

Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN: 1981-1160

agrarias.prppg@ufrpe.br

Universidade Federal Rural de

Pernambuco

Brasil

Araújo, Érica de O.; dos Santos, Elcio F.; Camacho, Marcos A.

Absorção de cálcio e magnésio pelo algodoeiro cultivado sob diferentes concentrações de boro e zinco

Revista Brasileira de Ciências Agrárias, vol. 8, núm. 3, 2013, pp. 383-389

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Pernambuco, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=119028125005>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## Absorção de cálcio e magnésio pelo algodoeiro cultivado sob diferentes concentrações de boro e zinco

Érica de O. Araújo<sup>1</sup>, Elcio F. dos Santos<sup>2</sup> & Marcos A. Camacho<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal da Grande Dourados, Faculdade de Ciências Agrárias, Rodovia Dourados/Itahum, km 12, Caixa Postal 533, Cidade Universitária, CEP 79804-970, Dourados-MS, Brasil. E-mail: ericabb25@uol.com.br

<sup>2</sup> Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, Av. Centenário, nº 303, Caixa Postal 96, CEP 13400-970, Piracicaba-SP, Brasil. E-mail: elcio\_f2@hotmail.com

<sup>3</sup> Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Laboratório de Nutrição de Plantas, Rod. Aquidauana/Piraputanga, km 12, Caixa Postal 25, Zona Rural, CEP 79200-000, Aquidauana-MS, Brasil. E-mail: camacho@uemms.br

### RESUMO

Muitas espécies e mesmo variedades de plantas, diferem em suas respostas quanto à disponibilidade de nutrientes no meio de cultivo, cujas causas residem nas diferenças de capacidade de absorção e de utilização dos nutrientes. Informações sobre o efeito do suprimento de B e Zn sobre a absorção, o acúmulo e a eficiência no uso de outros nutrientes por plantas de algodão, ainda são muito limitadas. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito das concentrações de B e Zn no teor, acúmulo e eficiência de uso de Ca e Mg pelo algodoeiro cultivado 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 a emergência as plantas foram coletadas, divididas em raiz, parte aérea e frutos, e submetidas à análise química. Os resultados permitiram concluir que o conteúdo de Ca na raiz e o conteúdo de Mg na raiz e no fruto do algodoeiro são influenciados pelas concentrações de B. O teor e o conteúdo de Ca na parte aérea são influenciados pelas concentrações de Zn na solução nutritiva. A interação B e Zn afetou o teor de Ca na raiz, o teor e o conteúdo de Mg na parte aérea e no fruto, bem como as eficiências de absorção, transporte e utilização de Ca e Mg pelo algodoeiro.

**Palavras-chave:** eficiência nutricional, *Gossypium hirsutum* L., interação

## *Absorption of calcium and magnesium by the cotton plant grown under different boron and zinc concentrations*

### ABSTRACT

Many species and varieties of plants differ in their responses to nutrient availability in the growth medium. The causes of this difference reside in the capacity for absorption and utilization of nutrients. Information about the effect of supply of B and Zn on concentration, uptake, transport and use efficiency of other nutrients in plants of cotton are still very limited. This study aimed to evaluate the effect of B and Zn concentrations in nutrient contents, accumulation and efficiency of use of Ca and Mg by cotton grown in the nutrient solution. The experimental was conducted in completely randomized design, with three replications, in 4 x 5 factorial arrangement with four doses of boron (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 green house, with complete nutrient solution for 28 days, after which received modified nutrient solution in accordance with the treatment. To 115 days after emergence, the plants were harvested, divided into root, shoot and fruit, and subjected to chemical analysis. The results led to the conclusion that the content of Ca in the root, the contents of Mg in the root and the fruit of the cotton plant are influenced by concentrations of B. The content and accumulation of Ca in the shoot are influenced by Zn concentration in the nutrient solution. B and Zn interaction affected the content of Ca in the root, the Mg content in shoot and in fruit, as well as the efficiencies of absorption, transport and use of Mg and Ca by cotton.

**Key words:** nutritional efficiency, *Gossypium hirsutum* L., interaction

## Introdução

A cotonicultura se tem destacado como uma das principais atividades agrícolas no Brasil. A expansão da produção de algodão para áreas de baixa fertilidade natural e a utilização de genótipos mais produtivos, exigem uma compreensão da dinâmica de micronutrientes na cultura. Dentre os micronutrientes o boro (B) e o zinco (Zn) são os que causam maiores problemas à cultura do algodoeiro. Embora sejam requeridos em quantidades relativamente diminutas, em condições de alta deficiência deprimem de maneira expressiva, a produtividade da planta (Freire, 2007).

O B está diretamente ligado ao crescimento meristemático, à biossíntese da parede celular, ao funcionamento da membrana celular, ao transporte de auxinas (AIA) e ao metabolismo de carboidrato. As funções deste micronutriente são fundamentais para os tecidos meristemáticos; consequentemente, a deficiência de boro é predominantemente prejudicial nos tecidos vegetais em crescimento (Tariq & Mott, 2007).

O 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 por Hosseini et al. (2007), através da demonstração desses elementos em numerosos processos bioquímicos e fisiológicos em plantas de milho. 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).

Poucos estudos, no entanto, tratam a relação entre B e Zn e o restante dos nutrientes, como o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg). O Ca é indispensável para a germinação do grão de polen e crescimento do tubo polínico. É componente da parede celular e também exerce importante papel na absorção iônica. As funções do Mg nas plantas estão relacionadas sobretudo com sua capacidade de compor a molécula de clorofila, e é importante ativador enzimático (Vitti et al., 2006).

Dursun et al. (2009) observaram efeito negativo nos teores de Ca e Mg em pimenta, pepino e tomate, com o aumento de doses de B no solo. Em relação ao Zn, Natale et al. (2002) relataram, inicialmente, um acréscimo e, depois, uma redução no acúmulo de Ca e Mg em mudas de goiabeira, em função do incremento nas doses de Zn aplicadas ao solo. Informações relativas ao efeito do suprimento de B e Zn sobre a absorção, o acúmulo e a eficiência no uso de outros nutrientes por plantas de algodão, ainda são muito limitados. Objetivou-se, então, com o presente trabalho, avaliar o efeito das concentrações de B e Zn no teor, acúmulo e eficiência de uso de Ca e Mg pelo algodoeiro cultivado em solução nutritiva.

## 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 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 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 das folhas cotiledonares, foram transplantadas três plântulas para cada unidade experimental onde receberam solução nutritiva de crescimento, completa e diluída a 1/5 (Epstein & Bloom, 2006); aos 28 dias após o transplantio 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; enfim, 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  $\text{KNO}_3$  1 mol  $\text{L}^{-1}$ ; 4,0 mL de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  1 mol  $\text{L}^{-1}$ ; 2,0 mL de  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  1 mol  $\text{L}^{-1}$ ; 1,0 mL de  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  1 mol  $\text{L}^{-1}$ ; 1,0 mL de Fe-EDTA 0,2 mol  $\text{L}^{-1}$ ; 1,0 mL de KCl 0,05 mol  $\text{L}^{-1}$ ; 1,0 mL de  $\text{H}_3\text{BO}_3$  0,02 mol  $\text{L}^{-1}$ ; 1,0 mL de  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  0,002 mol  $\text{L}^{-1}$ ; 1,0 mL de  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0,002 mol  $\text{L}^{-1}$ ; 1,0 mL  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  0,0005 mol  $\text{L}^{-1}$ ; 1,0 mL  $\text{H}_2\text{MoO}_4$  (85%  $\text{MoO}_3$ ) 0,0005 mol  $\text{L}^{-1}$ .

Aos 115 dias após emergência as plantas foram coletadas e separadas em raiz, parte aérea (caule e folhas) e frutos (maça). Todo o material vegetal coletado foi lavado em solução de detergente a 3 mL  $\text{L}^{-1}$ , água corrente, solução de HCl a 0,1 mol  $\text{L}^{-1}$  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 moagem da massa secada em moinho tipo Wiley, sendo as amostras moídas acondicionados em sacos plásticos e submetidas à digestão nitroperclórica no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, seguida da determinação do teor de Ca e Mg nas diferentes partes da planta. A quantificação do Ca e Mg total foi feita 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)] (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)<sup>2</sup>/ conteúdo total nutrientes na planta

(mg)] (Siddiqi & Glass, 1981). Os resultados receberam tratamento estatístico com análise em superfície de resposta com auxílio do programa estatístico SAS, adotando-se nível de 5% de significância. Inicialmente, realizou-se a análise de variância e, em função da significância do teste F, e se efetuou o estudo de regressão polinomial (para os casos com interação significativa), por meio do procedimento RSREG. Os pontos de máxima e mínima resposta para as concentrações de Ca e Mg foram obtidos na análise de superfície de resposta.

## Resultados e Discussão

Constatou-se resposta significativa das concentrações de B para conteúdo de Ca na raiz, conteúdo de Mg na raiz e conteúdo de Mg na maçã (Tabela 1 e 2). As concentrações de Zn na solução nutritiva afetaram o teor e o conteúdo de Ca na parte aérea (Tabela 1). A interação entre os tratamentos B e Zn influenciou o teor de Ca na raiz, a eficiência de absorção e a utilização de Ca, o teor de Mg na parte aérea e na maçã, o conteúdo de Mg na parte aérea, as eficiências de absorção, transporte e utilização de Mg (Tabela 1 e 2). Referidos resultados são concordantes com os encontrados por Rajaie et al. (2009) em *Citrus Aurantifoli*, verificando a influência da interação B e Zn nos teores e acúmulo de Ca e Mg em diferentes tecidos vegetais.

**Tabela 1.** 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 Ca

Parâmetros	CV (%)	p-valor		
		B	Zn	B x Zn
Teor de Ca na parte aérea	17,50	0,0737	0,0074*	0,1126
Teor de Ca na raiz	15,93	0,2882	0,4729	0,0061*
Teor de Ca na maçã	19,66	0,2632	0,3474	0,4968
Conteúdo de Ca na parte aérea	18,97	0,2618	0,0101*	0,1654
Conteúdo de Ca na raiz	18,90	0,0063*	0,5169	0,1801
Conteúdo de Ca na maçã	11,16	0,2681	0,3501	0,5633
Eficiência de absorção de Ca	20,89	0,0443*	0,0406*	0,0050*
Eficiência de transporte de Ca	5,42	0,6186	0,2215	0,1834
Eficiência de utilização de Ca	20,58	0,1844	0,0102*	0,0164*

\* Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade

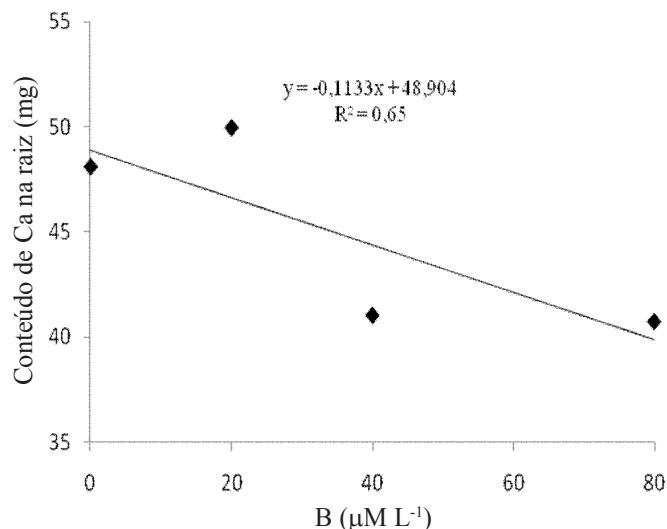
**Tabela 2.** Coeficiente de variação (CV) e p-valor para o efeito de B, Zn e sua interação no teor, conteúdo, eficiência de absorção, transporte e utilização de Mg

Parâmetros	CV (%)	p-valor		
		B	Zn	B x Zn
Teor de Mg na parte aérea	16,30	0,0321*	0,0038*	0,0005*
Teor de Mg na raiz	20,30	0,1268	0,7309	0,6962
Teor de Mg na maçã	12,36	0,0001*	0,0752	0,0140*
Conteúdo de Mg na parte aérea	16,83	0,0936	0,0029*	0,0009*
Conteúdo de Mg na raiz	20,61	0,0415*	0,4463	0,4402
Conteúdo de Mg na maçã	20,11	0,0001*	0,0896	0,0623
Eficiência de absorção de Mg	16,98	0,0164*	0,0334*	0,0002*
Eficiência de transporte de Mg	10,58	0,1016	0,1211	0,0359*
Eficiência de utilização de Mg	20,14	0,4368	0,0917	0,0256*

\* Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade

Os conteúdos de Ca na raiz do algodoeiro diminuíram com o aumento das concentrações de B na solução nutritiva (Figura 1). O boro e o cálcio possuem funções semelhantes na biossíntese da parede celular de plantas superiores (Mengel & Kirkby, 2001); no entanto, o B tende a formar uma ligação mais forte que o Ca na estrutura da parede celular (Teasdale & Richards,

1990), sendo que maiores doses de B tendem a diminuir o acúmulo de cálcio nos tecidos. Trabalhos desenvolvidos com algodão por Ahmed et al. (2011) e Ahmed et al. (2008) demonstram o antagonismo entre o B e Ca em diferentes partes da planta, inclusive na raiz. Relações antagônicas entre B e o Ca também foram relatadas por Sotiropoulos et al. (2002) em kiwi, por Mühling et al. (1998) em feijão, por Esringu et al. (2011) em morango, por Dursun et al. (2010) em tomate, pimentão e pepino.

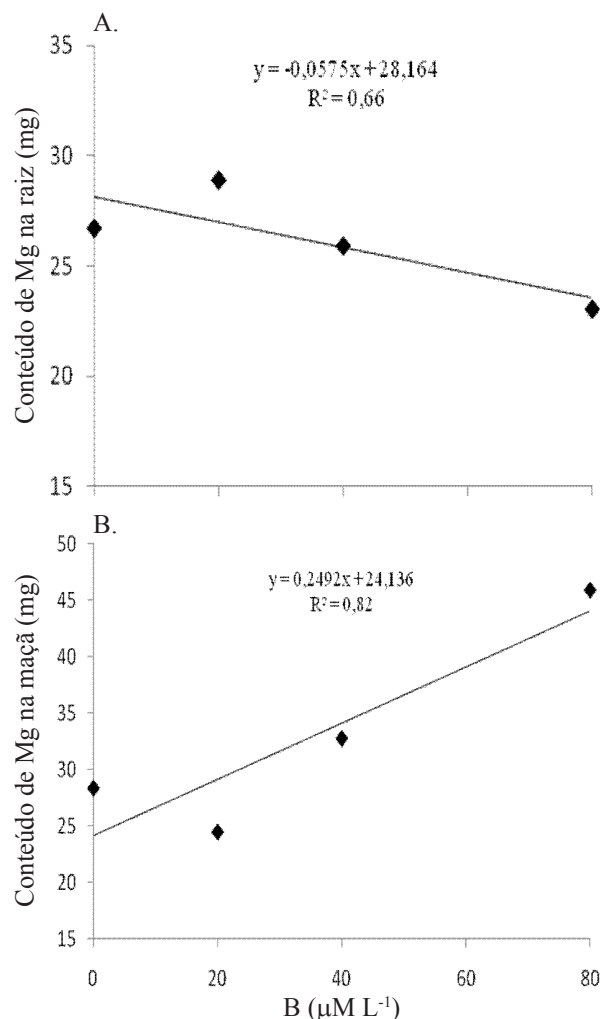


**Figura 1.** Conteúdo de cálcio na raiz do algodoeiro em resposta às diferentes concentrações de boro na solução nutritiva

A concentração de B na solução nutritiva exerceu efeito linear negativo e significativo ( $p < 0,05$ ) no conteúdo de Mg na raiz (Figura 2A) e efeito linear positivo no conteúdo de Mg no fruto do algodoeiro (Figura 2B). Prado et al. (2006), verificaram redução no teor de Mg na raiz de mudas de maracujazeiro em função do aumento das doses de B.

As concentrações de Zn afetaram o teor e conteúdo de Ca na parte aérea do algodoeiro (Figura 3A e 3B). Com a maior concentração de Zn ( $8 \mu\text{M L}^{-1}$ ), os teores e conteúdos de Ca na parte aérea foram menores quando comparados com os tratamentos que não receberam a aplicação do nutriente e com a aplicação de dose intermediária. Esses resultados sugerem a existência de uma competição iônica na absorção de Ca em função do Zn. Cátions bivalentes, como o  $\text{Zn}^{+2}$ , tendem a competir com outros cátions bivalentes como o  $\text{Ca}^{+2}$ , muitas vezes caracterizado como antagonismo (Mengel & Kirkby, 2001). A interação negativa para Ca, também foi relatada em eucalipto (Soares et al. 2001) quando na presença de Zn, em cedro (Paiva et al. 2003) e em goiabeira (Natale et al. 2002).

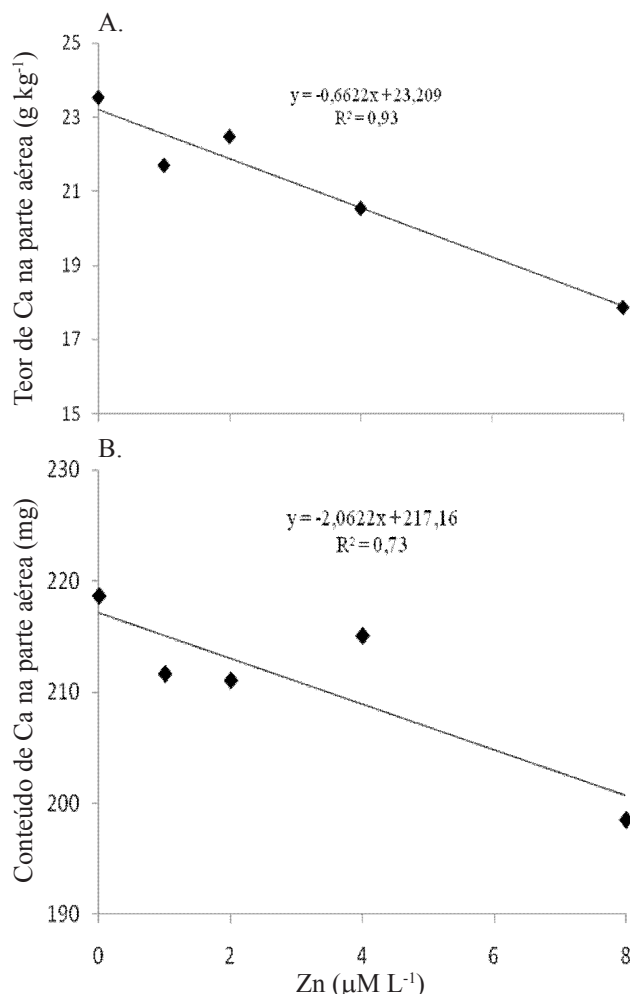
O teor de Ca na raiz foi influenciado pela concentração de B na solução, de maneira que as maiores concentrações de B proporcionaram menor absorção e extração de Ca pelas raízes do algodoeiro (Figura 4A). No entanto, esta absorção e a extração de Ca pelas raízes foram influenciadas de maneira diferente pelas concentrações de Zn apresentando aumento com as concentrações do nutriente. Quando observado o efeito da interação B e Zn, o teor de Ca na raiz foi influenciado positivamente pelas concentrações de B em  $0 \mu\text{M L}^{-1}$  de Zn e negativamente em  $8 \mu\text{M L}^{-1}$  de Zn (Figura 4A); isto pode sugerir



**Figura 2.** Conteúdo de magnésio na raiz (A) e no fruto (B) do algodoeiro em resposta às diferentes concentrações de boro na solução nutritiva

que em ambientes com baixas e/ou elevadas concentrações de B o Zn auxilia na extração do Ca pelas raízes, resultados esses concordantes com os encontrados por Mozafar (1989), Goldbach et al. (1991) e Mühling et al. (1998) indicando um relacionamento antagônico nas raízes mas podendo ser sinérgico na parte aérea.

A eficiência de absorção de Ca diminui com o aumento das concentrações de B em  $0 \mu\text{M L}^{-1}$  de Zn, ocorrendo efeito negativo mais acentuado a partir das concentrações de 4 e  $8 \mu\text{M L}^{-1}$  Zn (Figura 4B). Com o aumento das concentrações de B, constatou-se redução do índice de transporte de Ca, ou seja, houve maior acumulação de Ca nas raízes (no interior das células ou no espaço livre aparente) em detrimento da parte aérea; assim, as plantas deficientes em B apresentaram maior habilidade no transporte do Ca das raízes para a parte aérea; esta maior mobilização do Ca para a parte aérea das plantas-testemunha (sem B) pode ter recebido contribuição do B e do Zn. Carpena et al. (2000) verificaram que a contribuição do B na maior mobilidade do Ca ocorreu apenas nas plantas com baixo teor de B. Resultados contrários foram obtidos por López-Lefebvre et al. (2002), em que observaram relação sinérgica entre os elementos B e Ca sinalizando que o transporte de Ca aumentou com as doses de B. A movimentação de íons através das raízes e seu descarregamento no xilema, envolvem vários



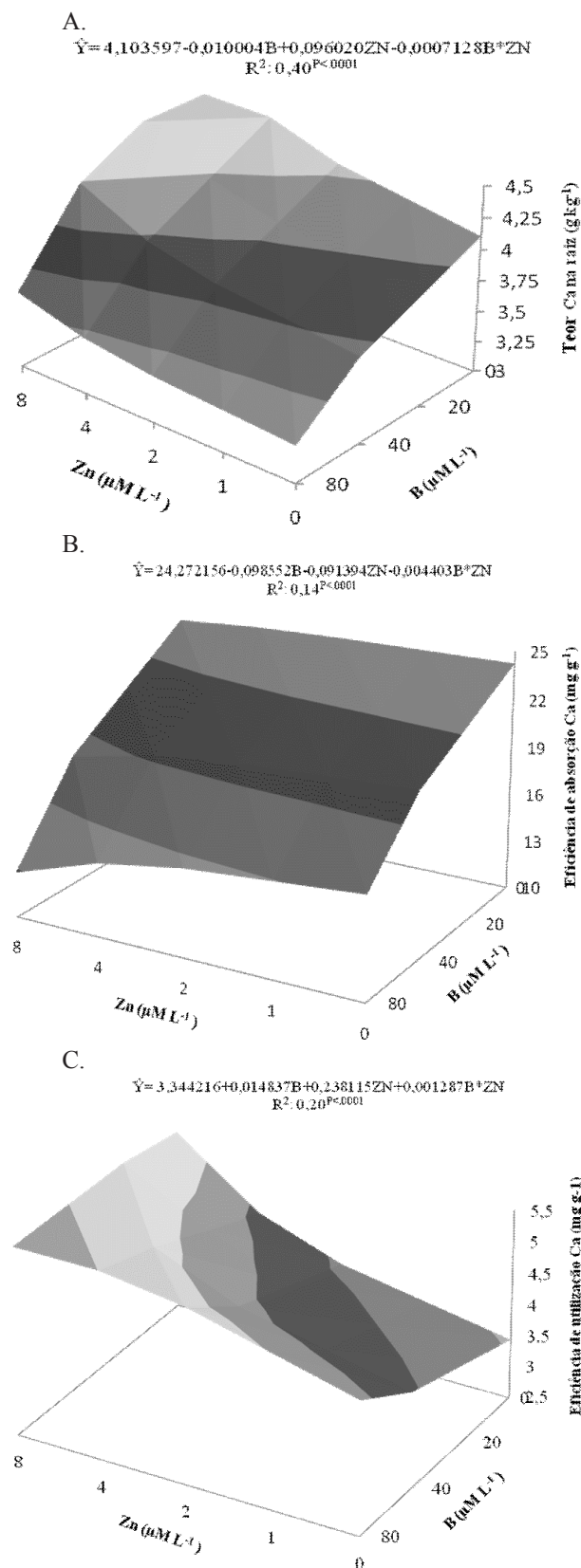
**Figura 3.** Teor de cálcio (A) e conteúdo de cálcio (B) na parte aérea do algodoeiro em resposta às diferentes concentrações de zinco na solução nutritiva

mecanismos que podem limitar sua ascensão para a parte aérea e constituir diferenças na absorção e na movimentação dos nutrientes.

A eficiência de utilização do Ca aumentou nas concentrações de B e Zn, sendo influenciada positivamente pelo aumento das concentrações de B em  $0 \mu\text{M L}^{-1}$  de Zn (Figura 4C). A eficiência de utilização do Ca pelo algodoeiro apresentou média de 4,81 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 determinado nutriente, pode ocorrer grande diferença entre elas na produção de massa seca, resultante de diferenças na eficiência de utilização desses elementos.

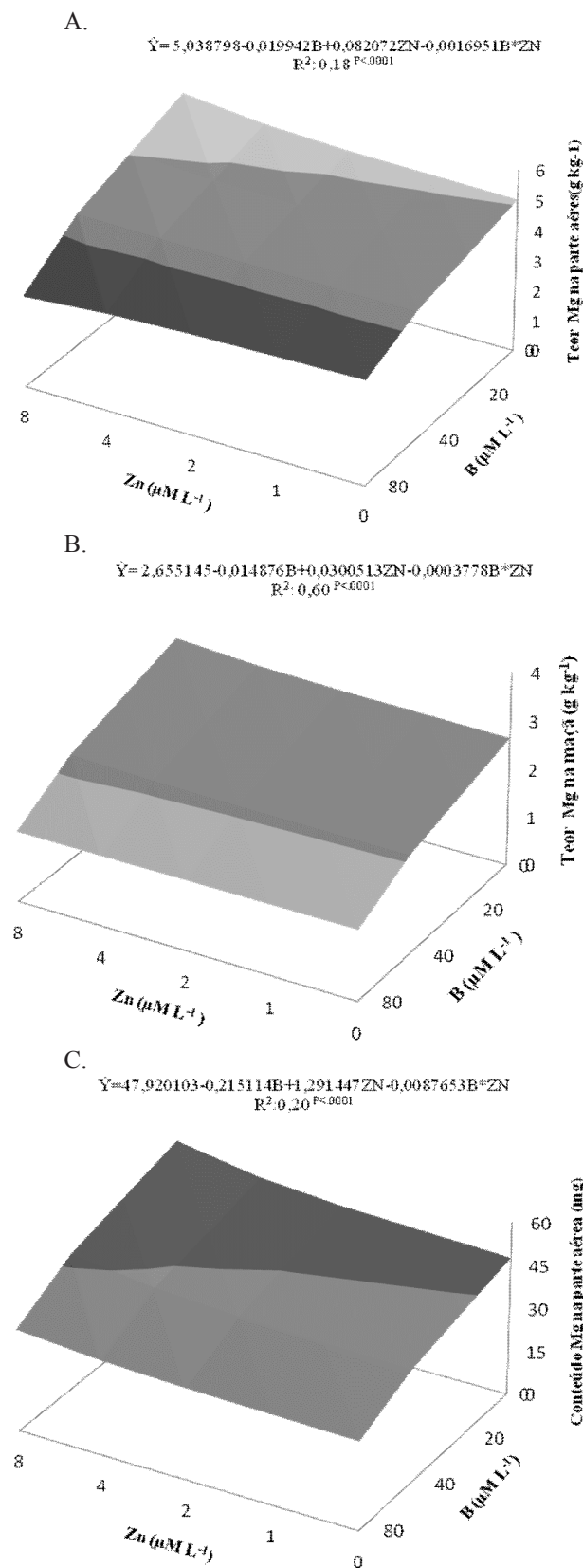
O teor e o conteúdo de Mg na parte aérea foram afetados pela concentrações de B e Zn na solução, de maneira que o aumento das concentrações de B na solução nutritiva promoveu menor absorção de Mg pela planta enquanto, por outro lado, o aumento nas concentrações de Zn, até a concentração de  $4 \mu\text{M L}^{-1}$  de Zn, aumentou a absorção de Mg, reduzindo na concentração mais elevada de Zn ( $8 \mu\text{M L}^{-1}$ ) (Figura 5A, 5C); daí, o teor e o conteúdo de Mg na parte aérea foram influenciados negativamente pelo aumento da concentração de B em  $0 \mu\text{M L}^{-1}$  de Zn e  $8 \mu\text{M L}^{-1}$  de Zn.





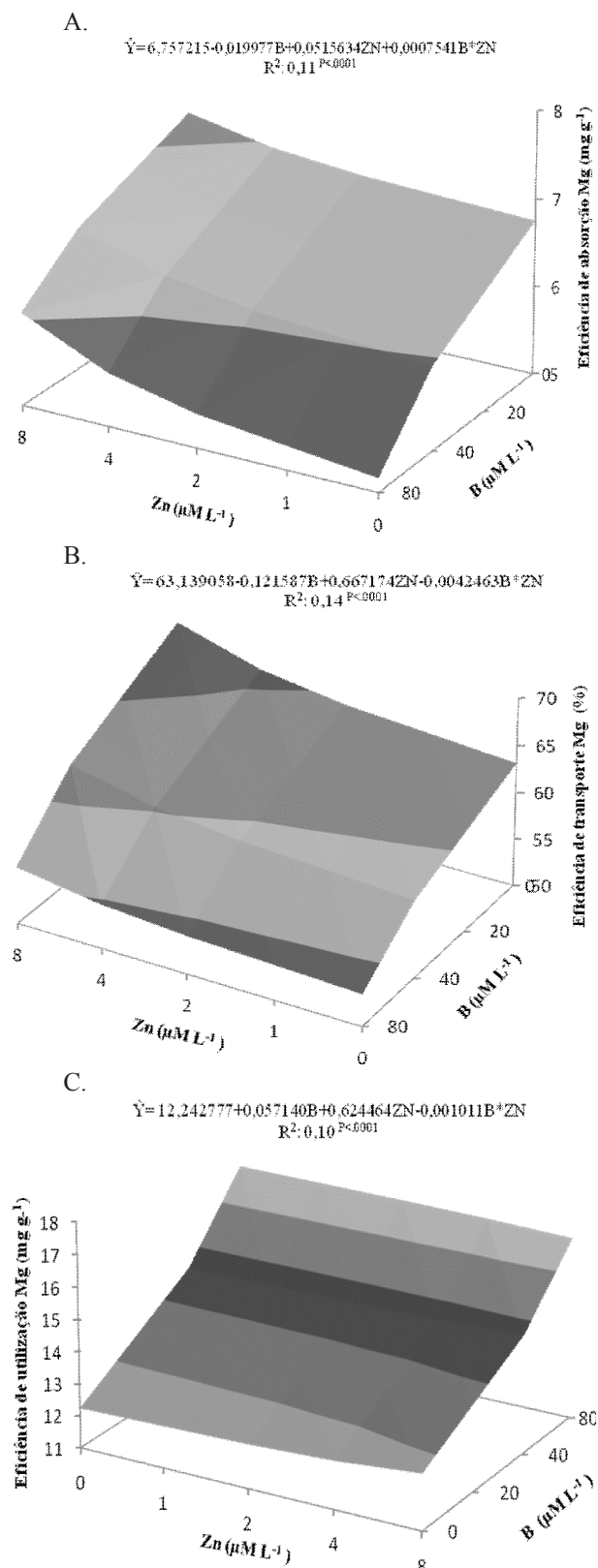
**Figura 4.** Teor de cálcio na raiz (A), eficiência de absorção de cálcio (B) e eficiência de utilização de cálcio (C) pelo algodoeiro em resposta às diferentes concentrações de boro e zinco na solução nutritiva

O teor de Mg na maçã foi influenciado positivamente pelas concentrações de B em 0, 1, 2, 4 e 8  $\mu\text{M L}^{-1}$  de Zn (Figura 5B). Este mesmo fenômeno também foi relatado para a cultura



**Figura 5.** Teor de magnésio na parte aérea (A), teor de magnésio na maçã (B) e conteúdo de magnésio na parte aérea (C) pelo algodoeiro em resposta às diferentes concentrações de boro e zinco na solução nutritiva

do tabaco, cujo aumento da concentração de B proporcionou diminuição no teor de Mg nas folhas e raízes (López-Lefebvre et al. 2002). Esses autores relatam que a resposta de Zn em



**Figura 6.** Eficiência de absorção (A), transporte (B) e utilização (C) de magnésio pelo algodoeiro em resposta às diferentes concentrações de boro e zinco na solução nutritiva

função das concentrações de B depende do órgão analisado. As diferentes respostas podem ser devidas à função dos órgãos analisados e em função da espécie analisada (Mozafar, 1989; Grewal et al. 1998).

A interação B e Zn exerceu efeito linear positivo nas eficiências de absorção e transporte de Mg (EAMg e ETMg) e na concentração  $4 \mu\text{M L}^{-1}$  de Zn demonstrando uma relação sinérgica entre B e Zn nas concentrações intermediárias de Zn (Figura 6A, 6B). É possível observar um acréscimo de 69% no transporte de Mg pelas raízes em  $0 \mu\text{M L}^{-1}$  de B e  $8 \mu\text{M L}^{-1}$  de Zn, diminuindo para 56% na concentração mais elevada de B ( $8 \mu\text{M L}^{-1}$ ). Este aumento no transporte de Mg em resposta às concentrações de Zn pode ter ocorrido pela maior concentração do nutriente na parte aérea, em decorrência do aumento de produção de massa seca.

A eficiência de utilização do Mg (EUMg) foi influenciada positivamente pela interação dos tratamentos B e Zn, de maneira que a eficiência de utilização do Mg aumentou com as concentrações de Zn em  $0 \mu\text{M L}^{-1}$  de B, sendo significativo o aumento da EUMg em resposta ao aumento das concentrações de B (Figura 6C). A eficiência média de utilização do Mg foi de  $14,32 \text{ g}$  de massa seca por miligrama de nutriente absorvido. Para Marschner (1995), a eficiência nutricional pode estar relacionada à demanda de nutrientes em nível celular, compartimentalização, utilização na parte aérea, no transporte a curta e a longa distância, na afinidade do sistema de absorção (km), concentração mínima (Cmin) e nas modificações na rizosfera.

## Conclusões

O conteúdo de Ca na raiz e o conteúdo de Mg na raiz e no fruto do algodoeiro são influenciados pelas concentrações de B.

O teor e o conteúdo de Ca na parte aérea são influenciados pelas concentrações de Zn na solução nutritiva.

A interação B e Zn afetou o teor de Ca na raiz, o teor e o conteúdo de Mg na parte aérea e no fruto, tal como, também, as eficiências de absorção, transporte e utilização de Ca e Mg pelo algodoeiro.

## Literatura Citada

- Ahmed, N.; Abid, M.; Ahmad, F. Boron toxicity in irrigated cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Pakistan Journal of Botany, v. 40, n. 6, p. 2442-2452, 2008. <[http://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/40\(6\)/PJB40\(6\)2443.pdf](http://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/40(6)/PJB40(6)2443.pdf)>. 25 Jan. 2012.
- Ahmed, N.; Abid, M.; Ahmad, F.; Ullah, M. A.; Javaid, Q.; Ali, M. A. Impact of boron fertilization on dry matter production and mineral constitution of irrigated cotton. Pakistan Journal of Botany, v. 43, n. 6, p. 2903-2910, 2011. <[http://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/43\(6\)/42.pdf](http://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/43(6)/42.pdf)>. 25 Jan. 2012.
- Carpene, R. O.; Esteban, E.; Sarro, M. J.; Penalosa, J.; Gárate, A.; Lucena, J. J.; Zornoza, P. Boron and calcium distribution in nitrogen-fixing pea plants. Plant Science, Linerick, v.151, n.2, p.163-170, 2000. <[http://dx.doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00210-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00210-1)>.
- Dursun, A.; Turan, M.; Ekinci, M.; Gunes, A.; Ataoglu, N.; Esringu, A.; Yildirim, E. Effects of boron fertilizer on tomato, pepper and cucumber yields and chemical composition. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v.41, n.13, p. 1576-1593, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2010.485238>>.

- Epstein, E.; Bloom, A. J. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.
- Esringu, A.; Turan, M.; Gunes, A.; Esithen, A.; Sambo, P. Boron application improves on yield and chemical composition of strawberry. *Plant Soil Science*, v.61, n.3, 1651-1913, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1080/09064711003776867>>.
- Freire, E. C. Algodão no Cerrado do Brasil. Brasília: Associação Brasileira dos Produtores de Algodão, 2007. 918p.
- Goldbach, H. E.; Blaser-Grill, J.; Lindermann, N.; Porzelt, M.; Hormann, C.; Lupp, B.; Gessner, B. Influence of boron on net proton release and its relation to other metabolic process. In: Dandall, D. D.; Blevins, D. G.; Miles, D. (Eds.). *Current topics in plant biochemistry and physiology*. Columbia, MO: University of Missouri-Columbia, 1991. v. 10, p. 195-220.
- Grewal, H. S. G.; Graham, R. D.; Stangoulis, J. Zinc-boron interaction effects in oilseed rape. *Journal Plant of Nutrition*, v.21, n.10, p.2231-2243, 1998. <<http://dx.doi.org/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://dx.doi.org/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. 4-6, p. 773-781, 2007. <<http://dx.doi.org/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.
- 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://dx.doi.org/10.1081/PLN-120003379>>.
- Malavolta, E.; Vitti, C. G.; Oliveira, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1997. 319p.
- Marschner, H. Mineral nutrition of higher plants. London: Academic Press, 1995. 889p.
- Mengel, K.; Kirkby, E. Principles of plant nutrition. 5.ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.
- Mozafar, A. Boron effect on mineral nutrition of maize. *Agronomy Journal*, v.81, n.2, p.285-290, 1989. <<http://dx.doi.org/10.2134/agronj1989.00021962008100020029>>.
- Mühling, J. T.; Wimmer, M.; Goldbach, H. E. Apoplastic and membrane-associated  $\text{Ca}^{+2}$  in leaves and roots as affected by boron deficiency. *Physiologia Plantarum*, v.102, n.2, p.179-184, 1998. <<http://dx.doi.org/10.1034/j.1399-3054.1998.1020204.x>>.
- Natale, W.; Prado, R. M.; Corrêa, M. C. M.; Silva, M. A. C.; Pereira, L. Resposta de mudas de goiabeira à aplicação de zinco. *Revista Brasileira Fruticultura*, v.24, n.3, p.770-773, 2002. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452002000300052>>.
- Paiva, H. N.; Carvalho, J. G.; Siqueira, J. O.; Corrêa, J. B. D. Teor, conteúdo e índice de translocação de nutrientes em mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) submetidas a doses crescentes de zinco. *Ciência Florestal*, v.13, n.1, p.1-10, 2003. <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/171>>. 15 Mar. 2012.
- Prado, R. M.; Natale, W.; Rozane, D. E. Níveis críticos de boro no solo e na planta para cultivo de mudas de maracujazeiro-amarelo. *Revista Brasileira Fruticultura*, v.28, n.2, p.305-309, 2006. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452006000200034>>.
- Rajaie, M.; Ejraie, A. K.; Owliaie, H. R.; Tavakoli, I. Effect of zinc and boron interaction on growth and mineral composition of lemon seedlings in a calcareous soil. *International Journal of Plant Production*, v.3, n.1, p.39-50, 2009. <[http://www.sid.ir/en/VEWSSID/J\\_pdf/124220090103.pdf](http://www.sid.ir/en/VEWSSID/J_pdf/124220090103.pdf)>. 15 Mar. 2012.
- 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, n.3, p.289-302, 1981. <<http://dx.doi.org/10.1080/01904168109362919>>.
- Soares, C. R. F. S.; Graziotti, P. H.; Siqueira, J. O.; Carvalho, J. G.; Moreira, F. M. S. Toxidez de zinco no crescimento e nutrição de *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, n.2, p.339-348, 2001. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2001000200018>>.
- Sotiropoulos, T. E.; Therios, N. I.; Dimassi, N. K.; Bosbalidis, A.; Kiflids, G. Nutritional status, growth,  $\text{CO}_2$  assimilation and leaf anatomical responses in two kiwi fruit species under boron toxicity. *Journal of Plant Nutrition*, v.25, n.6, p.1244-1266, 2002. <<http://dx.doi.org/10.1081/PLN-120004386>>.
- 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://dx.doi.org/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://dx.doi.org/10.3923/ajps.2007.195.202>>. 25 Mar. 2012.
- Teasdale, R. D.; Richards, D. K. Boro deficiency in cultured pine cells. Quantitative studies of interaction with Ca and Mg. *Plant Physiology*, v.93, n.3, p.1071-1077, 1990. <<http://dx.doi.org/10.1104/pp.93.3.1071>>.
- Vitti, G. C.; Lima, E.; Cicarone, F. Cálcio, Magnésio e Enxofre. In: Fernandes, M. S. (Ed.). *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.355-374.