



EFICIÊNCIA DE ABSORÇÃO, TRANSPORTE E UTILIZAÇÃO DE BORO E ZINCO PELO ALGODOEIRO

Érica de Oliveira Araújo¹; Marcos Antonio Camacho²; Elcio Ferreira dos Santos³; Ana Paula Câmara⁴

¹ UFGD/ericabb25@hotmail.com; ² UEMS/camacho@uems.br; ³ UEMS/elcio_f2@hotmail.com;
⁴ UEMS/paulinha_01camara@hotmail.com

RESUMO – O boro e o zinco são os dois micronutrientes que mais se têm constatado deficiência nos solos brasileiros e que causam maiores problemas à cotonicultura. Assim, uma melhor compreensão da dinâmica desses nutrientes, permite identificar cultivares mais eficientes na utilização dos nutrientes menos disponíveis no solo, tais como o boro e o zinco. Este trabalho teve como objetivo avaliar as eficiências de absorção, transporte e utilização de boro e zinco pelo algodoeiro em função das concentrações de boro, zinco e a interação entre os nutrientes em solução nutritiva. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com três repetições, em esquema fatorial 4x5, sendo quatro concentrações de boro (0, 20, 40 e 80 $\mu\text{M L}^{-1}$) e cinco concentrações de zinco (0, 1, 2, 4 e 8 $\mu\text{M L}^{-1}$). As plantas de algodão estudadas foram cultivadas em casa de vegetação, com solução nutritiva completa por 28 dias, após os quais receberam solução nutritiva modificada de acordo com o tratamento. Aos 115 dias após emergência, as plantas foram coletadas, divididas em raiz, parte aérea e frutos, e submetidas à análise química. Os resultados permitiram concluir que as eficiências de transporte e utilização de B são influenciadas pelas concentrações de B e Zn na solução, sendo que o B atua de maneira diferenciada em função do fornecimento de Zn. O suprimento de B afetou positivamente a eficiência de transporte de Zn no algodoeiro.

Palavras-chave: *Gossypium hirsutum* L., micronutrientes, eficiência nutricional, solução nutritiva

INTRODUÇÃO

As pesquisas referentes aos aspectos nutricionais da cultura do algodão vêm sendo realizadas desde a década de 1960, subsidiando a cotonicultura com informações relevantes sobre nutrição mineral, sendo de fundamental importância, pois, para alcançar alta produtividade econômica é necessário que o algodoeiro esteja equilibrado nutricionalmente.

A avaliação do estado nutricional do algodoeiro ainda é estudada atualmente (SERRA et al. 2010 ;SILVA et al. 2009), inclusive no que se refere as pesquisas com micronutrientes, sendo que dentro desta categoria estão o boro e o zinco.

As respostas resultantes da deficiência de boro incluem inibição do crescimento radicular, ausência ou anormalidade na diferenciação vascular, principalmente em relação ao floema, e necrose

do ápice radicular (MARSCHNER, 1995). Com o colapso dos vasos condutores, tem-se a redução do crescimento das raízes que não recebem quantidade suficiente de fotoassimilados e, finalmente, a absorção de água e de nutrientes também é afetada; portanto, o crescimento da planta é diminuído. Salienta-se, ainda, que o manejo adequado do boro no sistema solo-planta é normalmente dificultado, pois a faixa de concentração entre a deficiência e a toxicidade é a menor, se comparada à dos outros nutrientes. Soma-se a isto o fato de que o aumento da concentração de boro nas plantas pode diminuir a concentração de outros nutrientes, como o zinco.

A diminuição dos teores de zinco em função do aumento da concentração de boro foi relatada para folhas de tabaco (LÓPEZ-LEFEBRE et al., 2002) e no milho (MOZAFAR, 1989), enquanto a interação positiva destes dois micronutrientes foi apresentada para a raiz de tabaco (LÓPEZ-LEFEBRE et al., 2002) e por outras culturas (GREWAL et al., 1997).

Em geral, a maioria das plantas necessita apenas de uma pequena quantidade de Zn, porém, em concentrações críticas, abaixo do mínimo necessário, podem causar alterações fisiológicas. Isso ocorre porque o Zn está relacionado a uma série de processos fisiológicos (FURLANI, 2004).

A absorção de nutrientes pelas plantas depende do crescimento, eficiência das raízes e da disponibilidade de nutrientes no solo. De acordo com Moll et al. (1982) a eficiência de uso de nutrientes pode ser expressa pela relação entre a massa seca produzida por unidade de nutriente absorvida. A avaliação de eficiência de uso de nutrientes para a produção de massa (folhas, raiz e frutos) permite identificar cultivares mais eficientes no uso de nutrientes menos disponíveis no solo, como o boro e o zinco, sendo mais indicadas aquelas que produzem maior volume de massa seca e com maior produtividade, utilizando em seu metabolismo relativamente menores quantidades de nutrientes.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as eficiências de absorção, transporte e utilização de boro e zinco pelo algodoeiro em função das concentrações de boro, zinco e a interação entre os nutrientes em solução nutritiva.

METODOLOGIA

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Setor de Produção Vegetal da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), em Aquidauana-MS, de dezembro de 2009 a abril de 2010, cujas coordenadas geográficas são latitude 20°28'S, longitude 55°48'W e altitude de 174 metros. O clima da região é do tipo AW, tropical-quente sub-úmido (com estação chuvosa no verão e seca no inverno), segundo a classificação de Koppen.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com três repetições, em esquema fatorial 4x5, sendo quatro concentrações de boro (0, 20, 40 e 80 $\mu\text{M L}^{-1}$), aplicado na forma de ácido bórico, cinco concentrações de zinco (0, 1, 2, 4 e 8 $\mu\text{M L}^{-1}$), aplicado na forma de sulfato de zinco.

As unidades experimentais foram compostas por vasos plásticos com capacidade de três litros, preenchidos com areia lavada. Sementes de algodão cv. FiberMax 910 foram postas a germinar em bandejas com areia umedecida. Cinco dias após a emergência, por ocasião do aparecimento das folhas cotiledonares, foram transplantadas três plântulas para cada unidade experimental, onde receberam solução nutritiva de crescimento (Tabela 1), completa e diluída a 1/5 (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Aos 28 dias após a emergência realizou-se o desbaste deixando apenas uma planta em cada unidade experimental e iniciou-se a aplicação da solução nutritiva de acordo com o tratamento, sendo realizadas irrigações diárias com água deionizada. Na solução dos tratamentos com omissão de nutriente, as concentrações foram idênticas à solução completa, exceto quanto ao nutriente omitido.

Aos 115 dias após emergência, as plantas foram coletadas e divididas em raiz, parte aérea (caule e folhas) e frutos. Todo o material vegetal coletado foi lavado em solução de detergente a 3 mL L^{-1} , água corrente, solução de HCl a 0,1 mol L^{-1} e água deionizada, respectivamente. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 65°C, por 72 horas. Após a secagem do material vegetal, procedeu-se a moagem da massa seca em moinho tipo Wiley (peneira com diâmetro de malha de 1 mm), sendo então acondicionados em sacos plásticos, submetidos à digestão nítrico-perclórica e via seca, seguida da determinação dos teores e conteúdos de boro e zinco nas diferentes partes da planta. A quantificação do B total foi pelo método colorimétrico da azometina H e o Zn total em espectrômetro de absorção atômica utilizando a metodologia descrita em Malavolta et al. (1997). Calcularam-se as eficiências de absorção (conteúdo total de nutriente na planta (mg)/massa seca das raízes (g)); eficiência de transporte (conteúdo de nutriente na parte aérea (mg)/ conteúdo total de nutriente na planta (mg) x 100); e eficiência de utilização ((matéria seca total produzida (g))²/ conteúdo total nutrientes na planta (mg)) para boro e zinco.

Os dados de eficiência de absorção, transporte e utilização de boro e zinco foram submetidos à análise de variância, após os quais foram submetidos à análise de regressão múltipla com auxílio do pacote estatístico SAS®, pelo procedimento RSREG. As análises que apresentaram “ponto de sela” foram descartadas, sendo utilizados no modelo apenas os parâmetros cuja probabilidade de “t” foi menor que 0,05.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As eficiências de B (absorção, transporte e utilização - EAB, ETB e EUB) foram influenciadas por pelo menos um dos fatores (concentrações de B e/ou Zn na solução), enquanto que somente a eficiência de transporte de Zn (ETZn) foi influenciada pelas concentrações de B. A interação dos tratamentos foi observada para ETB e EUB (Tabela 2).

A EAB aumentou linearmente à medida que a concentração do nutriente foi aumentada na solução nutritiva (Figura 1a). A ETB foi influenciada positivamente pelo aumento da concentração de B em 0 $\mu\text{M L}^{-1}$ de Zn e negativamente em 8 $\mu\text{M L}^{-1}$ de Zn (Figura 1b). Isto reforça a afirmação que em ambientes com baixas e/ou elevadas concentrações de B o Zn auxilia na extração do B. Isto pode estar associado às estratégias que as plantas utilizam para se desenvolverem em substratos com baixas e altas concentrações de B, que consistem basicamente no efluxo de B, metabolismo antioxidante e deposição de lignina e suberina na raiz (CERVILLA et al. 2009a,b; RUIZ et al. 2006). A EUB foi influenciada positivamente pelo aumento da concentração de B em 0 $\mu\text{M L}^{-1}$ de Zn até a concentração de 40 $\mu\text{M L}^{-1}$ de B e 2 $\mu\text{M L}^{-1}$ de Zn, havendo efeito negativo nas concentrações mais elevadas dos nutrientes (Figura 1c). A eficiência de utilização do B oscilou entre 1,04 - 1,30 g de massa seca por miligrama de nutriente absorvido, caracterizando um importante diferencial que deve ser considerado na avaliação nutricional, pois mesmo que diferentes espécies vegetais apresentem capacidade similar na absorção de um determinado nutriente, pode ocorrer grande diferença entre elas na produção de massa seca, resultante de diferenças na eficiência de utilização desses elementos.

A ETZn foi positivamente influenciada pelas concentrações de B na solução nutritiva (Tabela 2). O aumento das concentrações de B na solução promoveram aumento significativo na eficiência de transporte do Zn (Figura 1d). O Zn é pouco móvel na planta (MALAVOLTA et al. 1997), sendo sua mobilidade melhorada com um bom suprimento deste elemento. De acordo com o apresentado na Figura 1d, as concentrações de B parecem melhorar esta mobilidade, podendo influenciar numa melhor nutrição de Zn em outros órgãos da planta (LÓPEZ-LEFEBRE et al., 2002). É possível que a absorção excessiva de ácido bórico diminua a acidez do citosol, que é extremamente bem regulado. Como consequência a planta produz malato para estabilizar o pH. Esse malato pode entrar no ciclo de Krebs, liberando citrato, ou reagir quelatar diretamente cátion Zn, auxiliando seu transporte no xilema e no floema da planta (MARSCHNER, 1995).

As concentrações de Zn na solução não influenciaram as eficiências de absorção e utilização do Zn. Resultados contrários foram obtidos por Fageria et al. (2010), que constataram influência das doses de Zn na absorção e na eficiência de uso de Zn pelo arroz irrigado; por Reis Júnior et al. (2002), que verificaram resposta significativa das concentrações de Zn na solução nutritiva sobre a eficiência

de absorção, translocação e utilização de Zn por dois cultivares de café; e por Grewal et al. (1997), que obtiveram resposta significativa de diferentes genótipos de canola e mostarda a eficiência de absorção, translocação e utilização do zinco, mostrando que a redistribuição do zinco foi superior em genótipos eficientes a absorção de zinco.

CONCLUSÃO

As eficiências de transporte e utilização de B são influenciadas pelas concentrações de B e Zn na solução, sendo que o B atua de maneira diferenciada em função do fornecimento de Zn. O suprimento de B afetou positivamente a eficiência de transporte de Zn no algodoeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CERVILLA, L. M.; ROSALES, M. A.; RUBIO-WILHELMI, M. M.; SANCHEZ-RODRIGUEZ, E.; BLASCO, B.; RIOS, J. J.; ROMERO, L.; RUIZ, J. M. Involvement of lignification and membrane permeability in the tomato root response to boron toxicity. **Plant Science**, v. 176, p. 545-552, 2009a.

CERVILLA, L.M.; ROSALES, M.A.; RUBIO-WILHELMI, M.M.; SANCHEZ-RODRIGUEZ, E.; BLASCO, B.; RIOS, J.J.; ROMERO, L.; RUIZ, J.M. Response of nitrogen metabolism to boron toxicity in tomato plants. **Plant Biology**, v.11, p.671-677, 2009b.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 2006. 403 p.

FAGERIA, N. K., SANTOS, A.B. Eficiência de Uso de Zinco em Arroz Irrigado. In: FERTBIO, 2010, Guarapari. **Anais...** Guarapari: Governo do Espírito Santo; 2010. 1 CD-ROM.

FURLANI, A. M. C. Nutrição mineral. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 1. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004, p. 40-75.

GREWAL, H. S. G., STANGOULIS, J. C. R., POTTER, T. D., GRAHAM, R. D. Zinc efficiency of oilseed rape (*Brassica napus* and *B. juncea*) genotypes. **Plant and Soil**, v. 191, p. 123-132, 1997.

LÓPEZ-LEFEBRE, L. R.; RIVERO, R. M.; GARCIA, P. C.; SANCHEZ, E.; RUIZ, J. M.; ROMERO, L. Boron effect on mineral nutrients of tobacco. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, n. 3, p. 509-522, 2002.

MARSCHNER, H. **Mineral nutritional of higher plants**. London: Academic, 1995. 889 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319 p.

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.

MOZAFAR, A. Boron effect on mineral nutrition of maize. **Agronomy Journal**, v. 81, p. 285-290, 1989.

REIS JUNIOR, R. A., MARTINEZ, H. E. P. Adição de Zn e absorção, translocação e utilização de Zn e P por cultivares de cafeeiro. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 3, p. 537-542, 2002.

RUIZ, J. M.; RIVERO, R. M.; ROMERO, L. Boron increases synthesis of glutathione in sunflower plants subjected to aluminum stress. **Plant and Soil**, v. 279, p. 25-30, 2006.

SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; CAMACHO, M. A. Determinação de faixas normais de nutrientes no algodoeiro pelos métodos CHM, CND e DRIS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 105-113, 2010.

SILVA, M. A. C; NATALE, W.; MALHEIROS, E. B.; PAVINATO, A. Estabelecimento e validação de normas DRIS para a cultura do algodão no centro-oeste do Brasil. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 1, p. 93-99, 2009.

Tabela 1. Composição da solução nutritiva utilizada no crescimento das plantas de algodão.

Sal	Solução estoque	Solução de crescimento
	mol L ⁻¹	mL L ⁻¹
KNO ₃	1	6,0
Ca(NO ₃).4H ₂ O	1	4,0
NH ₄ H ₂ PO ₄	1	2,0
MgSO ₄ .7H ₂ O	1	1,0
Fe-EDTA	0,2	1,0
KCl 0,05	0,05	1,0
H ₃ BO ₃	0,02	1,0
MnSO ₄ .H ₂ O	0,002	1,0
ZnSO ₄ .7H ₂ O	0,002	1,0
CuSO ₄ .5H ₂ O	0,0005	1,0
H ₂ MoO ₄ (85% MoO ₃)	0,0005	1,0

Tabela 2. Valores de probabilidade ($Pr > F$) e CV obtidos a partir do ajuste de regressão múltipla para eficiência de absorção do boro (EAB), eficiência de transporte do boro (ETB), eficiência de utilização do boro (EUB), eficiência de absorção do zinco (EAZn), eficiência de transporte do zinco (ETZn), eficiência de utilização do zinco (EUZn), em função das concentrações de boro e zinco na solução nutritiva.

Parâmetros da regressão	Pr > F					
	EAB	ETB	EUB	EAZn	ETZn	EUZn
B	0,0214	0,0522	0,0300	0,6999	0,2700	0,9343
Zn	0,1487	0,4785	0,0208	0,5626	0,1277	0,1208
B ²	0,0084	0,0293	0,0447	0,8000	0,0445	0,6128
Zn ²	0,4133	0,8356	0,0921	0,9268	0,0896	0,2789
BZn	0,0783	0,0052	0,0452	0,3809	0,8570	0,3802
CV (%)	25,83	13,97	25,69	20,39	40,34	25,02

*B: Boro; Zn: Zinco; CV: Coeficiente de variação.

* Negrito: probabilidade de "t" menor que 0,05.

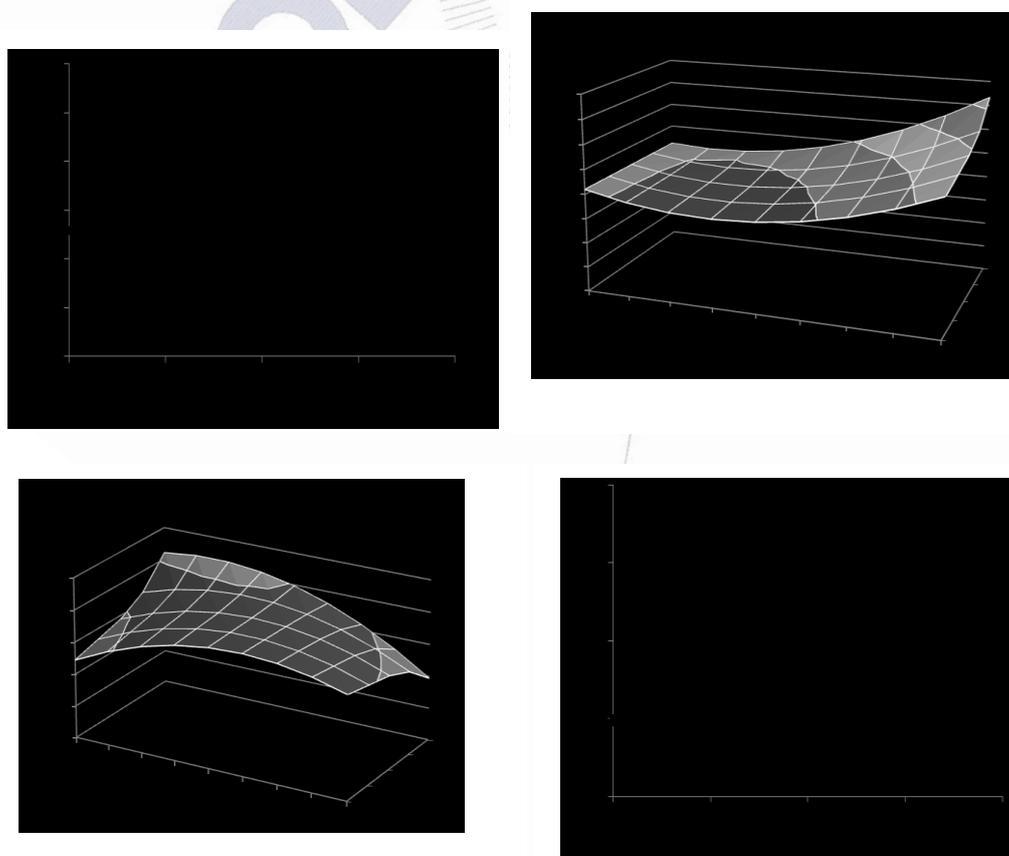


Figura 1. Eficiência de absorção do boro (a), transporte do boro (b) e utilização do boro (c) e eficiência de transporte do Zn (d) em resposta as concentrações de B e Zn na solução nutritiva.