al., 2012). Por outro lado, a toxidez por excesso de B é tão usual quanto sua carência. O intervalo relativamente pequeno entre o nível de suficiência e nível tóxico aliado à aplicação de doses elevadas de fertilizantes boratados em solos com baixa capacidade de adsorção, aplicações via foliar por sucessivas vezes, irrigação com água salina ou cultivo de plantas em solos salinos, são exemplos de condições relatadas com prejuízo às plantas pela alta disponibilidade de B (Nable et al., 1997; Terra et al., 2007).

No solo o teor total de B é bastante variável (3-100 mg kg⁻¹), provavelmente como função da variação intrínseca ao material de origem dos solos. Esse efeito é claramente observado em regiões costeiras, onde os solos com influência marinha contêm até 50 vezes mais B que solos de outras regiões (Lindsay, 1979). A concentração na solução do solo, compartimento do qual as plantas absorvem os nutrientes, é dependente da interação do B com a matriz do solo, por sua vez, governada pela complexidade de atributos químicos (pH, matéria orgânica), físicos (textura, umidade, temperatura), físico-químicos (ponto de carga zero) e mineralógicos (argilominerais) (Zhu et al., 2007). O manejo da acidez do solo exerce profundas alterações na dinâmica do B, sendo que a elevação do pH do solo aumenta a espécie borato [B(OH)₄⁻] (ânion) em detrimento do ácido bórico [B(OH)₃] (neutro), decorrente disso, ocorre menor disponibilidade às plantas, já que a espécie aniônica tem maior afinidade com a fase sólida do solo (Goldberg, 1997). Sendo assim, o pH do solo é atributo importante para situações tanto de deficiência como de toxidez de B.

O trigo (*Triticum aestivum*) é cultivado em diferentes regiões edafoclimáticas e de manejo da cultura em nível global, atingindo o nível de terceiro cereal em escala de produção de grãos, ficando atrás apenas do milho (*Zea mays*) e arroz (*Oryza sativa*) (FAOStat, 2011). Por fim, acessar visualmente o efeito do excesso de B em diferentes manejos de acidez do

solo sobre plantas de trigo foi o objetivo deste estudo.

Material e métodos

O experimento foi realizado em casa de vegetação no período de julho-outubro de 2011. Foi coletada uma amostra na camada de 0-20 cm de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico como substrato, que foi peneirado em malha de 4 mm e fracionado em três partes, sendo estas incubadas por 60 dias com os seguintes tratamentos de manejo da acidez: (I) gessagem - 0,2 g kg⁻¹ de CaO/MgO (relação 1:1) e 3,5 g kg⁻¹ de CaSO₄.H₂O; (II) alta acidez - 0,2 g kg⁻¹ de CaO/MgO (relação 1:1) e (III) baixa acidez - 2 g kg⁻¹ de CaO/MgO (relação 1:1). Transcorrido o período de incubação cada fração do substrato foi amostrada e analisada quimicamente, com os resultados apresentados na Tabela 1. A análise química do solo foi realizada conforme Marques & Motta (2003), exceto o B, para o qual foi utilizado extração com BaCl₂ (Abreu et al., 1994), contudo, substituiu-se a fonte de aquecimento do forno elétrico por banho-maria e a determinação foi realizada pelo método colorimétrico da Azometina-H (Parker & Gardner, 1981).

Tabela 1. Análise química do solo após a incubação com diferentes materiais inorgânicos

		Gessagem	Alta acidez	Baixa acidez
pH.CaCl ₂		4,3	4,2	5,6
pH SMP		5,8	5,6	6,6
Al ³⁺	cmol _c dm ⁻³	0,7	0,8	0,0
H ⁺ +Al ³⁺	cmol _c dm ⁻³	7,9	8,6	4,8
Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³	5,5	0,9	3,1
Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³	0,8	0,6	1,1
K ⁺	cmol _c dm ⁻³	0,2	0,2	0,2
V	%	42,9	15,1	47,5
m	%	9,7	32	0,0
Ca/Mg		6,8	1,5	2,8
P	mg dm ⁻³	5,9	6,2	2,0
B	mg dm ⁻³	0,38	0,40	0,32
C	g dm ⁻³	8,7	11,5	13,3

pH em CaCl₂ (relação solo:solução de 1:2,5); H⁺ + Al³⁺ estimado pelo pH SMP; Al³⁺ (titulometria), Ca²⁺ e Mg²⁺ (espectrofotometria absorção atômica) extraídos com KCl 1 M; P e K⁺ extraído com Mehlich-1, determinados por colorimetria e espectrofotômetro de emissão por chama; B extraído com BaCl₂ a quente em banho-maria; C através de oxidação por dicromato.

O solo de cada manejo da acidez recebeu 120 mg P kg⁻¹ (KH₂PO₄) e 180 mg K kg⁻¹ (KNO₃). Em seguida, cada amostra de solo foi fracionada em duas partes, nas quais foram

aplicados 0 e 3,50 mg B dm⁻³ como ácido bórico.

O experimento foi realizado com quatro repetições e delineado de forma completamente casualizada com seis tratamentos (2 doses de B x 3 manejos da acidez). Em vasos plásticos com capacidade para 10 L, foram acondicionados 9 kg de solo dos tratamentos supracitados. A umidade do solo foi mantida próxima de 60 % da capacidade de retenção de água, para tanto, os vasos foram periodicamente (2-4 dias) pesados, com ajuste da umidade pela adição de água deionizada.

Em cada vaso foi semeado sementes de trigo cultivar CD 109 (moderadamente sensível ao Al), sendo que após germinação e estabelecimento de plântulas, mantiveram-se oito plantas por vaso. Aproximadamente 15 dias após a emergência (DAE), foram aplicados 70 mg N kg⁻¹ [(NH₂)₂CO] e 30 DAE se aplicou inseticida à base de cipermetrina e clorpirifós (10 e 20 % respectivamente) na dosagem de 1 mL L⁻¹ (controle de lagartas). As plantas foram cultivadas até a emissão total das inflorescências, no entanto, antes da polinização (50 DAE).

Na fase de florescimento do trigo, a parte aérea de cada unidade experimental foi fotografada com câmera Kodak AF 3x OAL 10,2 megapixels. Feito isso, espigas foram coletadas e fotografadas com a mesma câmera, sendo que em seguida foram mantidas em refrigerador a 4 °C. A partir de então, cuidadosamente as flores foram abertas, as estruturas reprodutivas androceu e gineceu retiradas e fotografadas com câmera Sony DSC HX100V 16,2 megapixels. Em adição, o teor de B no solo após o cultivo do trigo foi analisado conforme o método supradescrito.

Resultados e discussão

Com a aplicação de 3,5 mg B dm⁻³, os teores do nutriente no solo após o cultivo do trigo ficaram em torno de 1,45 mg dm⁻³ (Figura 1). O descompasso entre a aplicação e a quantidade de B extraída deve-se a absorção pela planta e a ligação de B em formas que não são extraídas pelo BaCl₂ a quente, entretanto, são elevados quando comparados com os teores naturais de B.

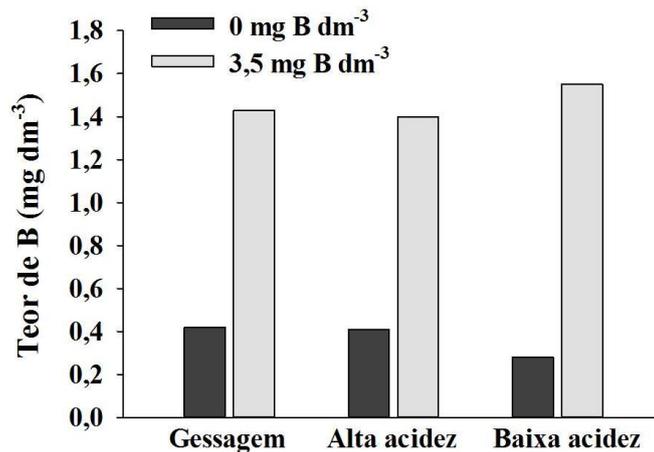


Figura 1. Teor de B no solo após o cultivo de trigo em função do manejo da acidez do solo e da adubação boratada.

Os tratamentos com B e manejos da acidez afetaram os aspectos visuais do trigo (Figura 2; 3 e 4). Na ausência de adição de B, constatou-se que a baixa acidez foi à condição mais adequada para o trigo, seguida pela alta acidez e gessagem. Quando o B foi adicionado, a magnitude da toxidez de B variou com o nível de acidez do solo, sendo nos tratamentos gessagem e alta acidez verificadas plantas mais intoxicadas, com atraso no desenvolvimento das estruturas reprodutivas (androceu + gineceu).

O impacto do excesso de B é variável entre plantas, mas em termos gerais, de acordo com Nable et al. (1997) e Cervilla et al. (2012), podem ser destacados os seguintes sintomas: incremento de espécies reativas de oxigênio e compostos fenólicos, redução na fotossíntese, vigor, crescimento e clorose foliar (plantas com baixa mobilidade de B). Em relação ao desenvolvimento das culturas, Goldberg et al. (2003) observou que plantas de melão intoxicadas por B tiveram floração atrasada, além de menor produção de frutos. Assim, a redução de crescimento e o atraso de desenvolvimento, sintomatologia observada no trigo, são concordantes com sintomas da toxidez de B. Por outro lado, para manejo da acidez, o menor crescimento em condição de alta acidez é reflexo da menor disponibilidade de Ca²⁺ e Mg²⁺, e pela presença de Al³⁺, enquanto no manejo com gessagem, o mesmo deve-se a alta relação Ca/Mg, presença de Al³⁺ (Tabela 1) e, provavelmente a alta adição de sulfato (SO₄⁻) que pode interferir na absorção de fósforo (P) (Leite, 1984; Cravo et al., 1985).

A disponibilidade de B no solo varia em função da interação desse nutriente com a fase sólida, que depende da constituição da própria fase sólida como da eletroatividade do B. Como o aumento do pH do solo reduz a disponibilidade de B na solução do solo, pela maior adsorção de borato [B(OH)₄⁻] (Goldberg, 1997), no presente estudo, a diferença de pH do solo

nos diferentes manejos da acidez afetou a intoxicação do trigo. Desse modo, a alta adição de B em solo sob manejos da acidez com pH baixo (baixa acidez e gessagem), portanto, condição de múltiplos fatores de estresse, culminou com o atraso no desenvolvimento das estruturas reprodutivas do trigo. Isso se deve, provavelmente, pela associação entre menor produção de fotoassimilados e pelo alto nível de B nas estruturas reprodutivas.



Figura 2. Aspectos visuais da parte aérea de plantas de trigo em função do manejo da acidez do solo e da adubação boratada. Barra = 25 cm.



Figura 3. Aspectos visuais de inflorescências de plantas de trigo em função do manejo da acidez do solo e da adubação boratada. Barra = 10 cm.

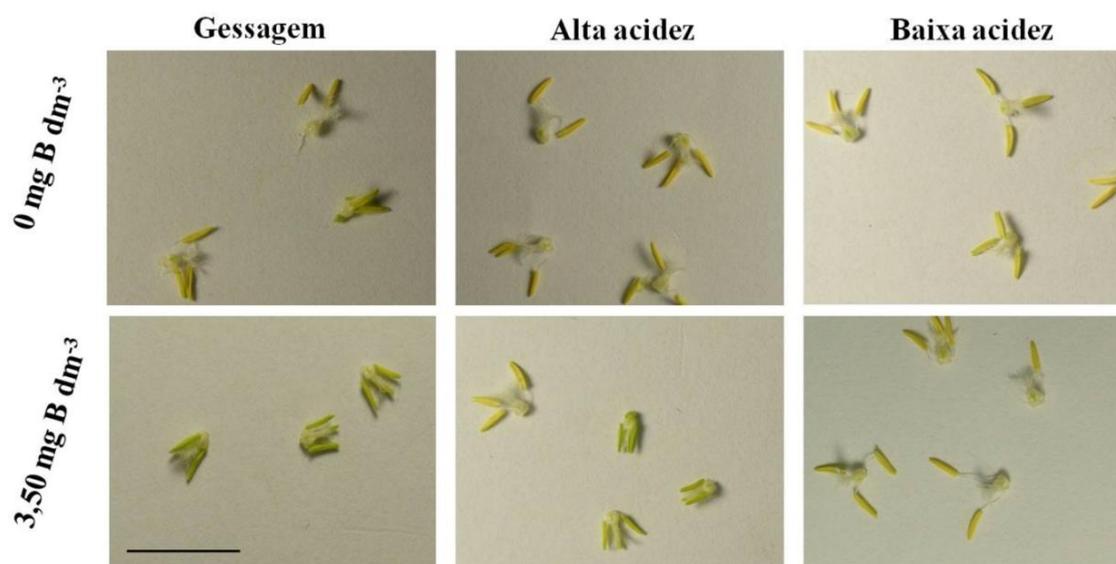


Figura 4. Aspectos visuais de órgãos reprodutivos (gineceu + androceu) de plantas de trigo em função do manejo da acidez do solo e da adubação boratada. Barra = 1 cm.

Conclusões

O excesso de B no solo proporcionou toxidez no trigo, principalmente onde, devido ao manejo da acidez, o pH do solo era menor (alta acidez e gessagem), de maneira que além de menor crescimento, constatou-se atraso no desenvolvimento das estruturas reprodutivas.

Referências

- ABREU, C.A.; ABREU, M.F.; VAN RAIJ, B.; BATAGLIA, O.; ANDRADE, J.C de. Extraction of boron from soil by microwave heating for ICP-AES determination. **Communications in Soil Science and Plant Analyses**, v. 25, n. 19-20, p. 3321-3333, 1994.
- BROADLEY, M.; BROWN, P.; CAKMAK, I.; RENGEL, Z.; ZHAO, F. Functional of nutrients: micronutrients. In: MARSCHNER, P. (ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. ed. 3. Elsevier, 2012, p. 191-248.
- CERVILLA, L.M.; BLASCO, B.; RIOS, J.J.; ROSALES, M.A.; SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, E.; RUBIO-WILHELMI, M.M.; ROMERO, L.; RUIZ, J.M. Parameters symptomatic for boron toxicity in leaves of tomato plants. **Journal of Botany**, v. 2012. Disponível em: <<http://www.hindawi.com/journals/jb/2012/726206/>>. Acesso em: 26 set. 2013.
- CRAVO, M.S.; BRAGA, J.M.; AMARAL, F.A.L.; ALVAREZ V,V.H. Efeitos da interação fósforo x enxofre sobre a produção da matéria seca e sobre os níveis críticos de P e S no solo e em plantas de soja (*Glycine max* L.) em solos com e sem calagem. **Revista Ceres**, v. 32, n. 1, p. 12-30, 1985.
- DORDAS, C. Foliar boron application improves seed set, seed yield, and seed quality of alfafa. **Agronomy Journal**, v. 98, n. 4, p. 907-913, 2006.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 26 set. 2013.
- GOLDBERG, S. Reactions of boron with soils. **Plant Soil**, v. 193, n. 1-2, p. 35-48, 1997.
- GOLBERG, S.; SHOUSE, P.J.; LESCH, S.M.; GRIEVE, C.M.; POSS, J.A.; FORSTER, H.S.; SUAREZ, D.L. Effect of high boron application on boron content and growth of melons. **Plant Soil**, v. 256, n. 2, p. 403-411, 2003.
- LEITE, R. A. Uso de matrizes experimentais e de modelos estatísticos no estudo do equilíbrio fósforo-enxofre na cultura da soja em amostras de Latossolos de Minas Gerais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1984. 62 p. (Dissertação de Mestrado).

LINDSAY, W.L. **Chemical equilibria in soils**. New York: John Wiley, 1979, 449 p.

MARQUES, R.; MOTTA, A.C.V. Análise química do solo para fins de fertilidade. In: LIMA, M.R. de., ed. **Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas**. 2.ed. Curitiba, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2003. p. 81-102.

MORAES-DALLAQUA, M.A.; BELTRATI, C.M.; RODRIGUES, J.D. Anatomia de ápices radiculares de feijão cv. Carioca submetidos a níveis de boro em solução nutritiva. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 3, p. 425-430, 2000.

NABLE, R. O.; BANUELOS, G.S.; PAULL, J.G. Boron toxicity. **Plant Soil**, v. 193, n. 1-2, p. 181-198, 1997.

PARKNER, D.R.; GARDNER, E.H. The determination of hot-water-soluble boron in some acid Oregon soils using a modified azomethine-H procedure. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 12, n. 12, p. 1311-1322, 1981.

SOMMER, A.L.; SOROKIN, H. Effects of the absence of boron and of some other essential elements on the cell and tissue structure of the roots tips of *Pisum sativum*. **Plant Physiology**, v. 3, n. 3, p. 237-260, 1928.

TERRA, M.M.; PIRES, E.J.P.; BOTELHO, R.V.; TECCHIO, M.A.; TUCCI, M.L.S.A. Toxicity from boron in 'Italia' (*Vitis vinifera* L.) grapevines. **Ambiência**, v. 3, n. 3, p. 435-440, 2007.

ZHU, D.; WANG, J.; LIAO, S.; LIU, W. Relationship between plant availability of boron and the physic-chemical properties of boron in soils. In: XU, F.; GOLDBACH, H.E.; BROWN, P.H.; BELL, R.W.; FUJIWARA, T.; HUNT, C.D.; GOLDBERG, S.; SHI, L. (eds). **Advances in plant and animal boron nutrition**. p. 345-354, 2007.