

AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN (on line) 1981-0997

v.7, suplemento, p.720-727, 2012

Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br

DOI:10.5039/agraria.v7isa1848

Protocolo 1848 - 27/09/2011 • Aprovado em 14/07/2012

Érica de O. Araújo¹

Marcos A. C. da Silva²

Interação boro e zinco no crescimento, desenvolvimento e nutrição do algodoeiro

RESUMO

O presente trabalho propõe avaliar o efeito das concentrações de boro, zinco e a interação entre os nutrientes sobre o crescimento, desenvolvimento e nutrição do algodoeiro em cultivo hidropônico. 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 e separadas em raiz, parte aérea e frutos e só então submetidas à análise química. Os resultados permitiram concluir que a altura, o diâmetro caulinar, o número de estruturas reprodutivas e a espessura da casca da maçã de plantas de algodão são influenciados pelas concentrações de B enquanto a produção de massa seca do fruto, parte aérea e total, são influenciadas pelas concentrações de Zn. A interação B e Zn afetou a produção de sementes, o teor e o conteúdo de B na planta, a eficiência de transporte e a utilização de B, sendo que o B atua de maneira diferenciada, em função do fornecimento de Zn. O teor e o conteúdo de Zn no fruto do algodoeiro e a eficiência de transporte de Zn são influenciados pelo suprimento de B demonstrando uma relação sinérgica entre os nutrientes.

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

Boron and zinc interaction on growth, development and nutrition of cotton plants

ABSTRACT

This study had the objective to assess the effect of the concentration of boron, zinc, and the interaction between nutrients on the growth, development and nutrition of cotton in hydroponic cultivation. The experimental design used was completely randomized with three replications, in 4x5 factorial scheme with four boron concentrations (0, 20, 40 and 80 $\mu\text{M L}^{-1}$) and five concentrations of zinc (0, 1, 2, 4 and 8 $\mu\text{M L}^{-1}$). Cotton plants were cultivated in a greenhouse, with a complete nutrient solution for 28 days, after which received modified nutrient solution in accordance with the treatment. At 115 days after emergence, the plants were harvested and separated into shoots, root and fruit and submitted to chemical analysis. The results led to the conclusion that the height, stem diameter, number of reproductive structures and the thickness of the bark of boll of cotton plants are influenced by concentrations of B, while production of the dry mass of fruit, shoot and total are influenced by zinc concentrations. B and Zn interaction affected the production of seeds, the content and accumulation of B in the plant, transport efficiency and use of B, however, it acts differently depending on the supply of Zn. The content and the accumulation of Zn in the fruit of the cotton and transport efficiency of Zn are influenced by supply of B, showing a synergistic relationship between nutrients.

Key words: *Gossypium hirsutum* L., micronutrientes, nutrient solution

¹ Universidade Federal da Grande Dourados, Faculdade de Ciências Agrárias, Rodovia Dourados/Itahum, Km 12, Cidade Universitária, CEP 79804-970, Dourados-MS, Brasil. Caixa Postal 533. Fone: (67) 3410-2357. E-mail: ericabb25@uol.com.br

² Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Laboratório de Nutrição de Plantas, Rodovia Aquiaiana/Piraputanga, Km 12, CEP 79200-000, Aquidauana-MS, Brasil. Caixa Postal 25. Fone: (67) 3904-2937. E-mail: camachom@uems.br

INTRODUÇÃO

O B e o Zn são os dois micronutrientes que mais limitam o rendimento das culturas no Brasil e causam maiores problemas à cotonicultura (Malavolta, 2006). Embora sejam requeridos em quantidades relativamente diminutas em condições de alta deficiência, afetam de maneira expressiva o crescimento e o desenvolvimento da planta.

O boro (B) está diretamente ligado ao crescimento meristemático, à biossíntese da parede celular, no funcionamento da membrana celular, no transporte de auxinas (AIA) e no metabolismo de carboidrato. As funções deste micronutriente são fundamentais para os tecidos meristemáticos; conseqüentemente, a deficiência de B é predominantemente prejudicial nos tecidos vegetais em crescimento (Tariq & Mott, 2007).

O zinco (Zn) faz parte da composição de inúmeras enzimas além de manter a integridade estrutural da membrana celular. A maioria das enzimas que possuem zinco em sua composição está envolvida na regulação da transcrição do DNA, na síntese e no transporte de RNA. A deficiência de zinco também reduz a fotossíntese líquida vegetal por perturbar a atividade de enzimas envolvidas na fixação de carbono (Hansch & Mendel, 2009).

A interação B e Zn foi claramente comprovada através da demonstração desses elementos em numerosos processos bioquímicos e fisiológicos da planta (Hosseini et al., 2007). As interações nutricionais interferem na composição mineral da planta podendo um elemento estimular ou inibir a absorção de outros elementos. Essas relações são muito variáveis podendo ocorrer no interior das células ou na rizosfera (Mengel & Kirkby, 2001).

A diminuição dos teores de zinco em função do aumento da concentração de boro foi relatada para folhas de tabaco (López-Lefebvre et al., 2002) e no milho (Mozafar, 1989; Hosseini et al. (2007) enquanto a interação positiva desses dois micronutrientes foi apresentada para a raiz de tabaco (López-Lefebvre et al., 2002) e por outras culturas (Grewal et al., 1998).

A absorção de nutrientes pelas plantas depende do crescimento, da 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 B e Zn.

Diante do exposto o presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito das concentrações de boro e zinco e a interação entre os nutrientes sobre o crescimento, desenvolvimento e nutrição do algodoeiro em cultivo hidropônico.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Setor de Produção Vegetal da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 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 subúmido (com estação chuvosa no verão e seca no inverno) segundo a classificação de Köppen.

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 e 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 de quartzo lavada e esterilizada. Sementes de algodão cv. FiberMax 910 foram postas a germinar em bandejas com areia umedecida. Cinco dias após a emergência, por ocasião do aparecimento da folhas cotiledonares, foram transplantadas três plântulas para cada unidade experimental, as quais receberam solução nutritiva de crescimento, completa e diluída a 1/5 (Epstein & Bloom, 2006). Aos 28 dias após a emergência realizou-se o desbaste deixando-se apenas uma planta em cada unidade experimental e se iniciou a aplicação da solução nutritiva, de acordo com o tratamento, sendo realizadas irrigações três vezes ao dia com água deionizada. Na solução dos tratamentos com omissão de nutriente as concentrações foram idênticas à solução completa, exceto quanto ao nutriente omitido.

A solução nutritiva apresentou a seguinte composição: 6,0 mL de KNO_3 1 mol L^{-1} ; 4,0 mL de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 1 mol L^{-1} ; 2,0 mL de $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 1 mol L^{-1} ; 1,0 mL de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1 mol L^{-1} ; 1,0 mL de Fe-EDTA 0,2 mol L^{-1} ; 1,0 mL de KCl 0,05 mol L^{-1} ; 1,0 mL de H_3BO_3 0,02 mol L^{-1} ; 1,0 mL de $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0,002 mol L^{-1} ; 1,0 mL de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,002 mol L^{-1} ; 1,0 mL $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0,0005 mol L^{-1} ; 1,0 mL H_2MoO_4 (85% MoO_3) 0,0005 mol L^{-1} .

As determinações de altura, diâmetro caulinar, número de folhas e número de estruturas reprodutivas por planta de algodão, foram realizadas aos 115 dias após a emergência. A altura das plantas foi obtida do colo da planta até o ápice apical, utilizando-se uma régua graduada; o diâmetro caulinar foi obtido com o auxílio de paquímetro digital, na proximidade do colo da planta; o número de folhas e o número de estruturas reprodutivas por planta foram quantificados pela contagem de todas as folhas e estruturas reprodutivas formadas nas plantas em cada unidade experimental.

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 secadas em estufa com circulação forçada de ar na temperatura de 65°C, por 72 horas. Após a secagem do material vegetal, procedeu-se à pesagem e moagem da massa seca em moinho tipo Wiley, sendo então acondicionados em sacos plásticos submetidos a digestão nítrico-perclórica e digestão via seca, seguidas da determinação dos teores de B e Zn nas diferentes partes da planta. A quantificação do B total foi realizada pelo método colorimétrico da azometina H e o Zn total em espectrômetro

de absorção atômica utilizando-se 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)] (Swiader et al., 1994); eficiência de transporte [conteúdo de nutriente na parte aérea (mg)/ conteúdo total de nutriente na planta (mg) x 100] (Li et al., 1991) e eficiência de utilização [(matéria seca total produzida (g)²/ conteúdo total nutrientes na planta (mg)] (Siddiqi & Glass, 1981) para boro e zinco.

Os dados foram submetidos à análise de variância e em seguida 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

Foi significativa a resposta das concentrações de B para altura de plantas, diâmetro caulinar, número de estruturas reprodutivas e eficiência de absorção de B (Tabelas 1 e 2). As concentrações de Zn na solução nutritiva afetaram a massa seca da maçã, massa seca total da parte aérea e massa seca total (Tabela 1). A interação entre os tratamentos B e Zn afetou a produção de sementes, o teor de B na parte aérea, o conteúdo de B na parte aérea, eficiência no transporte de B e a eficiência de utilização de B (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Coeficiente de variação (CV) e p-valor para o efeito de B, Zn e sua interação no crescimento e desenvolvimento do algodoeiro

Table 1. Coefficient of variation (CV) and p-value for the effect of B, Zn and their interaction on cotton growth and development

Parâmetros	CV (%)	p-valor		
		B	Zn	B x Zn
Altura de plantas	9,57	0,028*	0,108	0,208
Diâmetro caulinar	3,40	0,004*	0,064	0,342
Número de folhas	20,70	0,786	0,173	0,249
Número de estruturas reprodutivas	29,07	0,042*	0,366	0,285
Massa seca da raiz	20,44	0,976	0,708	0,357
Massa seca da parte aérea	9,44	0,936	0,549	0,235
Massa seca da maçã	18,66	0,166	0,016*	0,263
Massa seca total da parte aérea	7,44	0,186	0,002*	0,531
Massa seca total	8,16	0,423	0,028*	0,263
Altura da maçã	9,00	0,659	0,069	0,153
Diâmetro da maçã	7,91	0,284	0,254	0,274
Espessura da casca da maçã	5,21	0,053*	0,289	0,185
Número de sementes	7,76	0,001*	0,010*	0,009*

* Probabilidade de “t” menor que 0,05

A altura, o diâmetro caulinar e o número de estruturas reprodutivas das plantas de algodão aumentaram com o aumento das concentrações de B na solução nutritiva (Figura 1A, 1B e 1C) ficando evidente a ligação direta do nutriente ao desenvolvimento da planta controlando a produção de importantes reguladores de crescimento. Esses resultados são concordantes com os encontrados por Marinho et al. (2009) em plantas de algodão e por Barreto et al. (2007) em eucalipto.

As concentrações de zinco promoveram aumento quadrático significativo na produção de massa seca da parte aérea, frutos e total, em que a máxima produção foi obtida na concentração de 8 µM L⁻¹ de Zn (Figura 1D, 1E e 1F).

Tabela 2. Coeficiente de variação (CV) e p-valor para o efeito de B, Zn e sua interação no teor, conteúdo, eficiência de absorção, transporte e utilização de B e Zn

Table 2. Coefficient of variation (CV) and p-value for the effect of B, Zn and their interaction on the content, accumulation, absorption efficiency, transport and utilization of B and Zn

Parâmetros	CV (%)	p-valor		
		B	Zn	B x Zn
Teor de B na parte aérea	24,21	0,001*	0,101	0,020*
Teor de B na raiz	24,13	0,880	0,887	0,508
Teor de B na maçã	23,33	0,412	0,625	0,198
Conteúdo de B na parte aérea	24,67	0,001*	0,112	0,006*
Conteúdo de B na raiz	25,21	0,960	0,907	0,155
Conteúdo de B na maçã	27,70	0,167	0,122	0,577
Eficiência de absorção de B	25,83	0,021*	0,148	0,078
Eficiência de transporte de B	13,97	0,052	0,478	0,005*
Eficiência de utilização de B	25,69	0,030*	0,020*	0,045*
Teor de Zn na parte aérea	33,19	0,620	0,129	0,832
Teor de Zn na raiz	26,11	0,553	0,981	0,448
Teor de Zn na maçã	29,39	0,119	0,860	0,734
Conteúdo de Zn na parte aérea	32,11	0,543	0,145	0,865
Conteúdo de Zn na raiz	33,11	0,587	0,917	0,984
Conteúdo de Zn na maçã	32,69	0,284	0,202	0,921
Eficiência de absorção de Zn	20,39	0,699	0,562	0,380
Eficiência de transporte de Zn	40,34	0,270	0,127	0,857
Eficiência de utilização de Zn	25,02	0,934	0,120	0,380

* Probabilidade de “t” menor que 0,05

As concentrações de B exerceram efeito linear positivo e significativo na espessura da casca da maçã (Figura 2A). Tal observação pode ser explicada pela característica que o elemento possui em participar do metabolismo ou incorporação do cálcio na parede celular auxiliando sua deposição na formação dos pectatos (Yamauchi et al. 1986). A produção de sementes foi afetada positivamente pela interação B e Zn respondendo linearmente ao aumento da concentração dos nutrientes (Figura 2B). Resultados semelhantes foram encontrados por Lima (2006) em que a produção de sementes de gergelim foi afetada significativamente pela interação entre B e Zn. Hosseini et al. (2007) relataram interação significativa entre B e Zn no crescimento de plantas de milho, com efeito sinérgico entre os nutrientes.

O teor e o conteúdo de B na parte aérea foram influenciados pelas concentrações de Zn na solução, de maneira que as maiores concentrações de Zn na solução nutritiva proporcionaram maior absorção e extração de B pelas plantas de algodão (Figura 3A e 3B). Porém tais absorção e extração de B pela planta foram influenciadas de maneira diferente pelas concentrações de B sendo que o teor e conteúdo de B na parte aérea se apresentaram mais elevados no tratamento testemunha, sem B, reduzindo com o aumento das concentrações de B e aumentando na concentração mais elevada do nutriente na solução nutritiva, similar aos resultados encontrados por López-Lefebvre et al. (2002) e Mattiello et al. (2009a,b). Isto sugere que o Zn possa auxiliar numa absorção maior e extração de B em ambientes nos quais este micronutriente esteja em baixa e/ou elevadas concentrações. Sinha et al. (2000) observaram interação sinérgica entre B e Zn em mostarda, quando ambos os nutrientes estavam em baixa ou excessiva concentração.

O teor e o conteúdo de Zn foram alterados apenas na maçã do algodoeiro em função das concentrações de B. As concentrações de B na solução nutritiva promoveram aumento

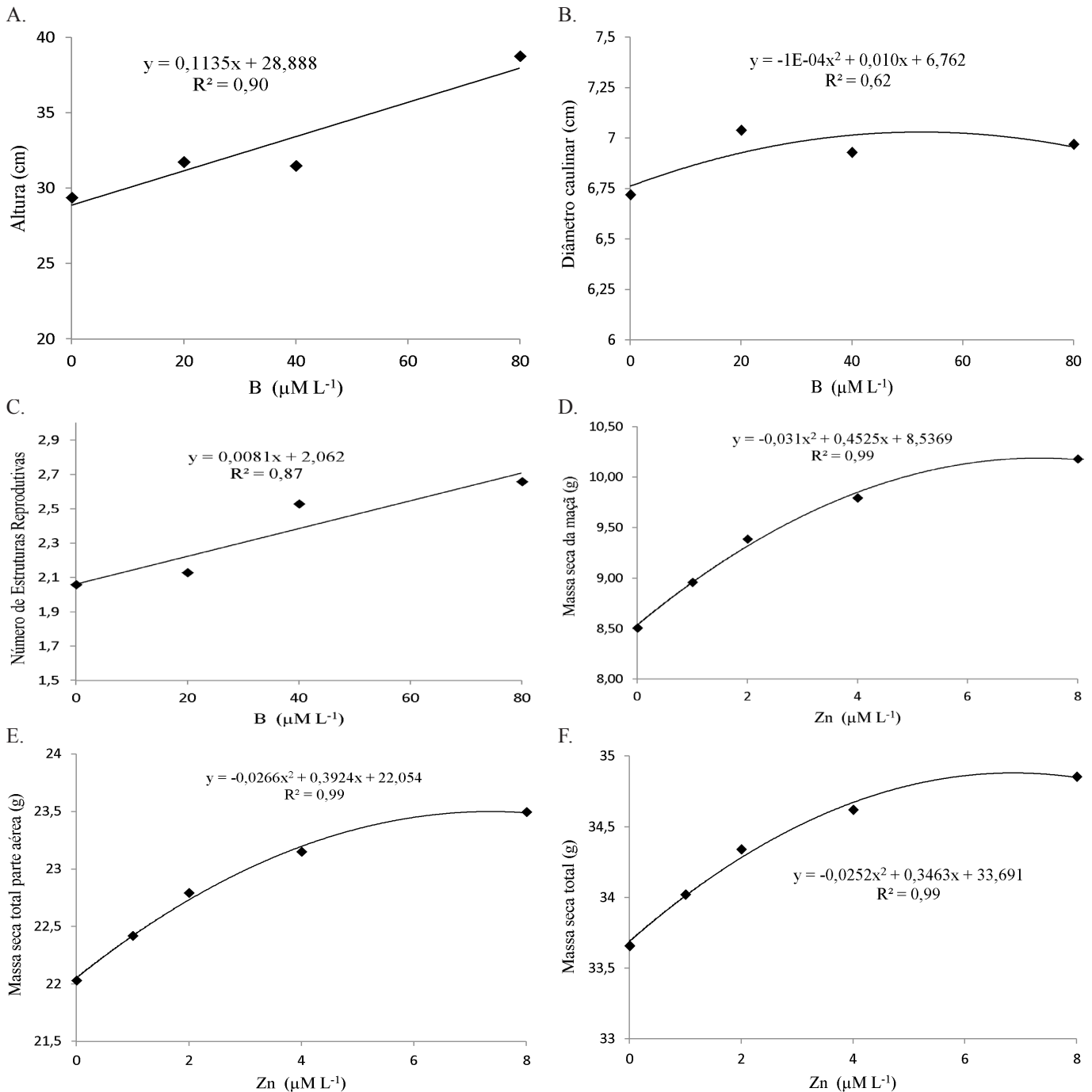


Figura 1. Altura (A), diâmetro caulinar (B), número de estruturas reprodutivas (C), massa seca da maçã (D), massa seca total da parte aérea (E) e massa seca total (F) de plantas de algodão em resposta às concentrações de boro e zinco na solução nutritiva

Figure 1. Plant height (A) stem diameter (B), number of reproductive structures (C), dry mass of the boll (D) dry mass of shoot (E) and total dry mass (F) of cotton plant in response to the concentration of boron and zinc in the nutrient solution

linear significativo no teor e no conteúdo de Zn nos frutos de algodão (Figura 3C e 3D). Este efeito é um sinergismo pois a maior concentração de B na solução proporcionou maior quantidade de Zn nas maçãs. Este mesmo fenômeno também foi relatado para a cultura do tabaco, cujo aumento da concentração de B proporcionou aumento no teor de Zn na raiz (López-Lefebvre et al. 2002). Esses autores relatam que a resposta de Zn em função das concentrações de B depende do órgão analisado, visto que para as folhas de tabaco o efeito relatado foi o inverso, ou seja, diminuição dos teores

de Zn em função das concentrações de B. Ziaeyan & Rajaie (2009) também observaram diminuição na concentração de Zn em folha de milho com o aumento das concentrações de B. As diferentes respostas podem ser em função dos órgãos analisados e em função da espécie analisada (Mozafar, 1989; Grewal et al. 1998).

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 somente a eficiência de transporte de Zn (ETZn) foi

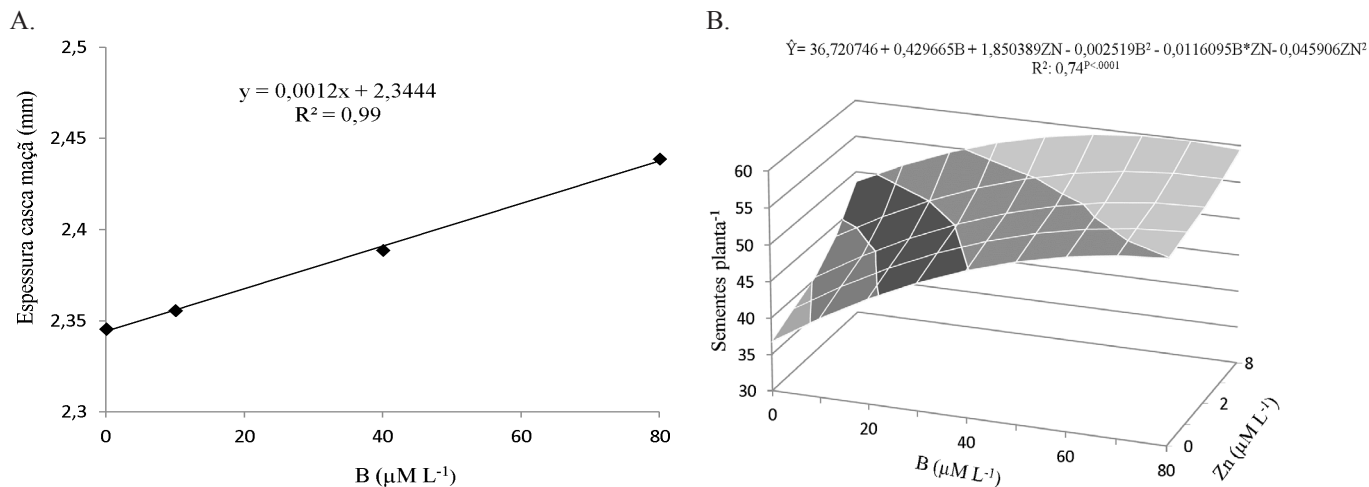


Figura 2. Espessura da casca da maçã e produção de sementes (f) por plantas de algodão em resposta às concentrações de boro e zinco na solução nutritiva

Figure 2. Thickness of the boll bark (A) and seed production (B) of cotton plants in response to the concentration of boron and zinc in the nutrient solution

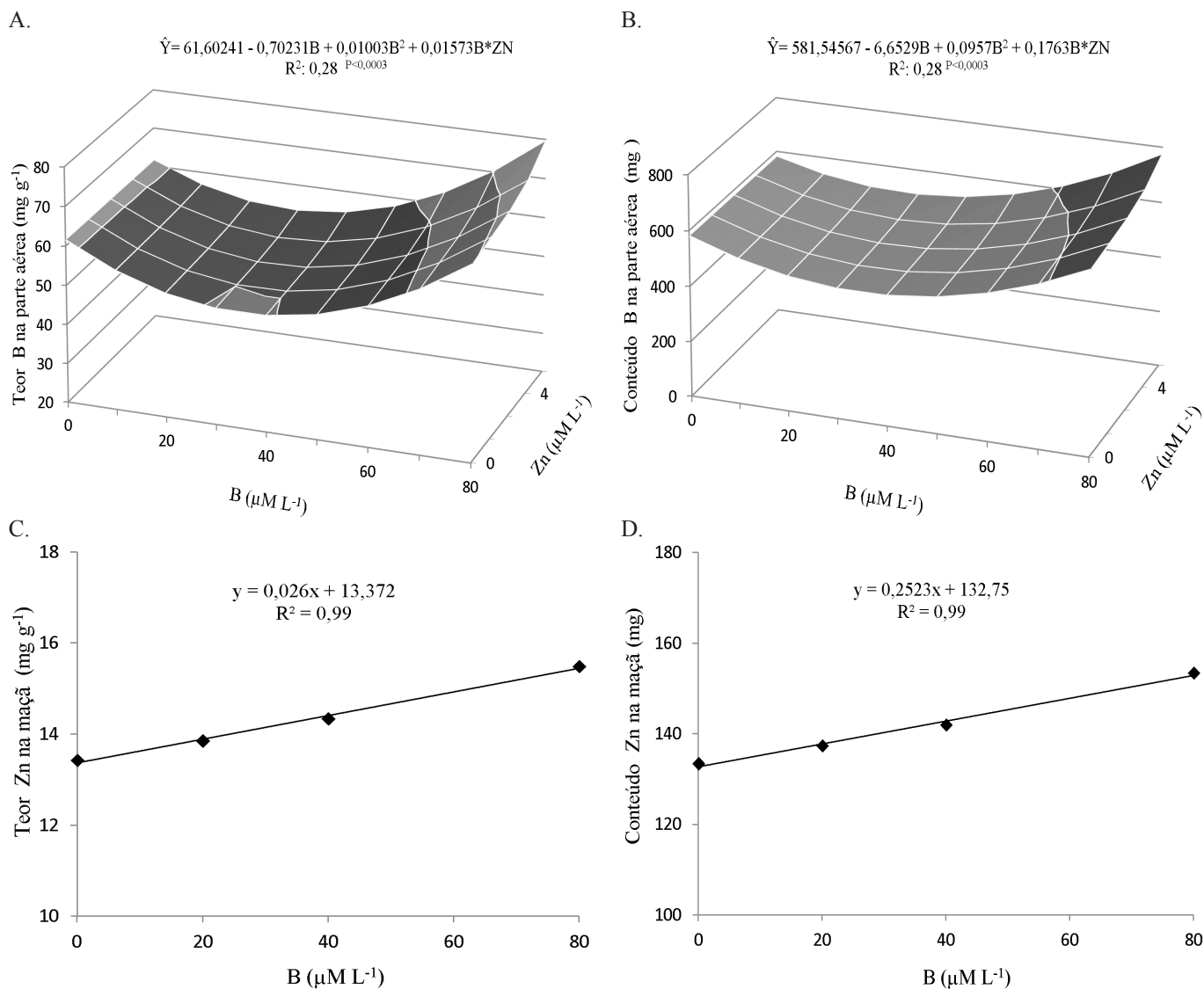


Figura 3. Teor de B na parte aérea (A), conteúdo de B na parte aérea (B), teor de Zn na maçã (C) e conteúdo Zn na maçã (D) do algodoeiro em resposta às concentrações de boro e zinco na solução nutritiva

Figure 3. Boron content in shoot (A), boron accumulated in shoot (B) zinc content in boll (C) and zinc accumulated in boll (D) of cotton plant in response to the concentration of boron and zinc in the nutrient solution

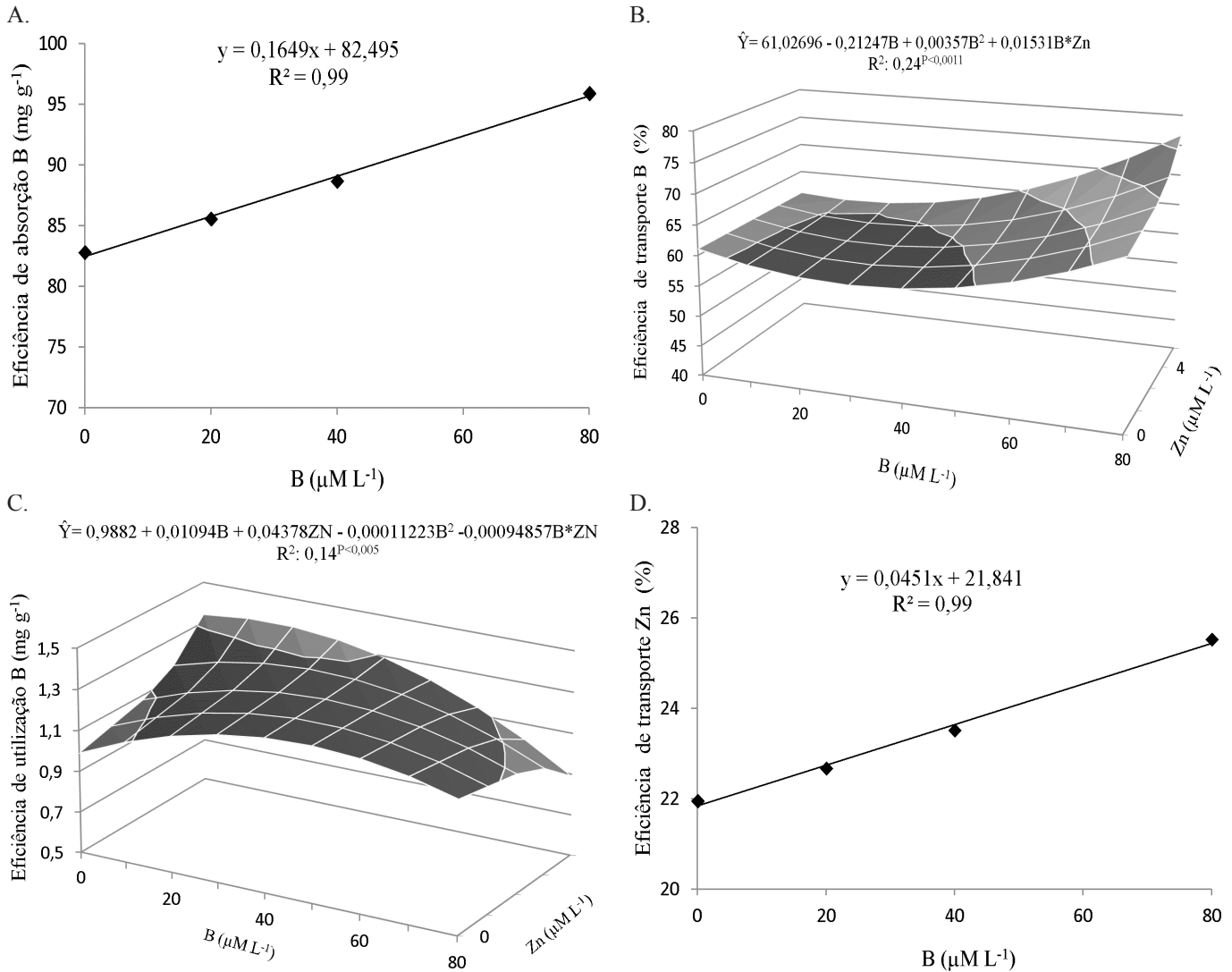


Figura 4. Eficiência de absorção (A), transporte (B), utilização (C) de B e eficiência de transporte de Zn (D) pelo algodoeiro, em resposta às concentrações de boro e zinco na solução nutritiva

Figure 4. Efficiency of uptake (A), transport (B) and utilization (C) of B and efficiency of transport of Zn (D) by cotton in response to boron and zinc concentration in the nutrient solution

influenciada pelas concentrações de B (Tabela 2). A interação dos tratamentos foi observada para ETB e EUB (Tabela 2).

A EAB aumentou sempre que a concentração do nutriente foi aumentada na solução nutritiva (Figura 4A). 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 4B). Isto reforça a afirmação de 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 (Ruiz et al. 2006; Cervilla et al. 2009a,b). 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 4C).

O aumento das concentrações de B na solução promoveu aumento significativo na eficiência de transporte do Zn

(Figura 4D). O Zn é pouco móvel na planta (Malavolta, 2006) sendo sua mobilidade melhorada com um bom suprimento deste elemento. De acordo com o apresentado na Figura 8d, as concentrações de B parecem melhorar esta mobilidade podendo influenciar numa nutrição melhor de Zn, em outros órgãos da planta (López-Lefebre et al. 2002). É provável que a absorção excessiva de ácido bórico diminua a acidez do citosol e, como consequência, a planta produz malato para estabilizar o pH. Este 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 (Tabela 2). Resultados contrários obtiveram Fageria et al. (2010) ao constatarem influência das doses de Zn na absorção e na eficiência de uso de Zn pelo arroz irrigado e 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.

CONCLUSÕES

A altura, o diâmetro caulinar, o número de estruturas reprodutivas e a espessura da casca da maçã de plantas de algodão, são influenciados pelas concentrações de B, enquanto a produção de massa seca do fruto, parte aérea e total, são influenciadas pelas concentrações de Zn.

A interação B e Zn afeta a produção de sementes, o teor e o conteúdo de B na planta, a eficiência de transporte e a utilização de B, sendo que o B atua de maneira diferenciada em função do fornecimento de Zn. A dose de 40 $\mu\text{M L}^{-1}$ de B e 2 $\mu\text{M L}^{-1}$ de Zn pode ser considerada a mais recomendada.

O teor e o conteúdo de Zn no fruto do algodoeiro e a eficiência de transporte de Zn são influenciados pelo suprimento de B, demonstrando uma relação sinérgica entre os nutrientes.

LITERATURA CITADA

- Barreto, V. C. M.; Silveira, R. L. V. A.; Takahashi, E. N. Eficiência de uso de boro no crescimento de clones de eucalipto em vasos. *Scientia Florestalis*, n.76, p.21-33, 2007. <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr76/cap02.pdf>>. 10 Set. 2010.
- 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, n.4, p.545-552, 2009a. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168945209000181>>. 13 Dec. 2010. doi:10.1016/j.plantsci.2009.01.008.
- 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, n.5, p.671-677, 2009b. <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1438-8677.2008.00167.x/full>>. 13 Dec. 2010. doi:10.1111/j.1438-8677.2008.00167.x.
- Epstein, E.; Bloom, A. J. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.
- 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. CD Rom.
- Grewal, H. S. G.; Graham, R. D.; Stangoulis, J. Zinc-boron interaction effects in oilseed rape. *Journal Plant Nutrition*, v.21, n.10, p.2231-2243, 1998. <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904169809365557#prview>>. 13 Dec. 2010. doi:10.1080/01904169809365557.
- Hansch, R.; Mendel, R. R. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology*, v.12, n.3, p.259-266, 2009. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369526609000429>>. 20 Jun. 2012. doi:10.1016/j.pbi.2009.05.006.
- Hosseini, S. M.; Maftoun, M.; Karimian, N.; Ronaghi, A.; Emam, Y. Effect of Zinc x Boron interaction on plant growth and tissue nutrient concentration of corn. *Journal of Plant Nutrition*. v.30, n.5, p.773-781, 2007. <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904160701289974>>. 15 May. 2011. doi:10.1080/01904160701289974.
- Li, B.; Mckeand, S. E.; Allen, H. L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. *Forest Science*, v.37, n.2, p.613-626, 1991. <<http://www.ingentaconnect.com/content/saf/fs/1991/00000037/00000002/art00015>>. 20 Jun. 2011.
- Lima, V. I. Crescimento e produção de gergelim cv. G3 em função de zinco e boro. Areia: Universidade Federal da Paraíba, 2006. Dissertação Mestrado. <<http://www.cca.ufpb.br/ppga/pdf/mestrado/Valdemir-ms2006.pdf>>. 17 Dez. 2011.
- López-Lefebvre, 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. <<http://hera.ugr.es/doi/15003292.pdf>>. 15 Jan. 2011. doi:10.1081/PLN-120003379.
- Malavolta, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Ceres, 2006. 638 p.
- Malavolta, E.; Vitti, C. G.; Oliveira, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Potafos, 1997, 319p.
- Marinho, J. F.; Hiraki, S. S.; Furlani Junior, E.; Ferrari, J. V.; Neves, D. C.; Sardelli, A. P. Crescimento vegetativo do algodoeiro submetido à adubação de boro em região de cerrado. In: *Congresso Brasileiro do Algodão*, 7., 2009, Foz do Iguaçu. Sustentabilidade da cotonicultura Brasileira e Expansão dos Mercados: Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, 2009. p.1885-1891.
- Marschner, H. Mineral nutritional of higher plants. London: Academic Press, 1995. 889p.
- Matiello, E. M.; Ruiz, H. A.; Silva, I. V.; Barros, N. F.; Neves, J. C. L.; Behling, M. Transporte de boro no solo e sua absorção por eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.1281-1290, 2009b. <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832009000500021&script=sci_abstract&tlng=pt>. 13 Dez. 2010. doi:10.1590/S0100-06832009000500021.
- Matiello, E. M.; Ruiz, H. A.; Silva, I. V.; Guerra, P. C.; Andrade, V. M. Características fisiológicas e crescimento de clones de eucalipto em resposta ao boro. *Revista Árvore*, v.33, n.5, p.821-830, 2009a. <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622009000500005>. 13 Dez. 2010. doi:10.1590/S0100-67622009000500001.
- Mengel, K.; Kirhby, E. Principles of plant nutrition. 5.ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.
- Moll, R. H.; Kamprath, E. J.; Jackson, W. A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal*, v.74, n.3, p.562-564, 1982. <https://www.soils.org/publications/aj/abstracts/74/3/AJ0740030562_21>. 18 Nov. 2010. doi:10.2134/agronj1982.00021962007400030037x.
- Mozafar, A. Boron effect on mineral nutrition of maize. *Agronomy Journal*, v.81, p.285-290, 1989. <<https://www.agronomy.org/publications/aj/abstracts/81/2/AJ0810020285>>. 18 Nov. 2011. doi:10.2134/agronj1989.0021962008100020029x.

- Reis Junior, R. A.; Martinez, H. E. P. Adição de Zn e absorção, translocação e utilização de Zn e P por cultivares de café. *Scientia Agricola*, v.59, n.3, p.537-542, 2002. <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162002000300019&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. 13 Dez. 2010. doi:10.1590/S0103-90162002000300019.
- 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, n.1-2, p.25-30, 2006. <<http://www.springerlink.com/content/e46r62j055n72780>>. 10 May. 2011. doi:10.1007/s11104-005-7931-4.
- Siddiqi, M. Y.; Glass, A. D. M. Utilisation index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *Journal of Plant Nutrition*, v.4, p.289-302, 1981. <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904168109362919>>. 28 Jul. 2011. doi:10.1080/01904168109362919.
- Sinha, P.; Jain, R.; Chatterjee, C. Interactive effect of boron and zinc on growth and metabolism of mustard. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.31, n.1, p.41-49, 2000. <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00103620009370419#preview>>. 10 May. 2011. doi:10.1080/00103620009370419.
- Swiader, J. M.; Chyan, Y.; Freiji, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. *Journal Plant Nutrition*, v.17, n.10, p.1687-1699, 1994. <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904169409364840>>. 12 May. 2011. doi:10.1080/01904169409364840.
- Tariq, M.; Mott, C. J. B. Effect of Boron on the behavior of nutrients in soil-plant systems – A Review. *Asian Journal of Plant Sciences*, v.6, n.1, p.195-202, 2007. <<http://www.scialert.net/abstract/?doi=ajps.2007.195.202>>. 10 May. 2011. doi:10.3923/ajps.2007.195.202.
- Yamauchi, T.; Hara, T.; Sonoda, Y. Effects of boron deficiencies and calcium supply on the calcium metabolism in tomato plant. *Plant and Soil*, v.93, n.2, p.223-231, 1986. <<http://www.springerlink.com/content/p61004237565478n>>. 17 Jun. 2010. doi:10.1007/BF02374224.
- Ziaeyan, A. H.; Rajaie, M. Combined effect of zinc and boron on yield and nutrients accumulation in corn. *International Journal of Plant Production*, v.3, n.3, p.35-44, 2009. <http://ijpp.gau.ac.ir/?_action=articleInfo&article=650>. 13 Dec. 2010.