



Efeito de concentrações de C-ácido húmico e disponibilidade de boro sobre a nutrição e o crescimento do tomateiro⁽¹⁾.

Bruno Paulo Moschini⁽²⁾; Carlos Alberto Silva⁽³⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

⁽²⁾ Mestrando em Ciência do Solo; Universidade Federal de Lavras (UFLA); Lavras, MG; bruno_moschini@hotmail.com;

⁽³⁾ Professor Associado; Universidade Federal de Lavras (UFLA).

RESUMO: O ácido húmico (AH) interage com o boro (B), afetando a sua disponibilidade e absorção pelo tomateiro. O efeito dessa interação depende do solo, principalmente do seu teor de matéria orgânica (MO), que regula a intensidade da interação AH-B. Objetivou-se avaliar o efeito de concentrações de C-ácido húmico (C-AH) e de suas interações com a disponibilidade de B sobre a nutrição e crescimento do tomateiro cultivado em solos com características contrastantes. Foram utilizadas amostras de Latossolo Vermelho de textura argilosa e Latossolo Vermelho Amarelo de textura média. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial duplo 2x5, compreendendo duas doses de B, sem adição, para manter o teor atual de B, e a que visou elevar o teor de B a 2 mg kg⁻¹ no solo, combinadas com cinco concentrações de C-AH (0, 5, 10, 50 e 100 mg kg⁻¹ de solo), em três repetições. Foi analisada a massa seca (MS) da parte aérea (PA), raízes (R), total (PA+R) e a relação R/PA. A textura e o teor de MO são fatores que modulam a produção de MS e o efeito das concentrações de C-AH sobre o tomateiro. Independentemente do solo avaliado, na ausência de adição de B, há menor crescimento e o acréscimo na concentração de C-AH reduz a produção de biomassa da cultura. Com a adição e aumento do B no solo, há acréscimo na MS, principalmente de raízes, à medida que aumentam as concentrações de C-AH.

Termos de indexação: matéria orgânica, acúmulo de nutrientes, adsorção.

INTRODUÇÃO

A disponibilidade de B para as plantas depende de sua concentração na solução do solo e dos processos associados à precipitação, lixiviação e interação do nutriente com os colóides orgânicos e minerais do solo (Goldberg, 1997). No solo, há adsorção de B aos óxidos de ferro e de alumínio, à MO e às suas frações húmicas, de modo que adsorção do nutriente aumenta com o acréscimo do pH e com a quantidade e tipo de MO presente no solo (Goldberg, 1985). Nos solos, a maior parte do B

disponível no solo está ligada à fração orgânica, que retém o nutriente em ligações de alta energia (Rosolem & Biscaro, 2007). Com o aumento do teor de MO, há maior capacidade do solo em adsorver B, mostrando que as frações orgânicas constituem-se em sítios de retenção do elemento químico (Azevedo et al., 2001).

Em relação à interação ácido húmico-boro, Lemarchand et al. (2005) relataram que os íons H⁺ ligados às estruturas dos AHs em solos ácidos retém grande quantidade de B. No entanto, o papel do AH na retenção de B nos solos parece ser altamente dependente do tipo de solo envolvido. Assim, quanto à contribuição do AH para a adsorção de B, é provável que seja menor quando solos ácidos estão envolvidos (Gu & Lowe, 1990). Em solos com pH na faixa de 7,0, com baixos teores de MO, menores que 5%, a contribuição do AH para a adsorção de B provavelmente é menor, especialmente quando significativas quantidades de argila e sesquióxidos estão presentes (Mezuman & Keren, 1981). Por consequência, Evans (1987) alegou que, somente em solos com altos teores de MO e pH elevado, o papel do AH pode ser dominante, com maior adsorção de B pelos óxidos e pela MO. Assim, o pH do solo, que pode ser alterado pelas concentrações de C-AH – natureza alcalina predominantemente - pode ter um efeito positivo ou antagônico da fração húmica sobre a dinâmica e disponibilidade do B.

As ações da aplicação de AH e outras frações orgânicas sobre o crescimento e a nutrição vegetal têm sido amplamente relatadas. Pouco se sabe sobre o efeito da interação AH-B no crescimento do tomateiro. Objetivou-se avaliar o efeito de concentrações de C-AH, e de sua interação com os teores de B em solos contrastantes quanto à textura e teor de matéria orgânica, sobre a nutrição e crescimento do tomateiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostras do Solo

O tomateiro foi cultivado em dois solos com características contrastantes e com ampla faixa na variação dos teores de argila, MO e outros atributos



químicos, sendo elencados para estudo o Latossolo Vermelho Amarelo de textura média (LVA) e Latossolo Vermelho de textura argilosa (LV) (Embrapa, 2006), que foram coletados no estado de Minas Gerais, nos municípios de Itumirim e Lavras, respectivamente. Antes das aplicações dos tratamentos foram realizadas as análises dos atributos de fertilidade do solo, com a finalidade de caracterizá-los e definir a necessidade de calagem e a adubação adequada para cultivo do tomateiro.

Aplicação dos tratamentos de C-AH e boro

O C-AH utilizado continha 37% de C e foi extraído de Leonardita australiana, com o uso de solução de hidróxido de potássio (KOH), segundo metodologia descrita pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS, 2015).

Sementes de tomate da cultivar Santa Clara foram propagadas em substrato comercial em bandeja de poliestireno com duzentas células. Após o período de germinação e tendo atingido tamanho de aproximadamente 10 cm, as mudas foram transferidas para vasos plásticos, mantendo-se duas plantas por vaso, que foi preenchido com 1,2 kg de solo. O material húmico foi adicionado em estado sólido e misturado à massa de solo de cada vaso de cultivo.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial duplo 2x5, compreendendo duas concentrações de B: sem adição do nutriente, para manter o teor atual de B disponível nos solos, e a adubação com o nutriente que visou elevar o teor de B a 2 mg kg⁻¹ no solo, combinadas com cinco concentrações de C-AH (0, 5, 10, 50 e 100 mg kg⁻¹ de solo), em três repetições.

Como fonte de B, foi utilizado o ácido bórico (H₃BO₃) p.a., sendo adicionado em cada vaso 0,013g de H₃BO₃, quando pertinente (tratamento com adição de B).

Análise de tecido vegetal e de crescimento

Ao final do período experimental, as plantas foram colhidas, lavadas em água destilada e subdivididas em PA e R, posteriormente, foram acondicionadas em sacos de papel do tipo *Kraft* e colocadas em estufa com circulação forçada de ar, a 65 – 70 °C até peso constante, conforme descrito por Jones Junior et al. (1991). Foi analisada a MS da PA, R e total (PA+R) do tomateiro. Foi realizada a moagem do material vegetal em moinho Willey, com peneira de 20 mesh. As amostras moídas foram acondicionadas em recipientes hermeticamente fechados para as análises dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, Zn e B, conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

Análise estatística

Os efeitos dos diferentes tratamentos foram verificados a partir da análise de variância e, quando significativos, foram submetidos à análise de regressão, em função de testes feitos para o efeito de concentrações de C-AH e de suas interações com a adição ou não de B, para cada solo em particular, ao nível de 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa computacional Sisvar (Ferreira, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises químicas das amostras dos solos coletadas após incubação com o corretivo de acidez e os tratamentos de C-AH e B estão apresentados na **Tabela 1**.

Tabela 1 - Características químicas do Latossolo Vermelho Amarelo de textura média (LVA) e Latossolo Vermelho de textura argilosa (LV), após aplicação dos tratamentos e da adição C-AH e boro, no início do cultivo do tomateiro.

Características	Solo			
	----LV----		----LVA----	
	Sem Boro	Com Boro	Sem Boro	Com Boro
pH em água	6,1	6,2	7,1	7,1
K (mg dm ⁻³)	178	206	164	170
P (mg dm ⁻³)	148	251	126	148
Ca (cmol _c dm ⁻³)	4,8	4,3	0,9	0,7
Mg (cmol _c dm ⁻³)	1,5	1,5	0,3	0,3
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,1	0,1	0	0
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	4	4,1	1,8	1,9
SB (cmol _c dm ⁻³)	6,8	6,3	1,6	1,4
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	6,9	6,4	1,6	1,4
CTC a pH 7,0 (cmol _c dm ⁻³)	10,8	10,5	3,4	3,3
V (%)	63,2	60,6	46,7	43,6
m (%)	1,4	1,2	0	0
Zn (mg dm ⁻³)	13,2	28,5	10,5	16,5
Fe (mg dm ⁻³)	76,4	61,8	11,1	11,2
Mn (mg dm ⁻³)	22,3	29,2	7,2	9,7
Cu (mg dm ⁻³)	3,5	3,7	3,2	4,8

No LV, o aumento da concentração de C-AH



diminui a disponibilidade de B, quando há adubação com esse nutriente. No LVA, da mesma forma que ocorreu para o solo com mais argila, as concentrações de C-AH não interferem nos teores de B de pronto uso pelas plantas, mas exercem forte influência sobre a disponibilidade de B, quando o nutriente é adicionado ao solo na forma de ácido bórico. Há redução nos teores de B de cerca de 1,9 para 1,2 mg kg⁻¹, portanto queda nos teores do nutriente de cerca de 40%.

A produção de MS no LV é afetada pela adição ou não de B e pelas concentrações de C-AH. Há efeito da interação das concentrações de C-AH e B sobre a relação R/PA, de modo que todos esses resultados indicam que a biomassa do tomateiro, em função da disponibilidade de B no solo, responde de modo diferente às concentrações de C-AH. Quando há maior disponibilidade de B em solo, o aumento das concentrações de C-AH acresce a produção de MS total e, principalmente a da parte aérea do tomateiro, no LV. A produção da MS de raízes responde de modo diferenciado, ou seja, reduz-se com o aumento da concentração de C-AH, mas volta a crescer, quando o C-AH adicionado ao solo é maior que 50 mg kg⁻¹. A relação de biomassas da R/PA é um atributo muito plástico e responsivo aos tratamentos que afetam a raiz, principalmente, quando as condições de crescimento de raízes em solo são ótimas, é comum que a relação R/PA seja mínima, pois as plantas gastam menos fotoassimilados para desenvolver raízes e absorver nutrientes e água e direciona os produtos da fotossíntese para o crescimento da parte aérea e, em sequência, para produzir frutos. Assim, a MS de raízes não determina a sua funcionalidade, ao contrário, em situações onde há deficiências múltiplas de nutrientes em solo, é comum que a planta direcione suas reservas para as raízes, para assegurar as quantidades necessárias de nutrientes para suas funções fisiológicas e bioquímicas.

Na ausência de B, o crescimento do tomateiro é menor no LV, para todas as concentrações de C-AH, em comparação às amostras do LV onde há mais B disponível. Existe uma concentração ótima de C-AH para máximo crescimento da planta (MS total), que é metade (33,9 mg kg⁻¹) da concentração ótima verificada para plantas crescidas em solo com mais B disponível. Esse crescimento máximo da planta se explica mais pelo aumento na produção de MS de raiz do que pelo acréscimo na produção de MS da parte aérea do tomateiro. A maior ou menor disponibilidade de B em solo determina, assim, efeitos diferenciados das concentrações de C-AH sobre o crescimento do tomateiro.

No LVA, o acúmulo de MS da parte aérea e total diminuiu nos tratamentos sem B, em função do

aumento das concentrações de C-AH. Em relação à MS das raízes e à relação R/PA, foram verificados decréscimos curvilíneos com o aumento do C-AH. Por meio da equação de regressão, estimou-se a produção máxima de MS das raízes (0,98 g vaso⁻¹), sendo essa obtida utilizando-se 44 mg kg⁻¹ C-AH. Nos tratamentos com adição de B, foi verificada correlação da MS da parte aérea e total, enquanto que, para as raízes e a relação R/PA, o acúmulo de MS decresceu com o aumento das concentrações de C-AH.

Após a aplicação do corretivo de acidez, verificou-se o aumento nos valores de pH atingindo valores de 6,2 e 7,1 no LV e LVA, respectivamente (**Tabela 1**). Segundo Evans (1987), em solos com pH elevado, a acidez pode ter efeito dominante em relação ao papel desempenhado pelo AH. Em relação à influência do AH sobre a dinâmica e disponibilidade de B, provavelmente, a adsorção de B seja maior nos solos alcalinos do que nos mais ácidos. Com base nessas premissas, observaram-se maiores respostas de raízes quando essas foram cultivadas no LVA, em função do uso conjunto de concentrações C-AH, com a adição de B. Essa diferença de valores de pH entre os dois solos pode ter determinado os efeitos diferenciados das concentrações de C-AH sobre o tomateiro. É bastante provável que o maior valor de pH no LVA têm implicado em restrição na disponibilidade de B, pela maior adsorção do nutriente em ambiente alcalino. Sob essas condições, a adição de C-AH pode ter imobilizado o B também, em formas complexas e menos disponíveis para as plantas.

Por tudo que foi dito anteriormente, o papel do AH em relação ao efeito sobre o B no solo, parece ser dependente do tipo de solo e de suas condições de fertilidade.

CONCLUSÕES

A textura, o teor de MO, o pH e a disponibilidade de B são fatores que modulam a produção de MS e o efeito do C-AH sobre o tomateiro.

Com o pH do LVA em torno de 7,0 e com a diminuição da disponibilidade de B, o uso de C-AH reduz a biomassa, com efeitos negativos sobre a MS da parte aérea do tomateiro.

Independentemente do solo, na ausência de B, há menor crescimento e o acréscimo de C-AH reduz a produção de biomassa, quando são aplicadas concentrações superiores a 50 mg kg⁻¹ C-AH.

A adição de B propicia aumentos na produção de MS, principalmente de raízes, à medida que se aumentam as concentrações de C-AH.

Quando a disponibilidade de B em solo é média, a MS do tomateiro é aumentada pelo uso de C-AH,



contudo o tomateiro cresce menos do que em situações de pleno suprimento de B à cultura.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processos 308592/2011-5 e 461935/2014-7), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por custearem as ações de pesquisa deste estudo e financiarem bolsas de pesquisa aos autores e a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, W.R. de; FAQUIN, V.; FERNANDES, L.A. Adsorção de boro em solos de várzea do Sul de Minas Gerais. *Pesq. Agropec. Bras.* 2001; 36:957-964.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro 2006. 306p.
- EVANS, L.J. Retention of boron by agricultural soil from Ontario. *Canadian Journal of Soil Science*, 67:33-42. 1987.
- FERREIRA, D.F. SISVAR software: versão 5.1. Lavras: DEX/UFLA, 2011. Software.
- GOLDBERG, S. e GLAUBIG, R.A. Boron adsorption on aluminum and iron oxide minerals. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1985; 49:1374-1379.
- GOLDBERG, S. Chemistry and mineralogy of born in soils. In: GUPTA, U.C. (ed.). *Boron and its role in crop production*. Boca Raton: CRC Press, 1997. p.3-44.
- GU, B. & LOWE, L.E.. Studies on Adsorption of boron non humic acids. *Can. J. Soil Sci.* 1990; 70:305-311.
- IHSS - International Humic Substances Society (2015) Products. Disponível em: >[http:// www.ihss.gatech.edu/products.html](http://www.ihss.gatech.edu/products.html)>. Acessado em: 1 de março de 2015.
- JONES JUNIOR, J.B.; WOLF, B.; MILLS, H.A. *Plant analysis handbook: A practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide*. Athens, Micro Macro Publishing. 1991. 213p.
- LEMARCHAND, E.; SCHOTT, J.; GAILLARDT, J. Boron isotopic fractionation related to boron sorption on humic acid and the structure of surface complexes formed. *Geochimica et Cosmochimica Acta.* 2005; 69:3519-3533.
- MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS. 1997. 319p.
- MEZUMAN, U. & KEREN, R. Boron adsorption by soils using a phenomenological adsorption equation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45:722-726. 1981.
- ROSOLEM, C.A. & BÍSCARO, T. Adsorção e lixiviação de boro em Latossolo Vermelho-Amarelo. *Pesq. Agropec. Bras.* 2007; 42:1473-1478.

