

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**ABSORÇÃO E MOBILIDADE DO BORO EM CULTIVARES DE
ALGODÃO**

JULIO CESAR BOGIANI

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Campus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia – Área de Concentração em
Agricultura.

BOTUCATU – SP

Dezembro – 2010

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

ABSORÇÃO E MOBILIDADE DO BORO NO ALGODOEIRO

JULIO CESAR BOGIANI

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. CIRO ANTONIO ROSOLEM

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia – Área de Concentração em Agricultura.

BOTUCATU – SP

Dezembro – 2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Bogiani, Julio Cesar, 1980-
B675a Absorção e mobilidade do boro em cultivares de algodão
/ Julio Cesar Bogiani. - Botucatu : [s.n.], 2010
iii, 89 f. : tabs., gráfs., fots. color.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2010

Orientador: Ciro Antonio Rosolem

Inclui bibliografia.

1. Algodão. 2. Boro - Absorção. 3. Boro - Translocação.
4. Fotossíntese. I. Rosolem, Ciro Antonio. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "ABSORÇÃO E MOBILIDADE DO BORO EM CULTIVARES DE ALGODÃO"

ALUNO: JULIO CESAR BOGIANI

ORIENTADOR: PROF. DR. CIRO ANTONIO ROSOLEM

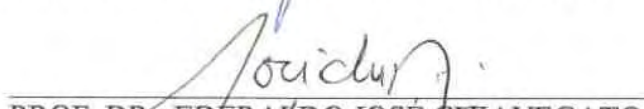
Aprovado pela Comissão Examinadora



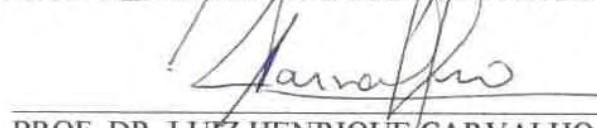
PROF. DR. CIRO ANTONIO ROSOLEM



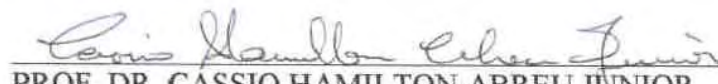
PROF. DR. LEONARDO THEODORO BULL



PROF. DR. EDERALDO JOSÉ CHAVEGATO



PROF. DR. LUIZ HENRIQUE CARVALHO



PROF. DR. CASSIO HAMILTON ABREU JÚNIOR

Data da Realização: 13 de dezembro de 2010.

DEDICO

Aos meus queridos, admirados e amados pais,

Antônio Bogiani e

Conceição Rosin Bogiani

pelo exemplo de vida, carinho e amor que dedicaram à felicidade e educação de seus filhos.

e aos meus irmãos,

Antônio Henrique Bogiani,

Giovani Carlo Bogiani e

Paulo Alexandre Bogiani

pelo companheirismo e infinita amizade que existe entre nós.

OFEREÇO

À minha querida noiva,

Thalita Fernanda Sampaio

pelo amor, amizade, carinho, compreensão e imensa
dedicação na realização desta tese. Te amo e te admiro muito.

Agradecimentos

À DEUS, por iluminar meu caminho e minha mente, especialmente nos momentos difíceis.

A todos meus familiares, pelo incentivo, apoio e carinho dedicados em todos os momentos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Ciro Antônio Rosolem pela confiança depositada, por todos os ensinamentos, pela dedicação, pelo exemplo profissional e pela amizade.

À Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA/UNESP e ao Departamento de Produção Vegetal – Agricultura, pela oportunidade oferecida para aprimorar meus conhecimentos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão da bolsa de estudos durante o curso.

Ao Prof. Dr. Cássio Hamilton de Abreu Junior, pela receptividade no CENA e pelo auxílio nas análises de ¹⁰B.

Ao Prof. Dr. João Domingos Rodrigues, por disponibilizar a utilização do IRGA e a Amanda pela realização das avaliações.

Os membros da banca examinadora, por dispor deste tempo para estar aqui.

A todos os professores da FCA/UNESP em especial aos do Departamento de Produção Vegetal – Agricultura, pelos ensinamentos passados e pela amizade.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal – Agricultura, pela valiosa contribuição, em especial ao Dorival, pela grande ajuda nas análises de boro.

A todos os colegas e amigos(as) da Pós-Graduação ou não, minha gratidão pelo companheirismo e pela ajuda prestada durante este tempo que pudemos conviver juntos.

A todos àqueles que embora não mencionados contribuíram para a realização do trabalho e também estiveram comigo nesta importante etapa. Obrigado.

SUMÁRIO

	Página
1. RESUMO.....	1
2. SUMMARY.....	3
3. INTRODUÇÃO.....	4
4. REVISÃO DA LITERATURA.....	6
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
5.1. Condução do experimento.....	20
5.2. Análises químicas.....	24
5.2.1. Preparo das amostras para as análises químicas de B.....	24
5.2.2. Preparo do extrato para determinação de B.....	24
5.2.3. Determinação de B total.....	24
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
6.1. Avaliações fitotécnicas.....	25
6.2. Avaliações nutricionais.....	48
6.3. Avaliações fisiológicas.....	65
7. CONCLUSÕES.....	73
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74

1. RESUMO

O boro é um micronutriente de grande importância para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Este elemento tem baixa mobilidade no floema e é reconhecidamente o micronutriente cuja deficiência é mais comum no algodoeiro. Partindo-se da hipótese de existe diferença de resposta ao B entre cultivares de algodão, este trabalho teve como objetivo, estudar a absorção e mobilidade do boro disponibilizado via solução nutritiva, em três cultivares de algodão, bem como, a consequência de uma eventual deficiência do nutriente na fotossíntese das plantas. O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação e as plantas foram cultivadas em vasos contendo solução nutritiva. Os tratamentos foram constituídos de três cultivares de algodão (FMT 701, DP 604BG e FMX 993), e cinco doses de boro na solução nutritiva (0,0 – 2,5 – 5,0 – 10,0 e 20,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$). O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com quatro repetições em esquema fatorial com 3 cultivares x 5 doses. Foram feitas avaliações visuais dos sintomas de deficiência, durante todo o experimento, sendo os sintomas anotados e fotografados. As avaliações fisiológicas foram feitas quando as plantas atingiram o estágio de emissão do primeiro botão floral e foram repetidas após uma e quatro semanas após este estágio. As avaliações fitotécnicas e nutricionais foram feitas em quatro semanas, com a primeira iniciando uma semana após a o estágio de emissão do primeiro botão floral. Os resultados obtidos neste experimento levaram a concluir que: A época de aparecimento e a intensidade de sintomas de deficiência de boro entre cultivares de algodão é diferente. A cultivar DP604BG é inicialmente menos exigente em B, porém, há necessidade de

maior disponibilidade de boro no meio nutritivo para evitar o aparecimento de deficiência. O crescimento do algodoeiro é prejudicado pela carência de boro independentemente das diferenças no aparecimento de sintomas, não havendo diferença entre as cultivares. A carência de boro prejudica as atividades fisiológicas das três cultivares de algodão.

Palavras-chave: Algodão, micronutriente, translocação, remobilização, fotossíntese.

BORON ABSORPTION AND MOBILITY IN COTTON CULTIVARS. Botucatu, 2010. 89p. Tese (Doutorado em Agronomia-Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo.

Author: JULIO CESAR BOGIANI

Adiviser: CIRO ANTONIO ROSOLEM

2. SUMMARY

Boron is an micronutrient of great importance for growth and development of plants. This element has low mobility in the phloem and is known to the micronutrient whose deficiency is more common in cotton. Based on the hypothesis that there is difference of sensitivity to B between cotton cultivars, this work aimed to study the uptake and mobility of boron available in nutrient solution at three cotton cultivars, as well as the consequence of boron deficiency in the photosynthesis of plants. The experiment was conducted under greenhouse conditions and plants were grown in plots containing nutrient solution. The treatments were constituted of three cotton cultivars (FMT 701, DP 604BG and FMX 993), and five doses of boron in the nutrient solution (0.0 - 2,5 - 5.0 to 10.0 and 20.0 mmol L⁻¹). The experimental design used was the completely randomized with four replications in outline factorial 3 cultivars x 5 doses. Evaluations were made of visual deficiency symptoms during all of experiment period and the symptoms recorded and photographed. Physiological evaluations were made when the plants reached the season of first flower bud and were repeated after one and four weeks after this season. Agronomic parameters and nutritional available were made in four weeks, with the first available starting one week after the season of first stage bud. Time of appearance and severity of symptoms of boron deficiency between cotton cultivars is different. Cultivar DP604BG is initially less boron requiring, but there is need of great availability boron in the nutrient solution to prevent the appearance of deficiency. The cotton growth was loss by boron deficiency regardless of differences of symptoms appearance, without deference between cultivars. The boron deficiency affect the physiological activity of three cotton cultivars.

Key-words: Cotton, micronutrient, translocation, remobilization, photosynthesis.

3. INTRODUÇÃO

O boro (B) foi reconhecido como essencial há mais de 85 anos (Miwa e Fugiwara, 2010) e, é o micronutriente cuja deficiência é mais comum em algodoeiro. O nutriente age no desenvolvimento das plantas e sua deficiência causa rápida inibição do crescimento devido à função estrutural que exerce na formação da parede, divisão e na alongação celular, assim como no metabolismo e transporte de carboidratos, na organização e funcionamento de membranas, germinação de grão de pólen e crescimento de tubo polínico (Tanada, 1983; Agarwala et al., 1981; Dechen et al., 1991).

O B foi considerado imóvel nas plantas em geral, por muitos anos, entretanto, estudos realizados, principalmente a partir da década de 80, demonstraram que esta afirmativa não deveria ser generalizada, pois verificou-se que este micronutriente é móvel em algumas espécies de plantas, tais como: macieira, ameixeira, cerejeira (Brown e Hu, 1998) e brócolis (Shelp, 1988). O algodoeiro apresenta ótimas respostas à aplicação deste nutriente, porém, ainda há controvérsias a respeito da mobilidade do B dentro da planta, quanto a doses adequadas e formas de aplicação. Rosolem e Costa (2000) observaram que o B aplicado via foliar não é translocado do local de aplicação para as demais partes da planta, denotando uma mobilidade restrita desse nutriente nestas plantas. De fato, alguns estudos têm mostrado que a aplicação via solo resulta em maior produtividade (Silva et al., 1995), no entanto, respostas positivas do algodoeiro à aplicação foliar de boro foram verificadas em um solo de cerrado com pH de 6,7 (Reis Júnior, 2001). O conhecimento sobre a mobilidade do B no floema da

planta de algodão é importante na diagnose e correção de deficiência e toxicidade (Brown e Shelp, 1997), determinando a melhor estratégia de adubação.

Em condições de campo, Zancanaro e Tessaro (2006) notaram sensibilidade ao B entre cultivares de algodão. Os autores observaram que a ITA 90 demonstrava uma intensidade de sintomas de deficiência elevada deste nutriente, enquanto que na FIBERMAX 966, os sintomas de deficiência eram de baixa intensidade e baixa frequência.

A eficiência de uma espécie ou cultivar em absorver e utilizar um elemento pode determinar o aparecimento ou não de sintomas de deficiência, ou seja, numa cultivar que apresente baixa mobilidade de B, a parte da planta que se desenvolve durante uma deficiência temporária apresentará sintomas e conseqüentemente prejuízos, enquanto que em uma cultivar que apresente maior mobilidade, o segmento desenvolvido nas mesmas condições poderia ser suprido devido à translocação do elemento.

Assim, este trabalho partiu da hipótese de há diferença de sensibilidade ao B entre cultivares de algodão, e desta forma, teve como objetivo, estudar a absorção e mobilidade deste micronutriente disponibilizado via solução nutritiva, bem como a conseqüência de uma eventual deficiência na produção de fotoassimilados pela planta.

4. REVISÃO DE LITERATURA

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum*, L.) é uma planta da família das Malváceas já cultivada na antiguidade, tendo-se encontrado na Índia, assim como no norte do Peru, fragmentos de tecidos feitos com sua fibra, que se calculavam, respectivamente, a 4000 e 2500 a.C (Carvalho, 1996). A fibra é o principal produto do algodoeiro e sua pluma, o algodão, é a fibra vegetal mais cultivada pelo homem, representando cerca de 74% das fibras naturais utilizadas pela indústria têxtil. Atualmente o Brasil ocupa a 5ª posição na produção e a 4ª na exportação mundial de algodão, que possui alto valor econômico e social para o país (Anuário Brasileiro do Algodão, 2010). Os estados de Mato Grosso e Bahia são atualmente os principais produtores brasileiros de algodão, sendo responsáveis por aproximadamente 83% da produção nacional, e juntamente com Goiás e Mato Grosso do Sul, esta percentagem totaliza 95% (Conab, 2010).

Quanto ao clima, a cultura necessita de um período de 140 a 160 dias predominantemente ensolarados, com média de temperatura superior a 20 °C e temperaturas do ar entre 25 e 30°C (Reddy et al., 1992; Oosterhuis, 1992; Marur, 1993). A planta de algodão tem seu crescimento e desenvolvimento fortemente influenciados pela temperatura. Oosterhuis (1999) determinou nos Estados Unidos, a exigência térmica para cada fase de crescimento, e estas determinações referem-se às unidades de calor (UC) obtidas pela média entre a temperatura máxima e mínima e subtraída a temperatura base, e mostraram que da semeadura até a colheita são necessários, aproximadamente, 2600 UC. No Brasil, segundo

Rosolem (2001), a exigência de temperatura para as cultivares ITA 90 e Antares, no Mato Grosso, da emergência até o primeiro capulho é de 1287 UC. Para obtenção de altas produtividades é necessário uma quantidade de água da ordem de 700 mm durante o ciclo da cultura (Grimes e El-Zic, 1990). Após os 130 dias, o tempo deve ser relativamente seco para garantir a abertura dos frutos e a qualidade do algodão colhido (Rosolem, 2007).

O algodoeiro é uma cultura que exige boa fertilidade dos solos (Silva et al., 1987; Zancanaro e Tessaro, 2006), ou seja, para manter a produtividade em níveis economicamente competitivos, associado à boa qualidade do produto, o algodoeiro precisa ser cultivado sob solos férteis, ou corrigidos e adubados de forma adequada (Silva, 1999). Assim, como as outras culturas, o algodoeiro necessita dos nutrientes em geral para seu completo desenvolvimento e normal produção. Para produzir 1000 kg/ha de algodão em caroço o algodoeiro extrai do solo 59 a 85 kg de N, 13 a 25 kg de P_2O_5 , 47 a 69 kg de K_2O , 18 a 40 kg de CaO, 8 a 31 kg de MgO, 4 a 7 kg de S, porém, essa quantidade varia intensamente na dependência das condições de clima, solo, manejo, cultivar utilizada e produtividade alcançada (Staut, 1996; Staut e Kurihara, 2001; Thompson, 1999; Furlani Junior, et al., 2001; Ferreira, 2005).

Dentre os micronutrientes, tem-se observado que o boro (B) é o mais limitante para a cultura do algodoeiro, havendo respostas à adubação, sobretudo nas regiões com alto potencial produtivo e solos arenosos, com baixo teor de matéria orgânica e áreas com calagem excessiva e sem histórico de aplicações de B nas últimas safras (Carvalho et al., 2007).

Na maioria das regiões agrícolas, o teor de boro no solo varia de 1 a 467 mg kg⁻¹, com os mais comuns de 9 a 85 mg kg⁻¹, e esses valores variam de acordo com o material de origem e o grau de intemperismo do solo (Gupta, 2006). Malavolta (1980) encontrou nos principais grupos de solo do Estado de São Paulo, em amostras coletadas em profundidade de até 30 cm, valores que variam de 30 a 60 mg kg⁻¹ de B total, e 0,06 a 0,5 mg kg⁻¹ de B disponível.

Na fase sólida do solo, o B é encontrado adsorvido nos óxidos de Fe e Al, nos minerais silicatados, em argilominerais, hidróxido de magnésio, carbonato de cálcio e na matéria orgânica (Goldberg, 1997b). A maior parte do boro do solo vem da turmalina, onde uma porção considerável se encontra dispersa nos minerais silicatados e somente após longos

períodos de intemperismo se torna disponível e, apesar de ser o principal mineral fornecedor de boro para o solo (Malavolta, 1980), a maior fonte para a planta é a matéria orgânica da qual se libera pela mineralização efetuada pelos microorganismos, passando para a solução do solo, existindo assim, correlação entre teor de matéria orgânica e de boro (Vanderlei et al., 1988; Scaramuzza et al., 2002), é por isso que, de um modo geral, tanto o B total como o disponível aparecem em maior teor na camada superficial, pois é neste perfil que há mais matéria orgânica (Bayer et al., 2001; Diekow, 2003). Períodos prolongados de seca reduzem o teor de boro disponível no solo. A umidade do solo também afeta a disponibilidade de B no solo, pois a deficiência de água faz com que a mineralização da matéria orgânica seja diminuída devido a menor atividade dos microorganismos (Ibewiro et al., 2000, Severino et al., 2004), ficando a liberação do boro nela contida reduzida.

A distribuição do B entre as fases líquida e sólida é extremamente dependente do pH e, geralmente, o B torna-se menos disponível com valores elevados de pH do solo, pois aumenta a adsorção deste nutriente à superfície dos colóides a medida que cresce a alcalinidade do meio (Ferreira, 1998). A adsorção é máxima quando atinge valores próximos a pH 9,0 (Goldberg, 1997c), decrescendo a partir daí, pois, se aumentar a alcalinidade, haverá muita OH^- presente em relação ao B(OH)_4^- aumentando a competição e diminuindo a adsorção, que é um fenômeno reversível, dependendo do solo (Malavolta, 2006).

Pavan e Correa (1988) observaram que a máxima capacidade de adsorção de B em solos do Paraná foi menor em pH inferior a 6,5 e aumentou marcadamente na faixa de pH entre 6,5 a 8,0, entretanto, o boro fixado pela elevação do pH torna-se novamente disponível pela reacidificação do solo, assim, do ponto de vista prático, a aplicação de calcário para elevação do pH a valores próximos de 6,0 pode proporcionar deficiências deste nutriente, principalmente com teores iniciais próximo a faixa deficiente (Rosolem e Bísaro, 2007).

A retenção de B no solo é proporcional ao teor de argila (Azevedo et al., 2001). Solos de textura argilosa tendem a reter o B adicionado por períodos mais longos, o que também ocorre em solos com mais carbono orgânico e maior capacidade de troca catiônica, devido à maior adsorção (Chaudary e Shukla, 2004), no entanto, os solos de textura arenosa, pobres em matéria orgânica, tendem a apresentar baixa disponibilidade de B.

A lixiviação de B também pode ser um importante componente da dinâmica do elemento no solo (Communar e Keren, 2007). Estudos de lixiviação têm mostrado que há menor remoção de B em águas de percolação de solos com calagem, em relação a solos sem calagem (Communar e Keren, 2006). Mesmo no caso de calagem com doses relativamente altas de calcário, a adsorção de B pelo solo somente é importante no ano em que foi realizada a calagem, de modo que, com o tempo, maior quantidade de B fica na solução do solo, em condições de ser prontamente absorvido pelas plantas ou mesmo ser perdido por lixiviação, a qual se intensifica com o aumento da água infiltrada no solo (Rosolem e Bísaro, 2007). Isto é especialmente importante em áreas muito chuvosas, onde há maior lixiviação de B (Communar e Keren, 2006), principalmente, em solos de textura arenosa (Saltali et al., 2005), aumentando os problemas de carência do nutriente no solo e, por consequência, na planta.

Dentre os elementos do solo essenciais para as plantas, B é o único que é absorvido pelas plantas não como um íon, mas como uma molécula sem carga. Em solução se move até as raízes predominantemente por fluxo de massa (Barber, 1966), possivelmente, devido ao fato do elemento estar em forma não ionizada na solução do solo, sendo essencial a presença de água.

Considerava-se que a absorção deste elemento ocorra, principalmente por um processo passivo, sendo absorvido como ácido bórico devido à alta permeabilidade da membrana ao elemento, de modo que o boro passa livremente, sem necessidade de carregadores, bombas, canais ou energia e por isso, parece ser o único elemento que atravessava a membrana citoplasmática e o tonoplasto sem ser intermediado por uma proteína (Bingham et al., 1970; Thellier et al., 1979; Raven, 1980; Brown e Hu, 1994). Porém, a identificação de um transportador de B levou à descoberta de que o transporte de B não é um processo mediado só de forma passiva, mas também por transportadores cuja atividade foi detectada em resposta às condições B na solução, sendo evidente que as plantas detectam as condições internas e externas de B e regulam o transporte B pela expressão e/ou acúmulo desses transportadores. Estes transportadores são requeridos sob limitação de B para uma eficiente absorção e utilização de elemento. Dois tipos de transportadores estão envolvidos nestes processos: NIPs (nodulin-26-Like intrinsic proteins) que facilita a entrada de B para as raízes (Takano et al., 2006) e BORs (exportadores de B) capaz de conferir alta tolerância ao

excesso de B pelo bombeamento de ácido bórico para fora da célula (Miwa et al, 2007). Isto demonstra que a expressão dos genes que codificam estes transportadores é regulada em resposta à disponibilidade de B no meio ambiente para garantir um equilíbrio estável de B no tecido das plantas. Desta forma, plantas tolerantes ao estresse causado pelo excesso ou deficiência de B podem existir através da expressão desses transportadores. Estes resultados foram obtidos em plantas modelo e podem ser aplicáveis a outras espécies de plantas, e esse conhecimento pode ser útil na concepção de plantas ou culturas tolerantes a solos com alta ou baixa disponibilidade de B (Miwa e Fugiwara, 2010).

Embora absorvidos em menores quantidades que os macronutrientes, os micronutrientes desempenham diversas funções essenciais na planta, participando de várias reações metabólicas responsáveis por processos bioquímicos dentro da planta (Taiz e Zeiger, 2004). Deste modo, a deficiência deles no solo afeta diretamente o crescimento, o desenvolvimento e a produção do algodoeiro (Rosolem, 2005).

Dos micronutrientes exigidos pelo algodoeiro, o B é o que apresenta problemas de deficiência com maior frequência (Rosolem, et al., 2001). Este micronutriente diminui drasticamente a produção de algodão quando em baixa disponibilidade, e provoca distúrbios quando adicionado em doses inadequadas (Silva, 1999).

O B é um dos micronutrientes que estão envolvidos em reações de armazenagem de energia (ATP) e/ou manutenção de integridade estrutural (Amberger, 1975). Ele forma complexos com o manitol e outros açúcares-álcoois, manans, ácido polimanurônico e outros constituintes das paredes celulares. Está relacionado com a formação de diois, de lignina, com as reações de compostos orgânicos de fósforo como nucleotídeos, (Kouchi e Kumazawa, 1976; Lewis, 1980b), com o metabolismo de ácidos nucleicos (Taiz e Zeiger, 2004) pela menor síntese de uracila, com o metabolismo e síntese de aminoácidos e proteínas, e atua no metabolismo do nitrogênio (Malavolta, 2006). Embora não haja dúvidas quanto à essencialidade do B para as plantas, ainda não se encontram estabelecidas todas as funções bioquímicas deste nutriente (Dechen et al., 1991; Matoh, 1997).

O B é essencial para a formação dos tecidos meristemáticos, é de absorção rápida, porém com translocação lenta. Para Dugger (1983) é o quebra-cabeças dos fisiologistas de plantas, e para Cakmak e Romheld (1997) seu papel no crescimento é ainda matéria de discussão. Ao B são atribuídas às funções de estimular ou inibir enzimas

(Marschner, 1995; Blevins e Lukaszewski, 1998). Ele está presente no metabolismo de fenóis, evitando a produção excessiva deste composto, o qual causa problemas de toxidez pelo acúmulo no tecido (Romheld e Marschner, 1991). O acúmulo de fenóis como os ácidos clorogênico e caféico causado pela carência de B inibe a enzima oxidase da auxina, causando o aumento da concentração de auxina no tecido da planta (Gauch, 1972; Tang e Fuente, 1986; Gupta, 2006), causando proliferação excessiva de células cambiais, alongamento rápido e desproporcional das células e colapso das células próximas (Srivastava e Gupta, 1996). Assim, mudanças morfológicas provocadas nas plantas por deficiência de B podem ser devidas ao acúmulo de auxina (Malavolta, 2006). No entanto, Marschner (1995) relatou que os altos níveis de auxina somente estão associados ao acúmulo de alguns compostos fenólicos, e desta forma, naquelas espécies que a carência deste micronutriente não está associada a produção destes fenóis, como o ácido caféico, por exemplo, a deficiência de B diminui o nível de auxina.

O B atua na formação da parede celular, bem como na divisão e alongação celular (Dechen et al., 1991). Ele controla a disposição do polissacarídeo que consiste predominantemente na parede celular, a celulose, a qual é inserida em uma matriz de pectina e juntamente com hemicelulose e outros elementos da parede (Taiz e Zeiger, 2004). Na parede celular, o B é parte integral do polissacarídeo péctico chamado ramnogalacturona II (RGII) que interliga duas moléculas de polissacarídeo da parede e, então, fornece muito da força física da parede, e provavelmente, também está associado a glicoproteínas ricas em prolinas, as extensinas (O'Neill e York, 2003).

O funcionamento e manutenção da integridade da membrana celular também são controlados pela concentração de B (Pollard et al., 1977; Tanada, 1983), podendo afetar significativamente a absorção iônica da membrana em situação de carência de B, o que prejudica a absorção de outros nutrientes, como o K e P (Marenco, 2005) e também prejudica a extrusão de H^+ por reduzir a atividade da ATPase (Dugger, 1983). O B forma complexos com constituintes da membrana (glicolípídios e glicoproteínas), o que contribui para a manutenção do gradiente eletrolítico através da membrana, essencial para o funcionamento de canais protéicos e enzimas (Marschner, 1995; Blevins e Lukaszewski, 1998). Conforme Marenco (2005), o acúmulo de compostos fenólicos também prejudica o funcionamento da

membrana, pois o excesso destes compostos leva à produção de radicais livres (superóxidos, O_2^-), que causam peroxidação de lipídios e danificam a membrana.

O B é particularmente importante na germinação do grão de pólen, assim como no crescimento do tubo polínico, impossibilitando a fecundação do óvulo (Miley et al., 1969; Lewis, 1980a; Agarwala et al., 1981; Lima Filho e Malavolta, 1998). Para Romheld e Marschner (1991) é possível que o B forme complexo com a calose na interface entre o tubo polínico e o estilo da flor. Na produção de algodão, a deficiência de B durante a floração e frutificação pode aumentar significativamente a queda de frutos e reduzir a produtividade e a qualidade da fibra (Miley et al., 1969). O metabolismo de carboidratos e transporte de açúcares na planta também são afetados pela deficiência de boro (Dechen et al., 1991).

A deficiência em B resulta em rápida inibição do crescimento da parte aérea e do sistema radicular (Barber, 1995; Marschner, 1995). Essa inibição ocorre em virtude da função estrutural que o nutriente desempenha na composição da parede celular (Hu e Brown, 1994) e pela mobilidade restrita do B em algumas espécies que não contém quantidades suficientes de polióis (manitol, sorbitol e dulcitol) na seiva do floema (Shu et al., 1997). Por outro lado, como a exigência para o desenvolvimento vegetativo é menor do que para a frutificação, em condições de baixa a moderada carência o algodoeiro cresce normalmente, às vezes até de forma intensa, mas acaba produzindo pouco (Rothwell et al., 1967). Quanto à qualidade de fibra, Birnbaum et al. (1974), observou que o alongamento das células da fibra de algodão (*Gossypium hirsutum*) de óvulos cultivadas *in vitro* foi prejudicado pela deficiência de B, mas a divisão celular foi rápida e resultou em formação de calo das células epidérmicas.

O quadro sintomatológico de deficiência de B é função da carência do nutriente no solo, do tempo de exposição das plantas à essa situação (Silva et al., 1982) e da magnitude da deficiência (Rosolem et al., 1999). Quando o teor de B no solo apresenta-se baixo, e dependendo da intensidade da deficiência, os sintomas de carência do elemento já pode ser visíveis logo após a emergência das plantas.

Usualmente, os primeiros sintomas ocorrem nas partes jovens, nos tecidos de condução e nos órgãos de propagação, podendo inclusive ser constatados apenas nesses últimos (Hinkle e Brown, 1968). Há queda excessiva de botões florais, de flores e

mesmo de frutos novos (Rosolem et al., 2001), possivelmente pela não fecundação do óvulo (Miley et al., 1969; Lewis, 1980a) ou pelos distúrbios causados no sistema vascular da região do pedúnculo, impossibilitando o transporte ideal de carboidrato para nestes órgãos (Zhao e Oosterhuis, 2002; Oliveira et al, 2006). Botões florais que permanecem na planta apresentam-se levemente deformados, com brácteas cloróticas e podem envolver totalmente a corola atrofiada, as pétalas crescem menos, dobram as extremidades para dentro e apresentam manchas pardas na face interna (Silva et al., 1982). Nestas condições, surgem anéis concêntricos nos pecíolos, de tonalidade de verde mais escuro, com pilosidade mais intensa e necrose interna da medula (Rosolem e Bastos, 1997). Com a queda excessiva das estruturas reprodutivas há sobra de carboidrato, o que resulta em um crescimento vegetativo vigoroso, acarretando em um aumento do ciclo das plantas que ficam mais altas e menos produtivas.

Quando a deficiência é alta e persiste durante boa parte do ciclo das plantas, há bloqueio no crescimento do ramo principal, os internódios tornam-se curtos e pode ocorrer até morte da gema terminal, os nós intumescem e chegam a rachar, exudando líquido, há superbrotamento, prolongamento de ciclo com persistente retenção da folhagem e as plantas tornam-se improdutivas (Sarruge et al., 1973). Ponteiros cloróticos, com folhas enrugadas, limbos espessos e deformados e pecíolos retorcidos, contrastam com o “baixeiro” verde, normal (Silva et al., 1979; Carvalho, 1980; Silva et al., 1982).

Como o B está envolvido em muitos processos de crescimento e fisiológicos da planta, e o entendimento dos efeitos de sua deficiência na concentração de carboidratos não estruturais no tecido do algodoeiro pode levar ao entendimento dos mecanismos de resposta da planta à deficiência do nutriente. O conhecimento da concentração e composição dos carboidratos não estruturais (frutose, sacarose e glicose e amido) no tecido da planta é um importante indicador do estado do carbono (Zhao e Oosterhuis, 2002).

Segundo Malavolta (2006), deficiência de boro afeta negativamente a fotossíntese das plantas. Embora haja diminuição da fotossíntese medida pela assimilação de CO₂ ou liberação de O₂, há um acúmulo de açúcares e de amido nas folhas das plantas deficientes (Dugger, 1983), o que indica diminuição do transporte de fotoassimilados para os órgãos de dreno (frutos), possivelmente pela menor atividade metabólica destes e/ou, pela diminuição na formação dos complexos de borato com açúcares facilitando seu transporte dentro da planta (Malavolta, 2006). Segundo Dugger (1983) o B reduz a fotossíntese pela

redução parcial da atividade de compostos nitrogenados, como por exemplo a uracila, precursora da UDPG (uridina difosfato glicose), responsável pela síntese de sacarose (Birnbaum et al., 1977). Com a diminuição da UDPG, pela ausência de B, ocorre o acúmulo de amido e diminuição na translocação de fotoassimilados (Moraes-Dallaqua, 1992).

Zhao e Oostehuis (2002) notaram que plantas de algodão cultivadas em solução nutritiva com ausência de B, apresentaram, após 5 semanas, concentrações significativamente maiores de glicose, frutose e sacarose no limbo foliar do que as plantas cultivadas com B (plantas controle). Estes mesmos autores observaram também que a partir de terceira semana após a remoção do B, a concentração de amido no limbo foliar aumentou significativamente, apresentando na quinta semana após a remoção B, concentração de amido no limbo foliar duas vezes maior em comparação com plantas controle. Zhao e Oostehuis (2002) observaram ainda que, nas condições de deficiência de B, houve decréscimos na taxa de assimilação de CO_2 com redução na translocação de fotoassimilados. A redução na taxa de fotoassimilação de CO_2 pode ser atribuída também à redução na frequência e no número de estômatos presentes na folha em caso de deficiência, resultando em decréscimos na condutância estomática do CO_2 (Sharma e Ramchandra, 1990). Leite (2002) observou menor número de estômatos em folhas de cafeeiro submetido à deficiência de B.

Plantas sem B tem menor concentração de carboidratos não estruturais nos botões florais que as plantas com mais B na quarta e quinta semana depois da remoção do B na solução (Zhao e Oostehuis, 2002). Oliveira (2003) observou que o número de estruturas reprodutivas foi influenciado pela aplicação de B na solução nutritiva, sendo incrementado à medida que a concentração do nutriente na solução foi aumentada. Rosolem e Costa (2000) levantaram a hipótese de que a queda de botões florais do algodoeiro se devia à menor translocação do nutriente para as estruturas reprodutivas em função de alterações no tecido condutor. Isso foi confirmado pelos estudos realizados por Zhao e Oosterhuis (2002) quando observaram menor concentração de carboidratos não estruturais em botões florais de plantas de algodoeiro deficientes em B. A alteração na translocação de açúcares pela deficiência de B afeta a formação da parede celular pela diminuição na síntese de bases nitrogenadas (Moraes-Dallaqua, 1992).

Segundo Xie et al. (1992), a absorção de B do solo por raízes é mais rápida do que a absorção e transporte de B aplicado via foliar em plantas de algodão. Durante

o crescimento vegetativo, o B é mobilizado principalmente para pontos de crescimento e folhas jovens, enquanto que durante o crescimento reprodutivo, o nutriente é mobilizado principalmente para folhas no caule principal e para folhas acompanhadas de órgãos reprodutivos, porém, o B não foi facilmente remobilizado de folhas velhas, mas pode ser mobilizado de folhas fotossinteticamente ativas.

Conforme Malavolta (2006), não se deve pensar que a imobilidade de um nutriente seja absoluta. Todos os nutrientes têm mobilidade maior ou menor, falando-se de absorção pelas raízes, o que ocorre é que, no caso dos imóveis, a redistribuição não é suficiente para satisfazer as necessidades dos órgãos novos – folhas, ramos, frutos e raízes. Este autor afirma que a mobilidade do B tem implicações na avaliação do estado nutricional e no manejo da adubação com esse elemento e sua mobilidade está relacionada com a produção de poliois (açúcares, açúcares alcoóis).

Conhecer a mobilidade de um nutriente no floema da planta é importante na diagnose e correção de deficiência e toxicidade (Brown e Shelp, 1997). Normalmente a descrição de sintomas e técnicas de amostragens baseia-se na premissa de que o B é imóvel na planta. Com base nessa informação, o uso de uma folha recém madura pode não ser apropriado, porque uma porção do nutriente presente neste órgão foi translocado para o xilema, não refletindo o real estado nutricional dos órgãos em crescimento (Brown e Shelp 1997). As folhas apicais jovens ou tecido do fruto poderiam ser mais representativas na diagnose (Rosolem e Costa, 2000).

O conhecimento da mobilidade dos nutrientes na planta também favorece a escolha do tipo de manejo que será adotado na correção ou prevenção da deficiência. Quando o nutriente é imóvel na planta, torna-se necessário o fornecimento direto nos novos órgãos em formação, entretanto, para elementos móveis, este tipo de manejo é desnecessário ou, então, a forma de aplicação pode ser facilitada (Siebeneichler et al., 2005).

De acordo com Brown e Hu (1996), os tecidos fotossintéticos podem ter uma concentração de poliois 100 a 500 vezes maior que a de B, e isto sugere, que pelo menos em algumas espécies, o B aplicado nas folhas pode ser mais móvel que o vindo do substrato via raízes.

A remobilização do B ocorre principalmente em plantas que são cultivadas em ambientes com baixa disponibilidade de B para a planta. Em solos com alto teor

de B, o transporte deste nutriente ocorre, normalmente, pelo fluxo transpiratório, e sua acumulação ocorre nos órgãos que apresentam a maior taxa transpiratória (Brown e Shelp, 1997).

Quanto à mobilidade do B no algodoeiro, há poucas e controversas observações. A absorção deste nutriente pelas folhas e seu movimento nas partes recém desenvolvidas tem sido bastante questionada (Anderson e Ohki, 1972). Esses autores, aplicaram 500 mg kg⁻¹ de solubor em três fases de desenvolvimento do algodoeiro e observaram que essa prática promoveu absorção pelo limbo da folha, contudo, não verificaram translocação para o pecíolo localizado no ramo principal, mostrando a imobilidade do nutriente na planta de algodão. Assim, se existe mobilidade deste elemento, nessa cultura, ela é bastante limitada (Rosolem e Costa, 2000).

Em espécies como algodão, Rosolem e Costa (2000) observaram que o B aplicado na folha não foi remobilizado do local de aplicação para as demais partes da planta, não evitando os prejuízos causados pela deficiência, mesmo que temporária, e isto denota uma mobilidade restrita desse nutriente nestas plantas, porém, os aumentos de produtividade para a cultura conseguidos por Carvalho et al. (1996) com aplicações foliares de B, sugerem que há translocação do nutriente dentro da planta. Oliveira et al., 2006 observou que as modificações anatômicas causadas pela deficiência B podem ter prejudicado a translocação B e nas regiões de crescimento do algodoeiro cv. DeltaOpal, no entanto, o acúmulo de B na parte aérea das plantas deficientes em boro sugeriu que houve alguma translocação deste nutriente dentro da planta.

É possível que essas divergências de respostas ocorram em função de cultivares. Fontes et. al, 2008, observaram diferenças de respostas entre cinco cultivares de algodão. Estes autores mostraram que as cultivares BRS Aroeira e BRS Sucupira responderam mais e a BRS Ipê respondeu menos à aplicação de doses de B. Concluíram que a variação de eficiência na utilização deste elemento foi: BRS Aroeira > CNPA 8H = BRS Antares > BRS Sucupira > BRS Ipê e que a cultivar BRS Aroeira apresentou o maior potencial para responder positivamente à adição de B no solo.

Para Rerkasem (2002) a seleção de uma cultivar eficiente na utilização de B pode prevenir quedas na produtividade e, conseqüentemente, no lucro, principalmente na situação em que a aplicação de fertilizantes B não é possível por algum motivo.

O B quando aplicado às folhas, tende a se acumular, podendo atingir níveis tóxicos e isto foi observado por Oliveira (2003). O limite entre a toxidez e a essencialidade é muito estreito (Goldberg, 1997a). Em virtude disso, a determinação da dose ideal é extremamente importante para evitar a toxicidade causada pelo nutriente (Silva et al., 1979; Carvalho, 1980; Rosolem et al., 1999).

Em algodão, a toxicidade causada por B é menos comum. Os sintomas são facilmente reconhecidos nos tecidos mais velhos da planta, pois o B após absorvido se acumula mais nas pontas e margens das folhas devido ao fluxo transpiratório, e o acúmulo é função da idade da folha (Sestren e Kroplin, 2009), por isso é característico o aparecimento de clorose internerval que evolui para crestamento e queda prematura das folhas (Silva et al., 1979).

Obertli (1994) afirma que o boro não está distribuído homogeneamente nas plantas, mas acumulado em áreas marginais, topos de folhas e entre nervuras, sendo transportado via corrente de transpiração. A concentração de B dentro da mesma folha pode variar em até 100 vezes, sendo que, desta forma, a análise foliar representa somente um valor médio do B contido nas folhas. O conteúdo também aumenta com a idade da planta e em casos extremos o B pode atingir níveis tóxicos em folhas velhas e estar deficiente em pontos de crescimento na mesma planta.

Em condições de casa de vegetação, Silva et al. (1979) observaram que plantas de algodoeiro com sintomas de toxicidade de B apresentava 590 mg kg^{-1} de matéria seca. Em condições de campo os sintomas de toxicidade apareceram com aplicações a partir de 7 kg ha^{-1} de B no solo (Ahmed et al., 2008). No Brasil foi constatada toxicidade de B com doses acima de $2,0 \text{ kg ha}^{-1}$ (Silva et al., 1982; Carvalho, 1980), observando sintomas de toxidez já em folhas cotiledonares, tanto em casa de vegetação quanto em condições de campo.

O B não ocorre em altas concentrações na solução dos solos, a menos que tenham sido realizadas adubações pesadas (Staut e Kurihara, 2001). Conforme Carvalho et al. (2001) a absorção de nutrientes no solo pode ser limitada por muitas condições: grande carga de maçãs em rápido desenvolvimento e, concomitantemente, declínio do sistema radicular ativo; redução da atividade radicular causada pela compactação do solo; acidez ou nematóides; falta temporária de umidade no solo, o que limita a difusão de nutrientes;

atividade radicular reduzida no enchimento dos capulhos; ou doenças. Desta forma, o conhecimento da interação desses fatores com a nutrição da planta pode ser útil na determinação dos benefícios potenciais da adubação em programas de nutrição do algodoeiro.

A análise foliar para fins de diagnose, o nível crítico encontrado na literatura está entre 13 e 15 mg kg⁻¹ segundo Hinkle e Brown (1968), no exterior. No Brasil, foi notada variação mais ampla, de 10 a 40 mg kg⁻¹ (Sarruge et al., 1973 e Silva et al., 1979; Silva et al., 1982). Rosolem et al. (1999) consideraram para esta cultura, teores de 16 mg kg⁻¹ em folhas recém maduras como suficientes para um bom crescimento e produção, com o nível de 21 µmol L⁻¹, onde se obteve a máxima produtividade para três variedades estudadas. No estudo de Zhao e Oosterhuis (2002), a concentração de 17 mg kg⁻¹ de B folha foi crítico, afetando o crescimento da planta de algodão e também a troca de carbono. Observaram ainda que a condutância estomática da folha, fotossíntese e a taxa de transpiração diminuíram drasticamente com diminuição de B quando a concentração na lâmina foliar era inferior a 20 mg kg⁻¹ de B.

O algodoeiro tem respondido bem à aplicação de boro, principalmente em solos arenosos, pobres em matéria orgânica, com acidez corrigida e bem adubados com N, P e K. Na ausência de calagem, a resposta é pequena e, além disso, doses maiores do que 1,5 kg ha⁻¹ de boro já causaram prejuízo na produtividade, possivelmente por fitotoxicidade. Com a calagem, aumenta o potencial de resposta ao fertilizante, fazendo com que a cultura suporte doses de boro um pouco maiores, sem prejuízo na produtividade, porém, quando a calagem é excessiva, surgem sintomas de deficiência de B (Zancanaro e Tessaro, 2006). Quanto a forma de adubação boratada, o algodoeiro tem reagido as mais diferentes formas, desde adubações sólidas no sulco de semeadura ou em cobertura no solo, até pulverizações do solo ou da planta, ou mesmo combinações desses métodos (Quaggio et al., 1991). Em estudo comparativo da eficiência de aplicação por via foliar e via solo, Banuelos et al. (1996) verificaram aumentos na concentração de B na folha de algodoeiro pela aplicação foliar. Carvalho et al. (1996) também observaram aumentos na concentração de B em folhas de algodoeiro pela aplicação complementar, contudo, verificaram que a produtividade não aumentou na mesma proporção.

Isso sugere que a aplicação do B às folhas apresenta melhor resposta em termos de concentração do nutriente na parte aplicada do que no rendimento, em virtude de

sua imobilidade ou mobilidade limitada, e por isso, se feita com muita frequência e com doses elevadas de B, podem atingir níveis tóxicos (Oliveira, 2003).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Condução do experimento

O experimento foi realizado em casa de vegetação no Departamento de Produção Vegetal, da Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Campus de Botucatu, no período de janeiro a março de 2010.

Foram preparadas soluções estoque de macro e micronutrientes (Hoagland e Arnon, 1950), para posterior diluição e preparo da solução nutritiva em que as plantas foram conduzidas (Tabela 1). Todo o estoque das soluções foi feito em recipientes de plástico, para evitar contaminações com boro.

Foram avaliadas as cultivares de algodão FMT 701 (ciclo médio/tardio); Fibermax 993 (ciclo tardio) e DP 604 BG (transgênica e de ciclo tardio), determinadas a partir de ensaio preliminar.

As sementes das três cultivares (sem tratamento com defensivo) foram colocadas para germinar em bandejas contendo areia lavada. Antes do uso, a areia foi esterilizada em estufa a 200°C durante duas horas, e posteriormente pesada, para umedecê-la na proporção de 500 ml de água deionizada para cada quilograma de areia, conforme metodologia descrita por Brasil (2009). Após a semeadura as bandejas foram acondicionadas dentro de sacos plásticos transparentes para manter a umidade até a emergência.

Após a emergência, as plantas foram retiradas da areia, tomando-se cuidado para não danificar a raiz, e transferidas para vasos de plástico (unidade experimental) com capacidade de 4 litros cada, tendo como apoio para sustentação uma placa de isopor fixada na parte superior da caixa. Foram transferidas 2 plantas de cada cultivar para cada vaso, contendo solução nutritiva diluída na proporção de 1:10 da solução original. Após uma semana, fez-se a primeira troca de solução nutritiva, substituindo por uma solução diluída na proporção de 1:5 da solução original. Após mais uma semana, fez-se a segunda troca de solução nutritiva, substituindo pela diluição original (proporção de 1:1), diluição esta que foi utilizada em todas as demais trocas semanais, até o fim do experimento. Em todas as trocas de solução nutritiva, inclusive a primeira (diluição 1:10) foram respeitadas as doses de 0,0 - 2,5 - 5,0 - 10,0 e 20,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de B.

Tabela 1. Constituição da solução nutritiva (Hoagland e Arnon, 1950).

Composto	Solução Estoque	Solução Nutritiva
	-----g L ⁻¹ -----	-----ml L ⁻¹ -----
Macronutrientes		
KH ₂ PO ₄	136,00	1,0
KNO ₃	101,10	5,0
Ca(NO ₃) ₂	236,16	5,0
MgSO ₄	246,49	2,0
Micronutrientes		
MnCl ₂ .4H ₂ O	1,81	1,0
ZnCl ₂	0,10	1,0
CuSO ₄ .5H ₂ O	0,08	1,0
H ₂ MoO ₄	0,02	1,0
<i>Solução Fe*</i>		
Na ₂ EDTA	14,89	1,0
FeCl ₃ .6H ₂ O	10,84	
Boro (¹¹B)		Doses de Boro
		0,000
		0,054
H ₃ BO ₃	2,86	0,109
		0,217
		0,435
Boro (¹⁰B)		Dose de ¹⁰B no Experimento 2
H ₃ BO ₃	3,028	0,500

*Pesar o Na₂EDTA e o FeCl₃, separadamente, diluir cada um dos reagentes em 400 mL de água destilada, juntar num becker e completar para para 1 L. Guardar na geladeira em frasco escuro e envolvido com papel alumínio.

A diluição da solução nutritiva em concentrações menores que a da solução original, nas duas primeiras semanas, foi feita com o intuito de diminuir a concentração de sais e evitar danos nas raízes das plantas. Por ocasião da quarta troca de solução nutritiva, os vasos com capacidade de 4,0 litros foram substituídos por outros com capacidade de 7,0 litros. Neste período, para evitar tombamento das plantas, foi necessário fazer o tutoramento delas, e esta prática foi feita utilizando fitilhos.

A solução nutritiva foi substituída a cada 7 dias. A oxigenação da solução nutritiva foi contínua durante todo o experimento, por meio de condutores plásticos submergidos na solução, e conectados a uma derivação do compressor de ar. Durante todo o período de condução do experimento, a solução nutritiva foi monitorada, a cada 2 dias, repondo-se o consumo de água e acertando-se o valor do pH de cada vaso para permanecer em $5,0 \pm 0,5$ gotejando-se solução de NaOH a $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ou HCl a $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ em caso da solução ter o pH elevado ou diminuído, respectivamente. No preparo das soluções estoque e nutritiva e lavagem dos materiais (todos de plástico) foi utilizada água deionizada.

O controle de eventuais pragas foi feito manualmente e, somente quando necessário, utilizou-se defensivos químicos para o controle destas e também de doenças. Durante toda condução do experimento, a umidade relativa do ar e a temperatura do ambiente foi monitorada com auxílio de um termohigrógrafo e os dados estão apresentados na Figura 1.

Para detecção de diferenças visuais quanto à deficiência a carência de B, desde o transplante das plântulas, foram feitas diariamente avaliações visuais dos sintomas de deficiência das plantas, da severidade e da evolução destes nas três cultivares em função das doses, sendo os sintomas anotados e fotografados.

Quando as plantas atingiram o estágio de emissão do primeiro botão floral (31 dias após a emergência - DAE), foram feitas medições fisiológicas não destrutivas, e nela foi determinada a taxa de assimilação de CO_2 , concentração intercelular de CO_2 , condutância estomática e taxa de transpiração, utilizando um medidor portátil de fotossíntese de sistema aberto (IRGA - LI-6400 da LICOR). A avaliação foi realizada entre 9:00 e 11:30 horas. As medições fisiológicas foram feitas no limbo da quarta folha, com a contagem iniciando a partir do ápice da planta, considerando como primeira folha, aquela mais recentemente expandida e com tamanho mínimo de 2,5 cm. Estas medições fisiológicas

também foram feitas após uma e após quatro semanas do estágio de emissão do primeiro botão floral.

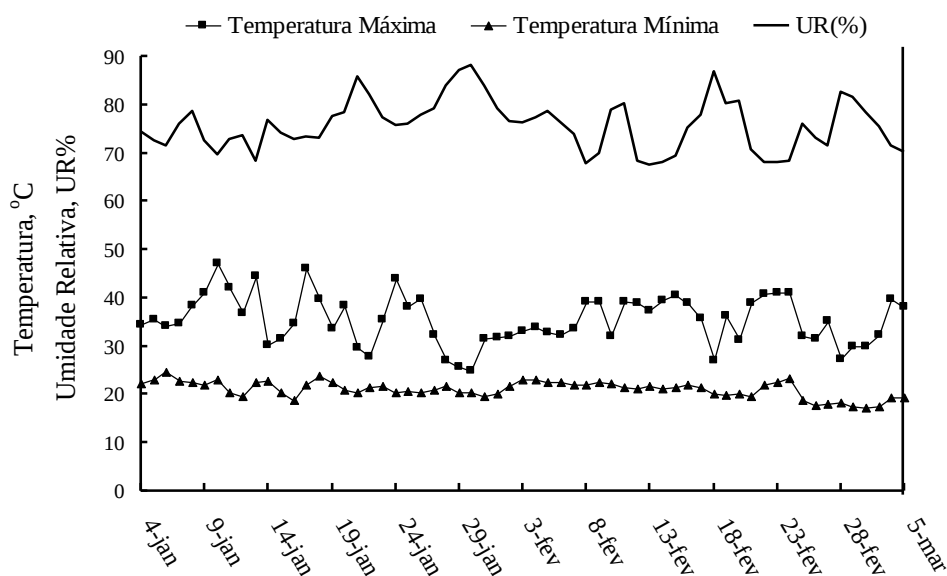


FIGURA 1. Média diária das temperaturas máximas e mínimas e da umidade relativa do ar, dentro da casa de vegetação, coletadas do dia 04/01/2010 até 14/05/2010, que corresponde o período de condução do experimento.

Para as avaliações destrutivas, foram conduzidos quatro vasos de cada tratamento, dentro de cada bloco, para realização de quatro avaliações semanais, com a primeira iniciando uma semana após a emissão do primeiro botão floral. Em cada semana, foram feitas avaliações que consistiam da separação da planta em raiz e parte aérea. A parte aérea foi separada em folhas (limbo + pecíolo), estruturas reprodutivas e haste principal mais ramificações. Também foram quantificadas, por ocasião de cada coleta, a área foliar, o número dos ramos reprodutivos e vegetativos, o número de estruturas reprodutivas presentes nas plantas (botões florais, flores e maçãs) e das abortadas (contagem das cicatrizes), a altura, o diâmetro e o número de internódios da haste principal de cada planta.

Todo material vegetal coletado foi seco a 65°C, em estufa de ventilação forçada, até peso constante, e posteriormente pesados para determinação da massa de matéria seca.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições, num esquema fatorial com 3 cultivares e 5 doses de boro. Para comparação das médias entre as cultivares, foi utilizado o teste t (LSD) com $p < 0,05$ e, para o estudo do efeito das doses de B na solução nutritiva, foi feita análise de regressão polinomial, escolhendo a significativa de melhor ajuste.

5.2. Análises químicas

5.2.1. Preparo das amostras para as análises químicas de B

Após a secagem do material vegetal, procedeu-se à moagem em moinho de facas com peneira de 10 mesh, sendo então acondicionados em sacos devidamente identificados, para posteriormente serem analisados.

5.2.2. Preparo do extrato para determinação de B

A preparação dos extratos foi realizada seguindo metodologia descrita por Malavolta et al. (1989). Transferiu-se 200 mg de amostra para um cadinho de porcelana e incinerou-se em forno elétrico a 550°C por 3 horas, até obtenção de uma cinza branca. Após o esfriamento da amostra adicionou-se 10 mL de HCl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, dissolvendo toda a cinza e então armazenada em tubos plásticos com tampa.

5.2.3. Determinação de B total

A quantificação do B total presente nas amostras foi realizada em ICP (Inductive Coupled Plasma), no comprimento de onda 249,773 nm, direto do extrato final de digestão descrita no item 5.2.2.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Avaliações fitotécnicas

Observou-se que aos cinco dias após o transplante, as plantas das três cultivares de algodão que cresceram no tratamento com omissão total de B (dose $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$) na solução já apresentavam sintomas de deficiência. Estes sintomas surgiram inicialmente nas raízes que mostravam-se mais curtas, escuras e com grande número de raízes laterais. Depois, apareceram na parte aérea mostrando menor crescimento em altura, as folhas novas do ponteiro, apresentaram-se cloróticas com nervuras salientes, com pecíolos curtos e retorcidos (Carvalho et al., 1996; Rosolem e Bastos, 1997).

Estes sintomas se agravaram com o tempo de omissão de B. Nas raízes, eles eram parecidos entre as cultivares e caracterizaram-se pelo crescimento que foi totalmente paralisado, houve a emissão de grande número de raízes laterais que não ultrapassavam 1,0 cm de comprimento, e a partir de 15 DAE o sistema radicular não apresentou crescimento significativo. Esse sintoma de deficiência é resultado da desorganização estrutural do ápice radicular, que segundo Moraes-Dallaqua (1992) também ocorreu já no início do desenvolvimento da planta. Marschner (1995) atesta que a cessação ou inibição da elongação celular de raízes é a resposta mais rápida à deficiência de B e segundo o autor, essa inibição pode ocorrer cerca de três horas após uma interrupção do suprimento de B,

sendo bastante severo após seis horas e, vinte e quatro horas após, o crescimento é completamente cessado. Na parte aérea, a resposta foi diferente entre os três materiais estudados. Aos 23 DAE surgiram as primeiras rachaduras no caule da cultivar DP604BG, sintomas estes que foram aparecer na cultivar FMT 701 e na FMX 993, 7 e 10 dias depois, respectivamente. Os sintomas na parte aérea das três cultivares foram parecidos (Figura 2), porém, na DP604BG eles sempre apareciam primeiro e evoluíam com maior severidade. Os pecíolos ficaram retorcidos, o limbo foliar deformado, encarquilhado, coreáceo, quebradiço e menor; o caule apresentava-se mais fino e com manchas escurecidas e com necrose no interior destas manchas; ocorreram morte da gema apical com superbrotamento das gemas laterais e redução na altura das plantas, que apesar de não mostrarem diferenças estatísticas, em números absolutos, a cultivar DP604BG era sempre menor na dose $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$. Praticamente todos os botões florais foram abortados neste tratamento com omissão total de B e o crescimento das plantas foi drasticamente prejudicado.



FIGURA 2. Detalhe da deficiência de B no algodoeiro cultivado sob omissão total do nutriente na solução nutritiva.

Aos 25 DAE, os primeiros sintomas de deficiência apareceram nas plantas da cultivar DP604BG cultivada no tratamento com $2,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B, caracterizado pelo surgimento de anéis concêntricos de coloração verde escura nos pecíolos das folhas mais novas e, aos 30 DAE quando os sintomas começaram a aparecer nas cultivares FMT 701 e

FMX 993, também começaram aparecer na DP604BG cultivadas no tratamento com $5,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B na solução.

Por ocasião da primeira avaliação destrutiva das plantas (uma semana após o estágio de emissão do primeiro botão floral – 38 DAE), os sintomas de deficiência existiam em todas as cultivares crescidas nos tratamentos com dose $2,5$ e $5,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B, porém, nas plantas da DP604BG, os sintomas eram muito mais severos, e mostrando no tratamento com $2,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B, anéis concêntricos no caule próxima à região do ponteiro. Aos 45 DAE (segunda avaliação destrutiva), os sintomas não apareceram nas plantas cultivadas nas doses maiores, mas nas doses $2,5$ e $5,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B, os anéis concêntricos presentes no pecíolo apresentavam-se em maior número e com coloração verde mais escura, nas três cultivares, porém, com maior intensidade na cultivar DP604BG.

Aos 52 DAE (terceira avaliação destrutiva), foram observados os primeiros sintomas de deficiência na cultivar DP604BG crescida no tratamento com $10,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B, enquanto que nas outras ainda eram inexistentes. No tratamento com $2,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B, todas as cultivares apresentavam anéis concêntricos no caule, porém, os observados na cultivar DP604BG eram maiores, mais escuros e quando cortados longitudinalmente, apresentavam uma coloração marrom escura na região interna da lesão, enquanto que nas outras cultivares esta tonalidade de marrom era mais clara (Figura 3).

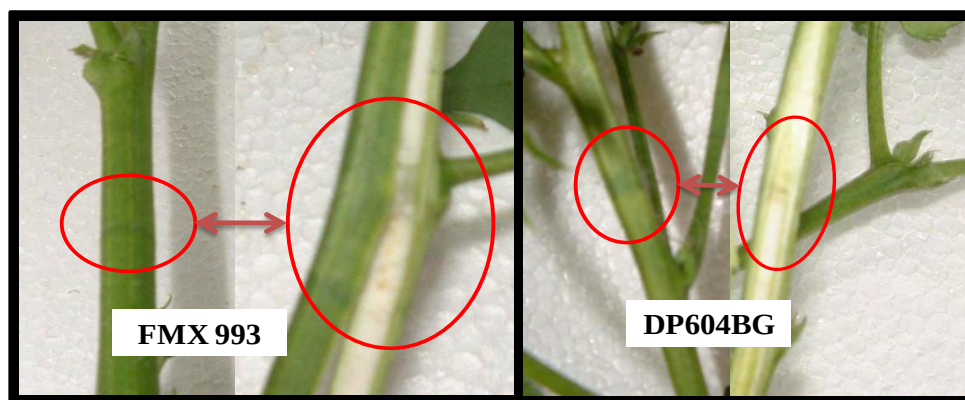


FIGURA 3. Detalhe do anel de coloração verde escuro e a necrose na parte interior desta lesão, após corte do caule das plantas crescidas sob dose $2,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B na solução nutritiva.

De acordo com Lee e Aronoff (1967) a síndrome bioquímica decorrente da carência de B é o acúmulo de compostos fenólicos, causando imediata da necrose, ficando o tecido com coloração marrom ou parda. Ainda nesta avaliação, foi observado que as plantas das cultivares DP604BG e FMX 993 cultivadas no tratamento com omissão total de B, além de rachaduras no caule, apresentavam também rachaduras nos pecíolos das folhas mais velhas.

Na última avaliação destrutiva e encerramento do experimento (quarta avaliação – 59 DAE), as plantas das três cultivares do tratamento com $2,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B apresentaram grande número de anéis concêntricos nos pecíolos das folhas, no caule e também nos ramos vegetativos, os quais apresentavam-se em maiores números, com grande quantidade de folhas e maiores, quando comparado às plantas dos tratamentos com dose 10 e $20 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B. Na cultivar DP604BG cultivada no tratamento com $2,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B, foram observadas algumas plantas que apresentavam poucos sintomas de deficiência nas flores, com as pétalas levemente deformadas e com menor tamanho, apresentando brácteas com coloração amarelada, semelhante ao relatado por Silva et al., (1979), Carvalho (1980) e Rosolem et al. (1999). Na dose $10,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B todas cultivares apresentava sintomas de deficiência, mas na DP604BG eles eram mais nítidos e intensos. Já na dose $20,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B na solução nutritiva, não foi observado sintomas de carência de B em nenhuma cultivar.

Até duas semanas após emissão do primeiro botão floral, observou-se diferença de altura entre as cultivares de algodão (Tabela 2). Na primeira semana, a cultivar FMX 993 cresceu mais que as outras e, na segunda semana cresceu mais que a cultivar DP604BG. Nas avaliações realizadas três e quatro semanas após a emissão do primeiro botão floral, não existiu diferença de altura entre as cultivares. De uma forma geral, apesar de ter existido diferenças entre as cultivares, quanto ao aparecimento nos sintomas de deficiência, principalmente com relação à DP604BG, não existiu correlação direta do surgimento destes sintomas com o crescimento das plantas.

TABELA 2. Altura, número de internódios e diâmetro do caule de plantas de algodão (médias das doses), obtida em quatro semanas após emissão do primeiro botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

FATOR	Semanas após emissão do 1º Botão Floral			
	1º Semana	2º Semana	3º Semana	4º Semana
----- Altura de plantas (cm) -----				
FMT 701	44,9	54,5	54,2	61,1
DP 604 BG	45,0	53,1	55,5	61,2
FMX 993	48,2	56,4	56,1	62,8
DMS	2,5*	2,7*	3,6 ^{ns}	4,7 ^{ns}
F _{Dose}	68,9**	79,5**	79,8**	62,6**
F _{Dose x Cultivar}	2,0 ^{ns}	1,9 ^{ns}	1,8 ^{ns}	1,1 ^{ns}
----- Número de internódios na haste principal -----				
FMT 701	8,5	10,2	9,9	10,4
DP 604 BG	8,6	10,1	9,9	10,4
FMX 993	9,0	10,6	10,3	10,9
DMS	0,4*	0,3**	0,5 ^{ns}	0,5 ^{ns}
F _{Dose}	14,8**	21,8**	50,5**	66,8**
F _{Dose x Cultivar}	0,8 ^{ns}	1,9 ^{ns}	1,2 ^{ns}	0,7 ^{ns}
----- Diâmetro do caule (mm) -----				
FMT 701	8,1	9,8	10,3	11,3
DP 604 BG	8,0	9,8	10,0	10,7
FMX 993	7,8	9,9	9,8	10,9
DMS	0,4 ^{ns}	0,4 ^{ns}	0,6 ^{ns}	0,7 ^{ns}
F _{Dose}	119,6**	190,2**	72,3**	71,9**
F _{Dose x Cultivar}	0,3 ^{ns}	2,3*	0,7 ^{ns}	0,3 ^{ns}

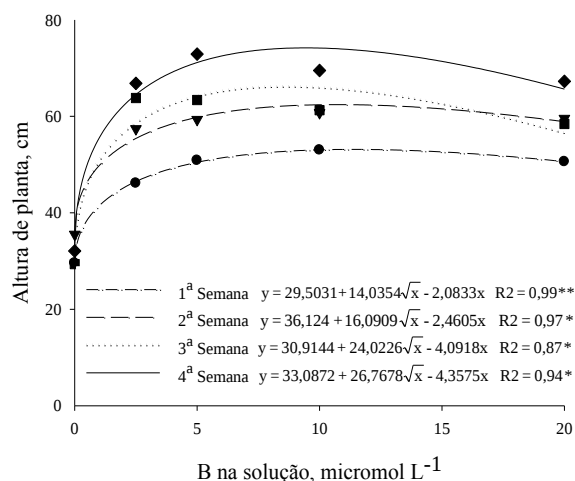
DMS = diferença mínima significativa pelo teste t (LSD), para comparação de médias na coluna.

F = valor do F calculado para a fonte de variação Dose e para interação Dose x Cultivar.

*, ** e ^{ns}, significativo (p<0,05), (p<0,01) e não significativo, respectivamente.

A altura das plantas aumentou com as doses de B na solução nutritiva até próximo a dose 5,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$, apesar de ter ocorrido crescimento máximo entre as doses 0,0 e 2,5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (Figura 4). Da dose 5,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ até 20,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ a altura das plantas manteve-se constante. Embora o B seja um nutriente importante para o crescimento do algodoeiro (Rosolem e Costa, 2000), a dose 2,5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ foi suficiente para que a planta expressasse seu máximo crescimento. Não houve interação das doses com o crescimento das três cultivares, e estas respostas se repetiram nas quatro semanas de avaliações. Como o B é um nutriente essencial para o crescimento das plantas (Malavolta et al., 1997), em condições de deficiência grande parte do nutriente fica retida na parede celular (Shorrocks, 1997), restando pequena

quantidade para ser redistribuído para as regiões de crescimento (Matoh, 1997) em função disso, a planta tem seu crescimento alterado.



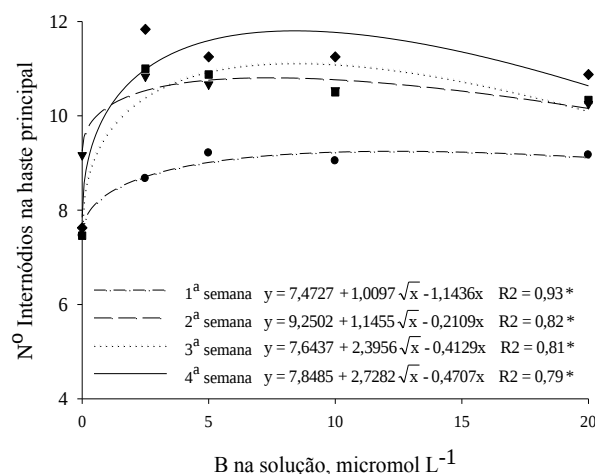
* e ** significativo ($p < 0,05$ e $0,01$), respectivamente.

●, ▼, ■ e ♦ = 1º, 2º, 3º e 4º semana, respectivamente.

FIGURA 4. Média da altura das cultivares de algodão, obtida em quatro semanas a partir da emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

O número de internódios também foi diferente entre as cultivares até a segunda semana, e estas diferenças desapareceram a partir da terceira avaliação (Tabela 2). Na primeira semana após a emissão do botão floral, a cultivar FMX 993 apresentou maior número de internódios que a FMT 701, e que as cultivares FMT 701 e DP604G na segunda semana.

Nas quatro semanas de avaliação a ausência de B na solução (dose 0,0) afetou bastante a produção de internódios, e apesar do ajuste mostrar aumento dos valores até próximo da dose $7,0 \mu\text{mol L}^{-1}$, observou-se, em números absolutos que, já na dose de $2,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ os valores foram semelhantes aos obtidos nas doses maiores que esta última (Figura 5). Em nenhuma semana de avaliação, foi observada interação das doses de B com as cultivares de algodão. Oliveira (2003) trabalhou com doses menores de B e observou que a altura da cultivar DeltaOpal foi crescente com o aumento da dose, mas, a partir de $3,0 \mu\text{mol L}^{-1}$, o aumento foi pouco expressivo, considerando que em termos absolutos, o aumento obtido pela aplicação da dose $1,5 \mu\text{mol L}^{-1}$, foi maior que aquele observado quando a dose passou de $1,5$ para $3,0 \mu\text{mol L}^{-1}$.



* significativo ($p < 0,05$).

●, ▼, ■ e ♦ = 1º, 2º, 3º e 4º semana, respectivamente.

FIGURA 5. Média do número de internódios na haste principal de cultivares de algodão, obtida em quatro semanas a partir da emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

O menor crescimento das plantas na dose 0,0 pode ser explicado por Marschner (1995) que relatou que a carência de B causa inibição do crescimento por afetar os tecidos meristemáticos, devido à função que exerce na formação da parede, divisão e na alongação das células (Dechen et al., 1991, Gupta, 2006), assim como no metabolismo do carbono, fundamental para a crescimento das plantas, que é alterado, comprometendo a síntese de carboidratos essenciais ao crescimento das plantas (Zhao e Oosterhuis, 2002).

Não houve diferença no diâmetro da haste principal entre as três cultivares, nas quatro semanas de avaliações (Tabela 2). Quanto ao efeito da dose, nas quatro avaliações realizadas após a emissão do primeiro botão, as respostas seguiram a mesma tendência que a altura, apresentando máximo diâmetro da haste próximo à dose 5,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (Figura 6). Em condições de carência severa de B, todo crescimento da planta é drasticamente afetado, pois ocorre a má formação e/ou desorganização dos vasos condutores, os quais se apresentavam em menor número, e com parede mais espessa (Oliveira et al., 2006) e este distúrbio reduz a translocação de fotoassimilados das folhas para os locais de crescimento e para os frutos, causando sua queda (Zhao e Oosterhuis, 2002). Quando a deficiência é menos severa, um dos sintomas de deficiência de B na planta é o engrossamento do caule (Silva et al., 1982; Carvalho et al., 1996) devido as alterações entre fonte e dreno em favor da parte

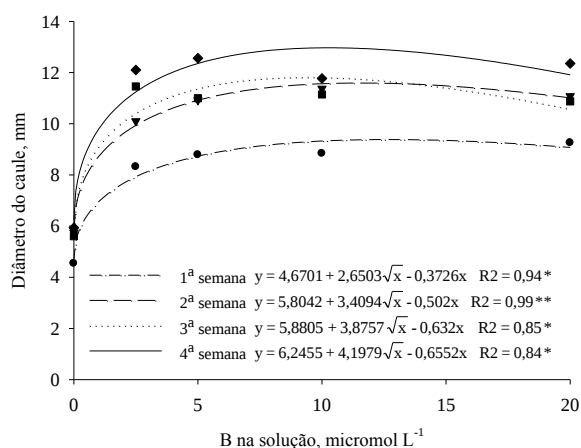
vegetativa (Rosolem et al., 2001), e por isso, as plantas sob deficiência amena, apresentam diâmetro da haste principal semelhante ou até maior ao daquela com suprimento normal.

Houve interação das doses de B com as cultivares quanto ao diâmetro do caule somente na avaliação realizada duas semanas após a emissão do primeiro botão floral, e as cultivares responderam de forma bem semelhante em função do aumento da dose de B (Figura 7), porém, na maior dose (20,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$) o diâmetro do caule na cultivar FMX 993 apresentou-se maior quando comparado ao das FMT 701 e DP604BG (Tabela 3).

TABELA 3. Média do diâmetro do caule de cultivares de algodão, obtida na segunda semana após emissão do primeiro botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

Cultivares	Concentrações de B na solução nutritiva ($\mu\text{mol L}^{-1}$)				
	0,0	2,5	5,0	10,0	20,0
	----- Diâmetro do caule (mm) -----				
FMT 701	5,9	10,4	10,6	11,4	10,8
DP 604 BG	5,9	9,6	11,1	11,7	10,7
FMX 993	5,4	10,3	11,0	11,1	11,8
DMS			0,8*		

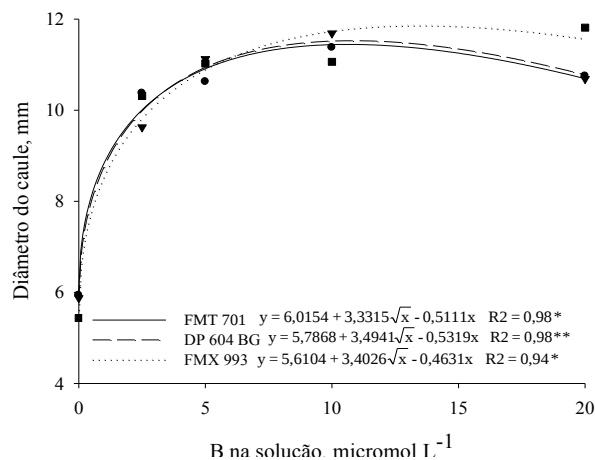
* significativo ($p < 0,05$). DMS = diferença mínima significativa pelo teste t (LSD), para comparação na coluna.



* e ** significativo ($p < 0,05$ e $0,01$), respectivamente.

●, ▼, ■ e ◆ = 1º, 2º, 3º e 4º semana, respectivamente.

FIGURA 6. Média do diâmetro do caule, obtida em quatro semanas, a partir da emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.



* e ** significativo ($p < 0,05$ e $0,01$), respectivamente.

●, ▼ e ■ = FMT701, DP604BG e FMX993, respectivamente.

FIGURA 7. Média do diâmetro do caule de cultivares de algodão, obtida duas semanas após emissão do 1º botão, em função de doses de B na solução nutritiva.

O número de ramos reprodutivos e vegetativos não diferiu entre as cultivares de algodão, em todas avaliações feitas após a emissão do primeiro botão (Tabela 4), mas existiu efeito da aplicação das doses de B na solução nutritiva quanto ao número de ramos reprodutivos e vegetativos até a quarta semana (Figura 8 e 9), com exceção da avaliação do número de ramos reprodutivos realizada uma semana após a emissão do primeiro botão floral.

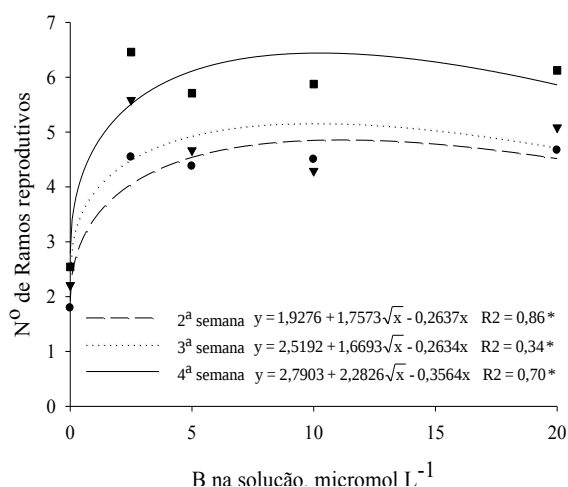
TABELA 4. Média do número de ramos reprodutivos e vegetativos de algodoeiro, obtido em quatro semanas, após emissão do primeiro botão floral, em função de doses de B na solução.

FATOR	Semanas após emissão do 1º Botão Floral			
	1º Semana	2º Semana	3º Semana	4º Semana
----- Número de ramos reprodutivos -----				
FMT 701	3,0	4,0	4,4	5,4
DP 604 BG	2,9	4,0	4,3	5,1
FMX 993	3,3	4,0	4,4	5,5
DMS	0,5 ^{ns}	0,4 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,5 ^{ns}
F _{Dose}	4,0 ^{ns}	45,8**	35,1**	47,6**
F _{Dose x Cultivar}	0,6 ^{ns}	2,4*	1,4 ^{ns}	0,6 ^{ns}
----- Número de ramos vegetativos -----				
FMT 701	2,7	2,9	2,9	2,7
DP 604 BG	3,0	3,2	3,0	2,6
FMX 993	2,7	3,1	2,7	2,4
DMS	0,5 ^{ns}	0,4 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,6 ^{ns}
F _{Dose}	4,9**	10,4**	23,7**	15,5**
F _{Dose x Cultivar}	0,3 ^{ns}	2,7*	1,2 ^{ns}	0,3 ^{ns}

DMS = diferença mínima significativa pelo teste t (LSD), para comparação de médias na coluna.

F = valor do F calculado para a fonte de variação Dose e para interação Dose x Cultivar.

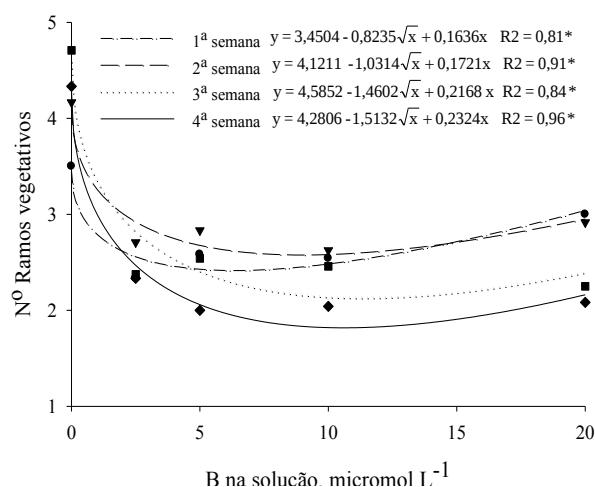
*, ** e ^{ns}, significativo (p<0,05), (p<0,01) e não significativo, respectivamente.



* significativo ($p < 0,05$).

●, ▼ e ■ = 2º, 3º e 4º semana, respectivamente.

FIGURA 8. Média do nº de ramos reprodutivos de algodoeiro, obtido em três semanas, a partir da emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.



* significativo ($p < 0,05$).

●, ▼, ■ e ◆ = 1º, 2º, 3º e 4º semana, respectivamente.

FIGURA 9. Média do nº de ramos vegetativos de algodoeiro, obtido em quatro semanas, a partir da emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

Os ramos reprodutivos mostraram número máximo na haste principal próximo à dose $2,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B (Figura 8), enquanto que os números de ramos vegetativos apresentaram-se em valores mínimos na haste principal próximo à mesma dose (Figura 9). Com a diminuição do número total de internódios pela menor disponibilidade de B na solução, era de se esperar que o número de ramos fosse menor, mas, além disso, os dados mostraram que além da diminuição do número de ramos reprodutivos, a carência de B na solução favoreceu a formação de mais ramos vegetativos e isto pode ser explicado porque os distúrbios causados na fisiologia de crescimento e desenvolvimento da planta pela deficiência de B favorecem mais o crescimento vegetativo que o reprodutivo (Rothwell et al., 1967).

Na segunda semana após a emissão do primeiro botão floral, houve interação das doses de B com as três cultivares de algodão, tanto para o número de ramos reprodutivos como para os vegetativos (Tabela 5). A cultivar DP604BG apresentou maior número de ramos reprodutivos que as outras cultivares na dose $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$, e a partir da dose $2,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B, não houve mais diferenças entre as cultivares. Para o número de ramos vegetativos, a cultivar FMX 993 na dose $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ e a FMT 701 na dose $2,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B

apresentaram, respectivamente, maior quantidade de ramos vegetativos que as demais. Nas maiores doses, não existiu diferença entre as cultivares (Tabela 5).

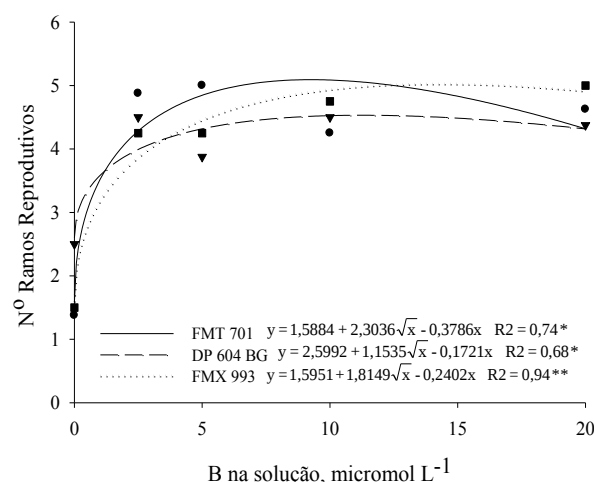
Quanto à resposta das cultivares às doses de B, observou que o número de ramos reprodutivos, nos três materiais, seguiu a mesma tendência quanto ao aumento das doses de B (Figura 10). Já para o número de ramos vegetativos, apenas as cultivares FMT 701 e FMX 993 responderam significativamente as doses de B. A FMT 701 produziu mais ramos vegetativos na menor dose e menos ramos na maior dose, em comparação com a FMX 993 (Figura 11). O aumento dos ramos vegetativos em condições de deficiência do B ocorre devido à função que o B exerce nos meristemas sobre a divisão celular (Dell e Huang, 1997; Marschner, 1995), pois a carência deste micronutriente proporciona um menor crescimento monopodial, ou seja, há um desequilíbrio entre a produção de auxinas e citocininas ocasionando aumento das ramificações a partir das gemas laterais. Num estudo sobre efeitos do B na anatomia de tomateiro Kouchi e Kumazawa (1976) verificaram declínio na atividade meristemática na região apical, inibindo a elongação celular e impedindo completamente a divisão celular, com aumento da quantidade de ramificações laterais, e este efeito também foi observado por Moraes-Dallaqua (1992) em raízes de feijão.

O aumento de ramos vegetativos não é desejável, porque estes não trazem rendimentos produtivos à planta, pois será mais um dreno que consumirá fotoassimilados que a planta poderia estar utilizando para produção de fibras.

TABELA 5. Média do número de ramos reprodutivos e vegetativos de cultivares de algodão, obtido na segunda semana após emissão do primeiro botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

Cultivares	Concentrações de B na solução nutritiva (μmol L ⁻¹)				
	0,0	2,5	5,0	10,0	20,0
	----- Número de ramos reprodutivos planta ⁻¹ -----				
FMT 701	1,4	4,9	4,9	4,3	4,6
DP 604 BG	2,5	4,5	4,0	4,5	4,4
FMX 993	1,5	4,3	4,3	4,8	5,0
DMS	0,9*				
	----- Número de ramos vegetativos planta ⁻¹ -----				
FMT 701	3,9	1,9	2,9	2,4	3,3
DP 604 BG	3,8	3,1	2,8	3,1	3,3
FMX 993	4,9	3,1	2,9	2,4	2,3
DMS	1,0*				

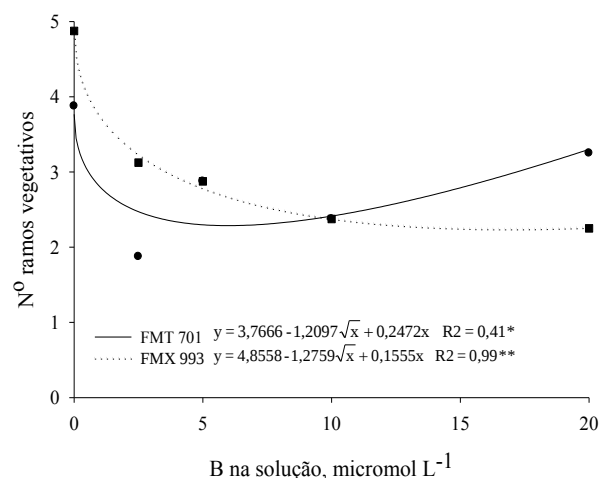
* significativo ($p < 0,05$). DMS = diferença mínima significativa pelo teste t (LSD), para comparação na coluna.



* e ** significativo ($p < 0,05$ e $0,01$), respectivamente.

$\bullet$, ∇ e $\blacksquare$ = FMT701, DP604BG e FMX993, respectivamente.

FIGURA 10. Média do n° de ramos reprodutivos de três cultivares de algodão, obtida na segunda semana após emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.



* e ** significativo ($p < 0,05$ e $0,01$), respectivamente.

$\bullet$ e $\blacksquare$ = FMT701 e FMX993, respectivamente.

FIGURA 11. Média do n° de ramos vegetativos de duas cultivares de algodão, obtida na segunda semana após emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

Não houve diferença significativa entre cultivares quanto ao número de estruturas reprodutivas presentes nas plantas e de abortadas, até a quarta semana após a emissão do primeiro botão floral, exceto na segunda semana, quando o número de estruturas reprodutivas abortadas pela FMX 993 foi maior que nas outras cultivares estudadas (Tabela 6).

O número de estruturas reprodutivas presente nas plantas apresentaram um máximo próximo a dose de $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B (Figura 12), enquanto que nesta mesma dose, o número de estruturas abortadas foi o menor (Figura 13). Contudo, ao se observar os números absolutos, nota-se que na dose $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B, o número de estruturas presentes nas plantas foi prejudicado em comparação às demais doses devido grande número de abortos (Figura 13). A partir da dose 2,5 até $20,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B, o número de estruturas presentes é constante, e este comportamento se repetiu em todas as avaliações (Figura 12).

TABELA 6. Média do número de estruturas reprodutivas fixadas (botões florais, flores e maçãs) e abortadas de cultivares de algodão, obtido em quatro semanas, após emissão do primeiro botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

FATOR	Semanas após emissão do 1º Botão Floral			
	1ª Semana	2ª Semana	3ª Semana	4ª Semana
----- Número de estruturas reprodutivas -----				
FMT 701	4,4	6,6	4,9	6,4
DP 604 BG	3,8	6,4	5,7	7,0
FMX 993	4,6	7,1	5,8	7,0
DMS	1,0 ^{ns}	0,9 ^{ns}	1,2 ^{ns}	0,9 ^{ns}
F _{Dose}	20,6**	78,1**	35,2**	87,2**
F _{Dose x Cultivar}	0,5 ^{ns}	1,8 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,7 ^{ns}
----- Número de estruturas reprodutivas abortadas -----				
FMT 701	0,4	0,8	2,6	2,7
DP 604 BG	0,5	1,0	2,1	3,0
FMX 993	0,4	1,4	2,1	3,0
DMS	0,3 ^{ns}	0,3**	0,5 ^{ns}	0,5 ^{ns}
F _{Dose}	31,1**	50,8**	13,0**	6,1**
F _{Dose x Cultivar}	0,6 ^{ns}	2,9*	0,6 ^{ns}	0,7 ^{ns}

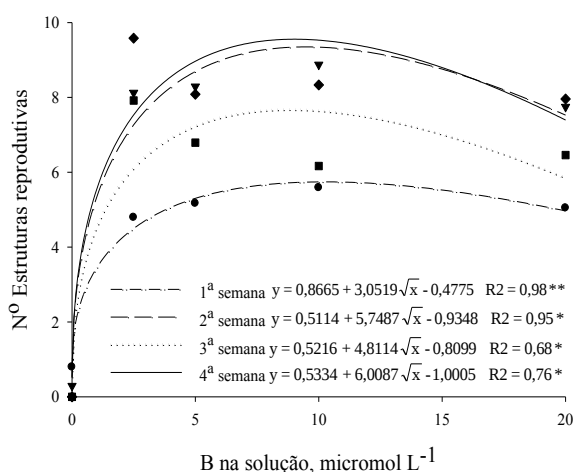
DMS = diferença mínima significativa pelo teste t (LSD), para comparação de médias na coluna.

F = valor do F calculado para a fonte de variação Dose e para interação Dose x Cultivar.

*, ** e ^{ns}, significativo ($p < 0,05$), ($p < 0,01$) e não significativo, respectivamente.

No algodoeiro ocorre produção de um grande número de estruturas reprodutivas e o abortamento de até 60% destas é considerado normal (Oosterhuis, 1999), mas

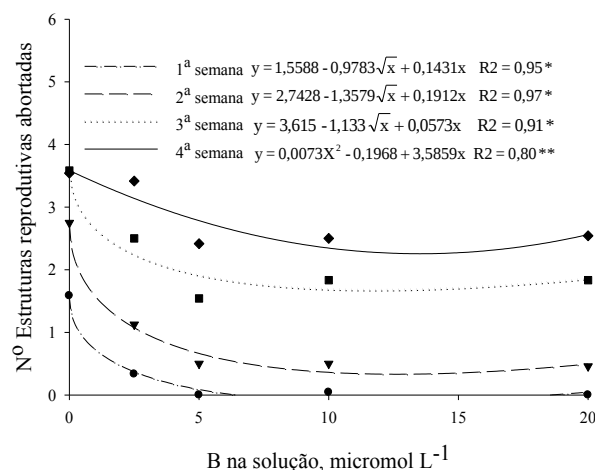
neste experimento foi observado que, nas menores doses de B, quando há maior carência do elemento, o abortamento foi maior que o considerado normal, tendo como comparação os tratamentos com as doses não deficientes, evidenciando a importância do B no pegamento das estruturas reprodutivas produzidas, devido a função do B na fecundação das flores (Miley et al., 1969; Agarwala et al., 1981; Lima Filho e Malavolta, 1998) e no transporte de carboidratos para seu crescimento (Zhao e Oosterhuis, 2002).



* e ** significativo ($p < 0,05$ e $0,01$), respectivamente.

●, ▼, ■ e ◆ = 1º, 2º, 3º e 4º semana, respectivamente.

FIGURA 12. Média do n° de estruturas reprodutivas, obtida em quatro semanas, a partir da emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.



* e ** significativo ($p < 0,05$ e $0,01$), respectivamente.

●, ▼, ■ e ◆ = 1º, 2º, 3º e 4º semana, respectivamente.

FIGURA 13. Média do n° de estruturas reprodutivas abortadas, obtida em quatro semanas, a partir da emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

Conforme Oliveira et al (2006), os distúrbios causados no sistema vascular da região do pedúnculo, podem impossibilitar o transporte ideal de carboidratos para estes órgãos causando o abortamento. Oliveira (2003) também observou menor número de estruturas reprodutivas nas doses deficientes e, à medida que a concentração do nutriente na solução foi aumentada, houve um incrementado das estruturas fixadas. Nos tratamentos com baixa disponibilidade de B, os botões florais tornaram-se necróticos e caíram da mesma forma que descrito por Rosolem e Bastos (1997). O abortamento das estruturas reprodutivas em

condições de carência é uma resposta do algodoeiro à baixa mobilidade de B (Anderson e Ohki, 1972).

Não houve interação das doses de B com as cultivares quanto ao número de estruturas reprodutivas presentes na planta (Tabela 6). Quanto ao número de abortos, a interação existiu somente na segunda semana após a emissão do primeiro botão floral (Tabela 7).

TABELA 7. Média do número de estruturas reprodutivas abortadas de cultivares de algodão, obtida na segunda semana após emissão do primeiro botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

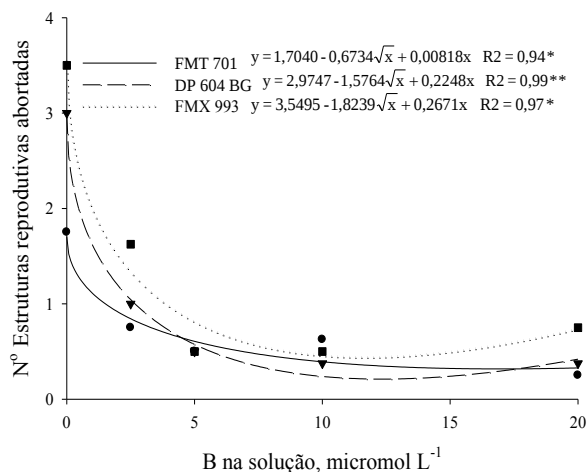
Cultivares	Concentrações de B na solução nutritiva ($\mu\text{mol L}^{-1}$)				
	0,0	2,5	5,0	10,0	20,0
	----- Número de estruturas reprodutivas abortadas planta ⁻¹ -----				
FMT 701	1,8	0,5	0,5	0,6	0,3
DP 604 BG	3,0	1,0	0,5	0,4	0,4
FMX 993	3,5	1,6	0,5	0,5	0,8
DMS	0,7*				

* significativo ($p < 0,05$). DMS = diferença mínima significativa pelo teste t (LSD), para comparação na coluna.

Na dose $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B as cultivares FMX 993 e DP604BG abortaram mais estruturas que a FMT 701, e na dose $2,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ a cultivar FMX 993 apresentou maior número de aborto que a DP604BG (Tabela 7). Nas maiores doses (acima de $5,0 \mu\text{mol L}^{-1}$), não houve mais diferenças entre as cultivares. Quando analisado o efeito das doses entre as cultivares duas semanas da emissão do botão floral, observou-se que os três materiais tiveram uma tendência de resposta parecida, apresentando maior intensidade de abortamento entre as doses de $0,0$ e $5,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B (Figura 14).

Duas semanas após a emissão do primeiro botão floral, a cultivar BG604BG apresentou maior área foliar que a FMT 701 (Tabela 8). Nas demais semanas de avaliações, não houve diferenças entre as cultivares. Na dose $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B, a área foliar foi fortemente prejudicada, e mesmo com o aumento da idade da planta a área foliar praticamente não se alterou, ou seja, da primeira avaliação até a quarta avaliação, não houve incremento da área foliar neste tratamento (Figura 15). Já com aplicação de $2,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B na solução nutritiva, a produção de área foliar teve um forte incremento fazendo com que não fosse possível observação de uma menor área foliar, quando comparada as doses maiores e

não deficientes. Assim, uma pequena quantidade de B foi suficiente para cumprir o papel estrutural e funcionamento das membranas, bem como as funções de alongação e divisão das células das folhas (Pollard et al., 1977; Tanada, 1983; Dechen et al., 1991).



* e ** significativo ($p < 0,05$ e $0,01$), respectivamente.

●, ▼ e ■ = FMT701, DP604BG e FMX993, respectivamente.

FIGURA 14. Média do número de estruturas reprodutivas abortadas de três cultivares de algodão, obtida na segunda semana após emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

TABELA 8. Média da área foliar de cultivares de algodão, obtida em quatro semanas, após emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

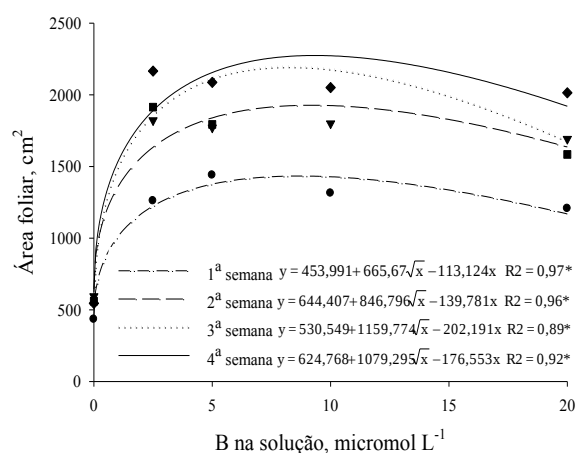
FATOR	Semanas após emissão do 1º Botão Floral			
	1º Semana	2º Semana	3º Semana	4º Semana
	----- Área foliar (cm ²) -----			
FMT 701	1121,8	1481,2	1994,5	1738,4
DP 604 BG	1122,5	1602,6	1560,9	1795,1
FMX 993	1146,3	1522,7	1455,7	1784,1
DMS	108,0 ^{ns}	94,8*	856,9 ^{ns}	270,7 ^{ns}
F _{Dose}	66,7**	152,2**	3,3*	31,6**
F _{Dose x Cultivar}	1,1 ^{ns}	1,4 ^{ns}	0,7 ^{ns}	0,8 ^{ns}

DMS = diferença mínima significativa pelo teste t (LSD), para comparação de médias na coluna.

F = valor do F calculado para a fonte de variação Dose e para interação Dose x Cultivar.

*, ** e ^{ns}, significativo ($p < 0,05$), ($p < 0,01$) e não significativo, respectivamente.

Seguindo a curva de ajuste dos dados entre as doses, existiu um incremento da área foliar até a dose próxima de $7,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B, nas quatro semanas de avaliações, e desta dose até $20,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B, observou-se um decréscimo da área foliar (Figura 15), indicando doses acima de $7,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B pode ser tóxica. As folhas são os principais órgãos de acúmulo de B e este acúmulo é maior em função da dose e da idade da folha, assim, nas espécies como o algodoeiro, que possuem baixa mobilidade de B, estes são os primeiros órgãos que indicam os sintomas iniciais de toxidez ao B (Brown e Hu, 1998).



* significativo ($p < 0,05$).

●, ▼, ■ e ◆ = 1º, 2º, 3º e 4º semana, respectivamente.

FIGURA 15. Média da área foliar de algodoeiro, obtida em quatro semanas a partir da emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

A produção de massa de matéria seca de raiz não foi diferente entre as cultivares de algodão estudadas (Tabela 9). O tratamento com ausência de B ($0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$) prejudicou fortemente a produção de raízes desde o começo do ciclo, ocorrendo escurecimento das raízes, emissão exagerada de raízes laterais e engrossamento das raízes, implicando em um baixo peso de matéria seca (Figura 16), confirmando que é essencial a presença de B nos tecidos de crescimento, devido às funções que este elemento exerce na formação da parede, divisão e alongamento celular (Dechen et al., 1991; Hu e Brown, 1994; Dell e Huang, 1999).

TABELA 9. Média da massa de matéria seca da raiz, caule (haste principal + ramos), folhas (limbo + pecíolo), estruturas reprodutivas (botões florais + flores + maçãs) e total de cultivares de algodão, obtida em quatro semanas após emissão do primeiro botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

FATOR	Semanas após emissão do 1º Botão Floral			
	1º Semana	2º Semana	3º Semana	4º Semana
----- Massa de matéria seca da raiz (g) -----				
FMT 701	4,8	3,6	3,2	3,7
DP 604 BG	4,6	3,8	3,2	3,4
FMX 993	4,7	3,4	3,0	3,6
DMS	0,3 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,5 ^{ns}
F _{Dose}	71,7**	28,4**	38,3**	49,1**
F _{Dose x cultivar}	1,3 ^{ns}	1,9 ^{ns}	2,3*	0,6 ^{ns}
----- Massa de matéria seca do caule (g) -----				
FMT 701	7,08	8,1	10,4	13,9
DP 604 BG	6,9	8,2	10,0	13,7
FMX 993	7,4	8,7	9,9	14,0
DMS	0,6 ^{ns}	0,7 ^{ns}	1,2 ^{ns}	1,3 ^{ns}
F _{Dose}	62,4**	141,9**	63,8**	119,7**
F _{Dose x cultivar}	0,4 ^{ns}	1,9 ^{ns}	0,9 ^{ns}	1,5 ^{ns}
----- Massa de matéria seca da folha (g) -----				
FMT 701	6,3	9,5	10,6	13,2
DP 604 BG	6,5	10,7	11,6	13,5
FMX 993	6,7	10,1	10,9	13,2
DMS	0,7 ^{ns}	0,8**	1,6 ^{ns}	1,2 ^{ns}
F _{Dose}	50,4**	107,6**	28,3**	93,4**
F _{Dose x cultivar}	0,7 ^{ns}	1,8 ^{ns}	1,4 ^{ns}	1,0 ^{ns}
----- Massa de matéria seca das estruturas reprodutivas (g) -----				
FMT 701	-	0,4	0,8	1,3
DP 604 BG	-	0,3	0,6	1,4
FMX 993	-	0,5	0,7	1,5
DMS	-	0,1*	0,16*	0,2 ^{ns}
F _{Dose}	-	26,5**	31,5**	52,2**
F _{Dose x cultivar}	-	2,0 ^{ns}	2,2*	1,6 ^{ns}

DMS = diferença mínima significativa pelo teste t (LSD), para comparação de médias na coluna.

F = valor do F calculado para a fonte de variação Dose e para interação Dose x Cultivar.

*, ** e ^{ns}, significativo (p<0,05), (p<0,01) e não significativo, respectivamente.

Já, na dose 2,5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de B, houve maior produção de raiz, e o aumento da matéria seca mostra que uma dose mínima desse nutriente já foi suficiente para que o processo de divisão celular ocorresse, embora houvesse necessidade de maior disponibilidade para permitir o desenvolvimento normal da planta, haja vista, nesta última

dose, os sintomas típicos de deficiência de B como anéis concêntricos nos pecíolos, de tonalidade de verde mais escuro, com pilosidade mais intensa e necrose interna da medula, descrito por Rosolem e Bastos (1997), eram facilmente notados. Segundo Marschner (1995), redução na produção de raízes é um dos primeiros sintomas de deficiência do nutriente em plantas e essa inibição pode ocorrer rapidamente quando há deficiência de B. Cerca de três horas após a interrupção do suprimento de B, o crescimento radicular foi reduzido sendo bastante severo após seis horas e, vinte e quatro horas após, o crescimento é completamente cessado (Dell e Huang, 1997; Marschner, 1995), dado a importância que o nutriente exerce sobre a divisão celular.

A máxima produção ocorreu próximo da dose $5,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B, sem alterações acima desta dose, conforme dos dados, nas quatro semanas de avaliações (Figura 16). Foi verificada interação das doses de B com as cultivares somente após três semanas da emissão do primeiro botão floral, mostrando apenas que, na dose $5,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B, a cultivar DP604BG apresentou maior produção de raiz que as outras cultivares (Tabela 10), contudo, isto não é suficiente para afirmar que este material tem um melhor desenvolvimento radicular em condições de carência de B, haja vista que, em todas as outras avaliações, não foram observadas diferenças entre as cultivares, e ainda, as respostas dos três materiais foram semelhantes, entre as doses de B estudadas, principalmente nas menores (Figura 17).

TABELA 10. Média da matéria seca da raiz de cultivares de algodão, obtida na terceira semana após emissão do primeiro botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

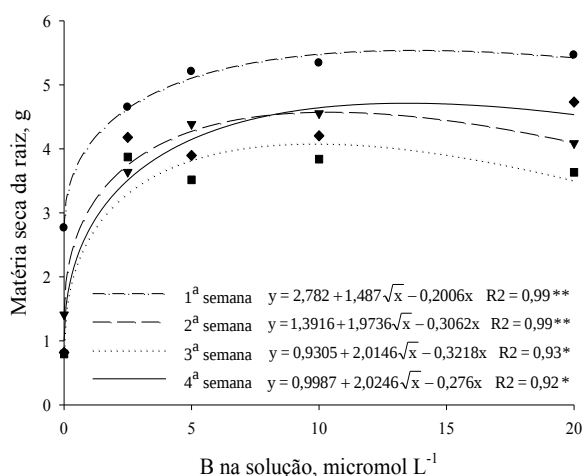
Cultivares	Concentrações de B na solução nutritiva ($\mu\text{mol L}^{-1}$)				
	0,0	2,5	5,0	10,0	20,0
	----- Massa de matéria seca da raiz (g) -----				
FMT 701	0,7	4,4	3,1	3,9	4,1
DP 604 BG	0,8	3,8	4,4	3,3	3,8
FMX 993	0,9	3,5	3,1	4,4	3,0
DMS			1,1*		

* significativo ($p < 0,05$). DMS = diferença mínima significativa pelo teste t (LSD), para comparação na coluna.

Estas mesmas observações podem ser feitas com relação à produção de matéria seca do caule e das folhas, pois, até quatro semanas da emissão do primeiro botão floral, não foi verificada nenhuma diferença entre as cultivares, bem como interação destas

com as doses de B aplicadas na solução nutritiva (Tabela 9). Rosolem et al. (2009) observou diferença na produção de matéria seca, tanto da raiz quanto da parte aérea entre as cultivares FMT 701, FMT 523, FMX 993 e FMX 910 quando foram cultivadas em condições de deficiência e condições normais de disponibilidade de B para as plantas.

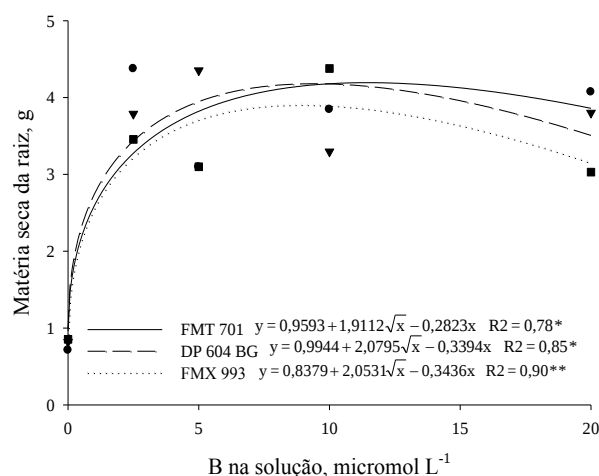
Considerando apenas o fator dose, houve um efeito positivo com o aumento das doses de B na solução, mostrando que os dados de produção de matéria seca de caule e das folhas, nas quatro semanas de avaliação, se ajustaram ao mesmo modelo (Figuras 16 e 17). Como observado nas avaliações anteriores, à ausência de B prejudicou o crescimento do caule (Tabela 2) e da área foliar (Tabela 8), e este efeito proporcionou também uma menor produção de matéria seca destas estruturas.



* e **, significativo ($p < 0,05$ e $0,01$), respectivamente.

●, ▼, ■ e ◆ = 1º, 2º, 3º e 4º semana, respectivamente.

FIGURA 16. Média da matéria seca de raiz de algodoeiro, obtida em quatro semanas a partir da emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.



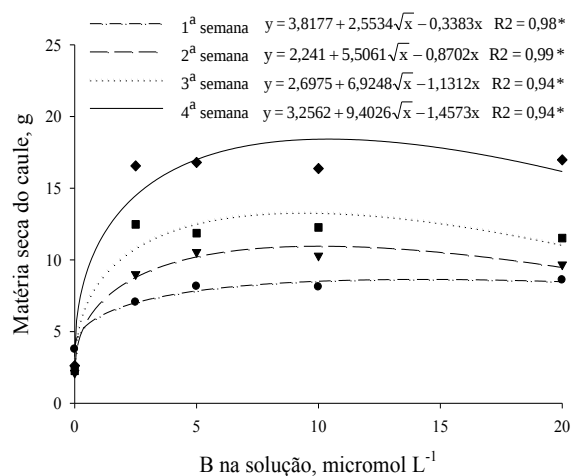
* e **, significativo ($p < 0,05$ e $0,01$), respectivamente.

●, ▼ e ■ = FMT701, DP604BG e FMX993, respectivamente.

FIGURA 17. Média da matéria seca da raiz de três cultivares de algodão, obtida na terceira semana após emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

Com o aumento da dose de B na solução, houve um incremento da matéria seca do caule e das folhas até próximo da dose de $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B, que foi mais intenso em função do maior número de semanas após a emissão do primeiro botão floral,

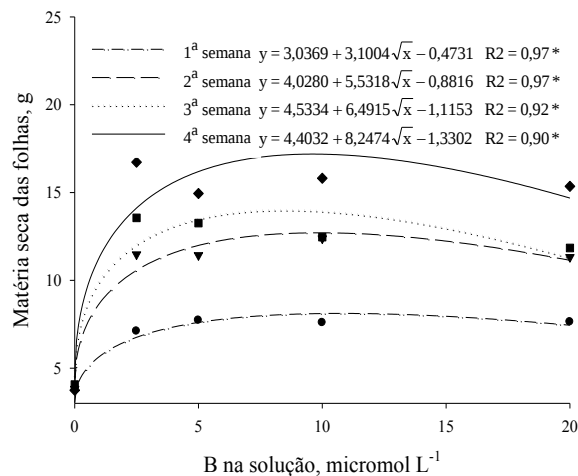
(Figuras 18 e 19). De 6,0 até 20,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de B na solução nutritiva, a produção de matéria seca manteve-se praticamente constante.



** significativo ($p < 0,01$).

●, ▼, ■ e ◆ = 1º, 2º, 3º e 4º semana, respectivamente.

FIGURA 18. Média da matéria seca do caule de algodoeiro, obtida em quatro semanas, a partir da emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.



* significativo ($p < 0,05$).

●, ▼, ■ e ◆ = 1º, 2º, 3º e 4º semana, respectivamente.

FIGURA 19. Média da matéria seca de folhas de algodoeiro, obtida em quatro semanas, a partir da emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

Oliveira (2003) também observou que a produção tanto de folhas quanto de hastes foi prejudicada pela carência de B na solução, e relatou que para os dois parâmetros, os maiores valores foram conseguidos com $5,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B, porém, com reduções a partir dessa dose, e ainda, esta redução foi muito mais drástica em folhas que em hastes, e quando do aumento da dose para $20 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B, a produção foi drasticamente reduzida, revelando possível efeito de toxidez pela nutriente, cuja faixa entre a concentração deficiente e tóxica é bastante estreita (Matoh, 1997). Rosolem et al. (2009) observou diferença na produção de matéria seca, tanto da raiz quanto da parte aérea entre as cultivares FMT 701, FMT 523, FMX 993 3 FMX 910 quando foram cultivadas em condições de deficiência e condições normais de disponibilidade de B para as plantas.

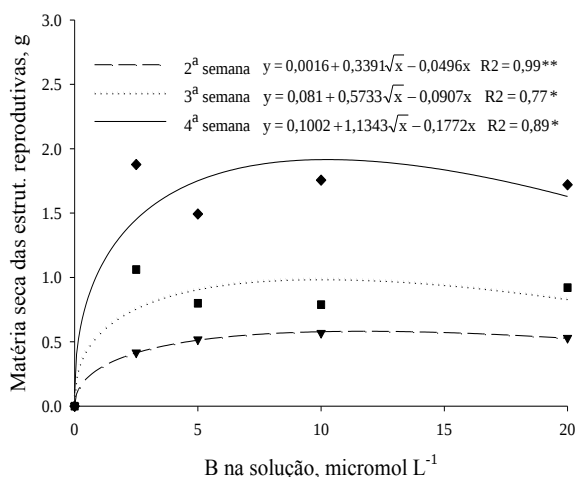
As cultivares de algodão mostraram diferenças de produção de matéria seca de estruturas reprodutivas (Tabela 9). Uma semana após a emissão do primeiro botão floral, não foi registrada produção de matéria seca das estruturas reprodutivas, pois a quantidade presente na planta foi pequena (Tabela 6). A matéria seca das estruturas reprodutivas presentes nas plantas da cultivar DP604BG foi menor que a da FMX 993 na segunda semana, e na terceira semana, foi menor que na FMT 701. Entre as cultivares FMX 993 e FMT 701 não foram verificadas diferenças (Tabela 9). Na dose $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B, a matéria seca das estruturas reprodutivas foi praticamente nula. A partir da aplicação de B na solução, ocorreu um aumento da produção de matéria seca das estruturas reprodutivas até a dose próxima de $5,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B, devido à maior quantidade de estruturas fixadas e a partir desta dose o comportamento foi constante (Figura 20). Na terceira semana após a emissão das estruturas reprodutivas, a interação das doses de B com as cultivares mostrou que a DP604BG apresentou, na dose de $2,5 \mu\text{mol L}^{-1}$, menor matéria seca das estruturas reprodutivas que as outras cultivares (Tabela 11). Nas maiores doses, quando a quantidade de B não era deficiente, não existiu mais diferença entre as cultivares.

Quanto à resposta de cada cultivar entre as doses de B, a cultivar FMT 701 apresentou maior matéria seca de estruturas reprodutivas nas doses de $2,5$ a $10,0 \mu\text{mol L}^{-1}$, em comparação com as cultivares DP604BG e FMX 993, as quais mostraram respostas semelhantes (Figura 21).

TABELA 11. Média da matéria seca das estruturas reprodutivas de cultivares de algodão, determinada na terceira semana após emissão do primeiro botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

Cultivares	Concentrações de B na solução nutritiva ($\mu\text{mol L}^{-1}$)				
	0,0	2,5	5,0	10,0	20,0
----- Massa de matéria seca das estruturas reprodutivas (g) -----					
FMT 701	0,0	1,4	0,8	0,8	1,0
DP 604 BG	0,0	0,6	0,8	0,9	0,8
FMX 993	0,0	1,1	0,8	0,7	1,0
DMS			0,4*		

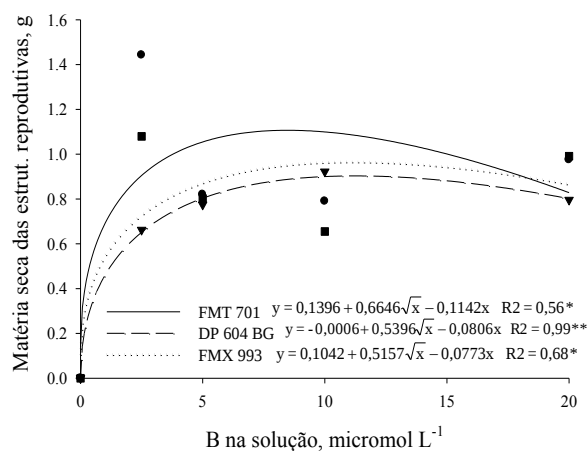
* significativo ($p < 0,05$). DMS = diferença mínima significativa pelo teste t (LSD), para comparação na coluna.



* e **, significativo ($p < 0,05$ e $0,01$), respectivamente.

▼, ■ e ♦ = 2º, 3º e 4º semana, respectivamente.

FIGURA 20. Média da matéria seca de estruturas reprodutivas de algodoeiro, obtida em quatro semanas, a partir da emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.



* e **, significativo ($p < 0,05$ e $0,01$), respectivamente.

●, ■ e ▼ = FMT701, DP604BG e FMX993, respectivamente.

FIGURA 21. Média da matéria seca das estruturas reprodutivas de três cultivares de algodão, obtida na terceira semana após emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

A quantidade de estruturas reprodutivas presentes nas plantas, nas respectivas avaliações (Tabela 6), não foi diferente entre as cultivares, contudo, por terem sido observadas diferenças na matéria seca destas estruturas, pode-se inferir que o crescimento e desenvolvimento das estruturas, após a fecundação, foram diferentes entre as cultivares, mostrando-se sempre menor na DP604BG (Tabela 9), indicando maior sensibilidade as

condições de deficiência de B nesta cultivar no que se refere ao crescimento e desenvolvimento das estruturas reprodutivas, ou mesmo na translocação de B para estas estruturas, aumentando os prejuízos quanto maior o tempo de exposição à deficiência (Silva et al., 1982) e, da magnitude da deficiência (Rosolem et al., 1999), pois as diferenças existentes entre as cultivares só foram observadas nas menores doses.

6.2. Avaliações nutricionais de boro

Até três semanas após a emissão do primeiro botão floral, o teor de B e a quantidade de B acumulada na raiz foram diferentes entre as cultivares de algodão (Tabela 12). Nas três primeiras semanas de avaliações, a cultivar FMT 701 sempre apresentou maiores teores e acúmulos de B que a FMX 993, e ainda, na primeira semana, o teor e o acúmulo de B na raiz da FMT 701 também foram maiores que o da cultivar DP604BG. O acúmulo e o teor de B na cultivar DP604BG obtido na segunda semana, bem como o acúmulo de B obtido na terceira semana após a emissão do primeiro botão floral, foram maiores que o da FMX 993. Na quarta semana, não houve diferença entre as cultivares tanto para teor de B quanto para o B acumulado na raiz.

Ao analisar o efeito das doses de B nas duas primeiras semanas de avaliação os teores de B nas raízes das plantas do tratamento testemunha (dose 0,0 de B), os teores do nutriente foram maiores, e estes teores decresceram em função do aumento da concentração do nutriente na solução nutritiva, até a dose de $5,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ na primeira semana, e até $10,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ na segunda semana da emissão do primeiro botão floral, tendendo a uma elevação ao uso de doses maiores (Figura 22). Em contra partida, nas quatro avaliações, o acúmulo de B na raiz seguiu uma tendência contrária (Figura 23), pois, para o acúmulo de B, foi levada em consideração a quantidade do nutriente presente em toda matéria produzida pela raiz.

TABELA 12. Média do teor de boro e do B acumulado na raiz de algodoeiro, obtida em quatro semanas consecutivas, após emissão do primeiro botão floral.

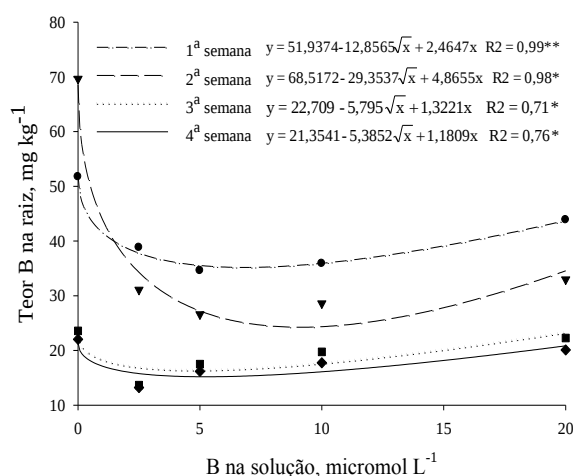
Cultivares	Semanas após emissão do 1º botão floral			
	1º semana	2º semana	3º semana	4º semana
	----- Teor de B na raiz (mg kg ⁻¹) -----			
FMT 701	45,33	40,02	21,72	17,41
DP 604 BG	38,33	40,46	19,19	17,88
FMX 993	39,27	32,86	17,15	18,27
DMS	4,54**	4,83**	2,58**	1,88 ^{ns}
F _{Dose}	11,5**	67,6**	11,4**	16,4**
F _{Dose x Cultivar}	1,8 ^{ns}	1,7 ^{ns}	0,7 ^{ns}	0,8 ^{ns}
	----- B acumulado na raiz (mg planta ⁻¹) -----			
FMT 701	0,201	0,127	0,066	0,060
DP 604 BG	0,177	0,127	0,058	0,059
FMX 993	0,176	0,080	0,046	0,062
DMS	0,019*	0,024**	0,008**	0,008 ^{ns}
F _{Dose}	17,8**	5,3**	47,0**	56,0**
F _{Dose x Cultivar}	1,1 ^{ns}	0,5 ^{ns}	1,7 ^{ns}	0,8 ^{ns}

DMS = diferença mínima significativa pelo teste t (LSD), para comparação de médias na coluna.

F = valor do F calculado para a fonte de variação Dose e para interação Dose x Cultivar.

*, ** e ^{ns}, significativo (p<0,05), (p<0,01) e não significativo, respectivamente.

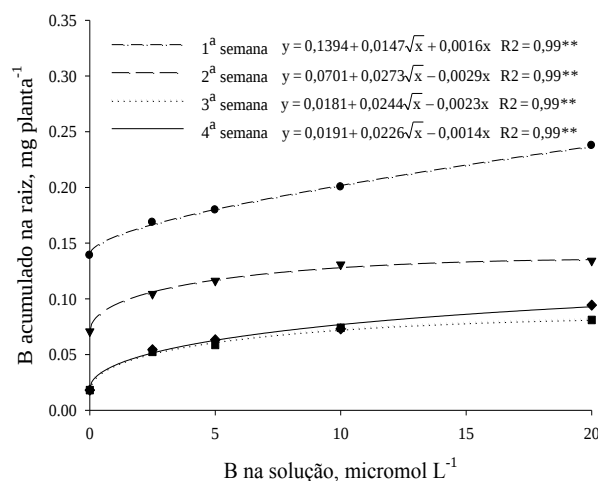
A presença de B no tratamento com dose 0,0 µmol L⁻¹ de B pode ser por causa das reservas deste nutriente nas sementes e, devido ao menor crescimento da raiz e menor produção de matéria seca, os maiores teores encontrados neste tratamento, nas duas primeiras semanas, deve-se provavelmente ao efeito de diluição. À medida que a dose de B na solução foi aumentada, ocorreu um incremento da produção de matéria seca da raiz (Figura 16), e conseqüente um efeito de diluição do B, com diminuição do seu teor até a dose em que não houve mais acréscimos de produção de raiz, e, a partir deste ponto, o aumento da dose proporcionou aumento do teor do nutriente, nas duas primeiras semanas de avaliação. Na terceira e quarta semana após emissão do primeiro botão floral, o teor de B entre as doses foram praticamente semelhantes entre todas as doses, e isto aconteceu em função da dinâmica de crescimento e desenvolvimento da planta e das prioridades de transporte do B absorvido para as outras partes da planta (Figuras 34 a 37).



* e **, significativo ($p < 0,05$ e $0,01$), respectivamente.

●, ▼, ■ e ◆ = 1º, 2º, 3º e 4º semana, respectivamente.

FIGURA 22. Teor de B na raiz de algodoeiro, obtido em quatro semanas, após emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.



** significativo ($p < 0,01$).

●, ▼, ■ e ◆ = 1º, 2º, 3º e 4º semana, respectivamente.

FIGURA 23. B acumulado na raiz de algodoeiro, obtido em quatro semanas, após emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

O teor de B no caule da cultivar FMX 993, bem como, o B acumulado nas cultivares FMX 993 e FMT 701 foram maiores que os encontrados na DP604BG, na avaliação realizada uma semana após a emissão do primeiro botão floral (Tabela 13). A quantidade de B acumulado no caule das plantas de algodão após esta primeira avaliação, bem como o teor de B na segunda e terceira avaliação não foi diferente entre os três materiais. Quatro semanas após emissão do primeiro botão floral, os caules das cultivares FMT 701 e DP604BG apresentaram maiores teores de B que os encontrados na cultivar FMX 993 (Tabela 13).

Entre as quatro semanas de avaliações, observou-se que da primeira à quarta avaliação os teores de B do caule diminuíram, possivelmente pelo crescimento das plantas e maior produção de massa de matéria seca, aumentando o efeito de diluição, como observado também para o teor de B na raiz. O teor de B encontrado no caule das cultivares de algodão, na primeira semana de avaliação, apresentou um aumento praticamente linear em função das doses crescentes de B na solução nutritiva (Figura 24). Já, nas três últimas semanas de avaliação, em função da dinâmica de crescimento das plantas, as respostas destas ao

aumento das doses tiveram um aumento mais expressivo do teor de B até a dose de $5,0 \mu\text{mol L}^{-1}$, e a intensidade de aumento decresceu desta última dose até a de $20,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B (Figura 24).

TABELA 13. Média do teor de boro e do B acumulado no caule de algodoeiro, obtida em quatro semanas consecutivas, após emissão do primeiro botão floral.

Cultivares	Semanas após emissão do 1º botão floral			
	1º semana	2º semana	3º semana	4º semana
	----- Teor de B no caule (mg kg^{-1}) -----			
FMT 701	27,34	23,92	14,37	14,10
DP 604 BG	23,83	21,70	15,17	15,49
FMX 993	28,26	23,51	15,70	12,83
DMS	3,53*	2,34 ^{ns}	1,53 ^{ns}	1,52**
F _{Dose}	10,4**	10,5**	34,1**	14,6**
F _{Dose x Cultivar}	0,8 ^{ns}	0,3 ^{ns}	1,9 ^{ns}	1,0 ^{ns}
	----- B acumulado no caule (mg planta^{-1}) -----			
FMT 701	0,199	0,201	0,153	0,207
DP 604 BG	0,171	0,184	0,158	0,217
FMX 993	0,211	0,166	0,166	0,189
DMS	0,022**	0,021 ^{ns}	0,021 ^{ns}	0,029 ^{ns}
F _{Dose}	62,4**	68,2**	71,5**	61,6**
F _{Dose x Cultivar}	0,9 ^{ns}	1,1 ^{ns}	0,6 ^{ns}	1,2 ^{ns}

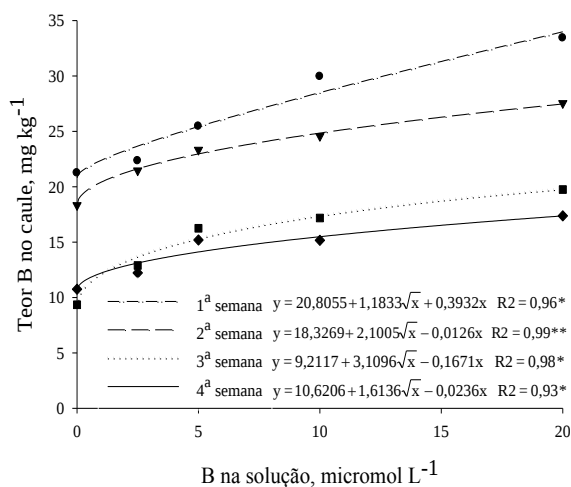
DMS = diferença mínima significativa pelo teste t (LSD), para comparação de médias na coluna.

F = valor do F calculado para a fonte de variação Dose e para interação Dose x Cultivar.

*, ** e ^{ns}, significativo ($p < 0,05$), ($p < 0,01$) e não significativo, respectivamente.

Quando calculada a relação do teor de B com a produção de matéria seca para obtenção da quantidade de B acumulado no caule, pode-se observar a maior interferência negativa das doses deficientes em B (Figura 25). Nas quatro semanas de avaliação, observou-se incremento do acúmulo de B até próximo a dose de $5,0 \mu\text{mol L}^{-1}$, e nas doses acima desta, houve aumento, porém, com menor intensidade, seguindo uma tendência de resposta semelhante à produção de matéria seca do caule (Figura 18).

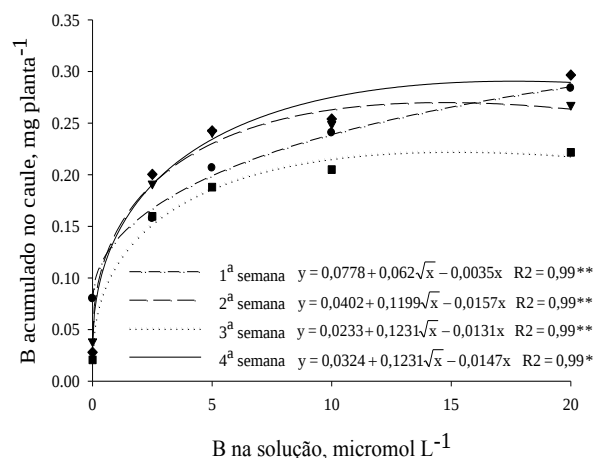
Tanto no caule como na raiz, não existiram efeitos de interação entre as cinco doses de B e as três cultivares de algodão estudadas.



* e **, significativo ($p < 0,05$ e $0,01$), respectivamente.

●, ▼, ■ e ◆ = 1ª, 2ª, 3ª e 4ª semana, respectivamente.

FIGURA 24. Teor de B no caule de algodoeiro, obtido em quatro semanas após emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.



* e **, significativo ($p < 0,05$ e $0,01$), respectivamente.

●, ▼, ■ e ◆ = 1ª, 2ª, 3ª e 4ª semana, respectivamente.

FIGURA 25. B acumulado no caule de algodoeiro, obtido em quatro semanas após emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

Os teores de B foliar se referem a todas as folhas presentes nas plantas no dia de cada avaliação (Tabela 8 e 9), portanto, estes valores não são adequados para serem comparados com os obtidos na literatura (Silva e Raij, 1996; Silva et al., 1982, Rosolem e Boareto, 1989), para conferir se estão dentro do teor adequado (30 até 50 mg kg⁻¹) para o bom crescimento e desenvolvimento da planta de algodão. No algodoeiro a mobilidade do B é pequena e uma vez estando na folha tende a permanecer nela, formando um gradiente de concentração abrupto da base para o ápice, ou seja, as folhas mais velhas localizadas no terço inferior da planta, tem um maior teor de B que as folhas mais novas localizadas no terço superior (Bastos e Carvalho, 2004). Assim, se a planta estiver apresentando deficiência nos períodos de avaliação deste experimento, esta seria observada nas folhas mais próximas do ponteiro da planta, e como o teor de B foliar mostrado na Tabela 13 representa uma média de todas as folhas, sem diferença da localização na planta, expressando um valor maior ao que realmente existir na região que apresenta a deficiência e, se esta realmente estiver ocorrendo, talvez não seja detectada.

Na primeira semana de avaliação, o teor de B e o acúmulo deste nutriente nas folhas da cultivar FMT 701 foram maiores que os teores encontrados na FMX 993 e DP604BG (Tabela 13). Na segunda semana, os teores de B das cultivares FMT 701 e FMX 993 apresentaram-se maiores que o da DP604BG, mas para o B acumulado, a FMX 993 teve maior quantidade de B nas folhas que as cultivares FMT 701 e DP604BG. Na terceira semana, os teores não foram diferentes entre as cultivares, mas quanto ao B acumulado, a quantidade obtida nas folhas da cultivar DP604BG foi maior que o das FMT 701 e FMX 993.

TABELA 14. Média do teor de boro e do B acumulado nas folhas de algodoeiro, obtida em quatro semanas consecutivas, após emissão do primeiro botão floral.

Cultivares	Semanas após emissão do 1º botão floral			
	1º semana	2º semana	3º semana	4º semana
	----- Teor de B na folha (mg kg ⁻¹) -----			
FMT 701	33,74	25,49	22,78	20,11
DP 604 BG	27,63	21,15	25,21	20,73
FMX 993	28,97	27,03	23,34	19,02
DMS	4,01**	2,70**	4,17 ^{ns}	3,28 ^{ns}
F _{Dose}	111,7**	196,4**	61,4**	80,5**
F _{Dose x Cultivar}	1,9 ^{ns}	3,6**	2,0 ^{ns}	0,7 ^{ns}
	----- B acumulado na folha (mg planta ⁻¹) -----			
FMT 701	0,244	0,262	0,240	0,298
DP 604 BG	0,197	0,236	0,307	0,313
FMX 993	0,208	0,307	0,258	0,269
DMS	0,034*	0,034**	0,055**	0,056 ^{ns}
F _{Dose}	116,1**	119,4**	57,6**	79,1**
F _{Dose x Cultivar}	1,4 ^{ns}	6,6**	1,4 ^{ns}	0,6 ^{ns}

DMS = diferença mínima significativa pelo teste t (LSD), para comparação de médias na coluna.

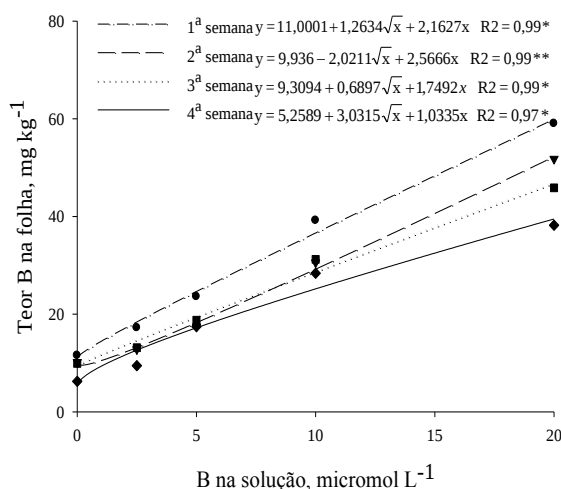
F = valor do F calculado para a fonte de variação Dose e para interação Dose x Cultivar.

*, ** e ^{ns}, significativo (p<0,05), (p<0,01) e não significativo, respectivamente.

Os teores de B e o boro acumulado nas folhas, na quarta semana após emissão do primeiro botão floral, não diferiram entre as cultivares de algodão, e isto pode ser explicado pelo fato de que nas últimas avaliações, o crescimento da área foliar se aproximou do seu máximo e, como não existiu diferença na produção de matéria seca de folhas entre as cultivares para esta avaliação (Tabela 9), pode-se presumir que a partir de quatro semanas após a emissão do primeiro botão floral, se existir diferença de absorção de B entre as cultivares, deve ser pequena, haja vista, a absorção e o transporte deste nutriente ocorrem,

principalmente, através do fluxo de transpiração, e sua acumulação ocorre nos órgãos que apresentam a maior taxa transpiratória (Brown e Shelp, 1997), que são as folhas (Meyer e Green, 1980; Soukup et al., 1986), e devido a baixa mobilidade do elemento no floema do algodoeiro (Anderson e Ohki, 1972; Rosolem e Costa, 2000), o acúmulo de B na folha é grande (Sestren e Kroplin, 2009), diminuindo a possibilidade de expressar diferenças entre as cultivares. Zhao e Oosthuis (2002) compararam o teor de B da folha da quarta posição a partir do ápice com o teor das folhas coletadas de forma combinada em todas as partes da planta e observaram que estas últimas tiveram maior valor, indicando que a maior parte do B é dividida entre as folhas mais velhas evidenciando a baixa mobilidade do B dentro da planta.

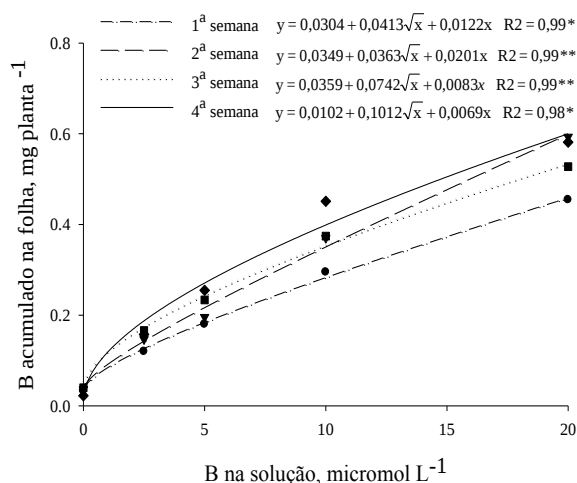
O teor de B e a quantidade de B acumulado nas folhas do algodoeiro cresceram exponencialmente em função do aumento da dose de B na solução nutritiva nas quatro semanas de avaliação (Figuras 26 e 27). Notou-se que quanto maior foi tempo passado da emissão do primeiro botão floral, menores foram os teores de B nas folhas (Figura 26) e maiores foram os valores de B acumulados (Figura 27).



* e **, significativo ($p < 0,05$ e $0,01$), respectivamente.

●, ▼, ■ e ◆ = 1º, 2º, 3º e 4º semana, respectivamente.

FIGURA 26. Teor de B das folhas de algodoeiro, obtidos em quatro semanas após emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.



* e **, significativo ($p < 0,05$ e $0,01$), respectivamente.

●, ▼, ■ e ◆ = 1º, 2º, 3º e 4º semana, respectivamente.

FIGURA 27. B acumulado nas folhas de algodoeiro, obtidos em quatro semanas após emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

Estes dados demonstram melhor o efeito de diluição discutido anteriormente para os dados de B na raiz e no caule, mostrando que com o crescimento da planta, aumentou o efeito de diluição pela maior quantidade de matéria seca produzida e, quando correlacionando toda a matéria seca de folhas com o teor de B, a quantidade do B acumulado apresentou resposta semelhante à observada para produção de matéria seca das folhas. Como este elemento é translocado pelo fluxo da transpiração (Brown e Shelp, 1997) e, em espécies como o algodoeiro, onde o B tem baixa mobilidade (Carvalho, 1980; Fontes et al., 2008), uma vez estando na folha tende a permanecer nela (Bastos e Carvalho, 2004).

Duas semanas após a emissão do primeiro botão floral, foi observado efeito de interação entre as doses de B e as cultivares de algodão. Nas doses até $5,0 \mu\text{mol L}^{-1}$, não existiram diferenças entre as cultivares. Nas doses $10,0$ e $20 \mu\text{mol L}^{-1}$, o teor de B e o B acumulado nas folhas da cultivar DP604BG foram menores que os encontrados na FMX 993, e ainda, na dose $10,0 \mu\text{mol L}^{-1}$, também foram menores que os da cultivar FMT 701 (Tabela 15).

TABELA 15. Média do teor de boro e B acumulado nas folhas de cultivares de algodão, obtido na segunda semana após emissão do primeiro botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

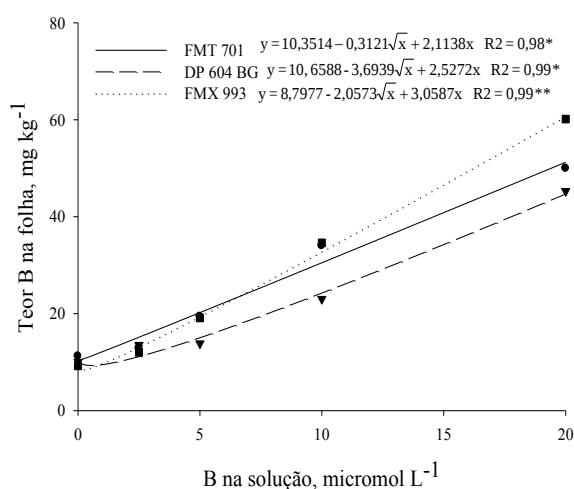
Cultivares	Concentrações de B na solução nutritiva ($\mu\text{mol L}^{-1}$)				
	0,0	2,5	5,0	10,0	20,0
	----- Teor de B das folhas (mg kg^{-1}) -----				
FMT 701	11,21	12,86	19,40	34,02	49,97
DP 604 BG	10,06	13,54	13,85	23,03	45,29
FMX 993	9,23	12,03	19,11	34,62	60,14
DMS	6,04*				
	----- B acumulado nas folhas (mg planta^{-1}) -----				
FMT 701	0,038	0,135	0,199	0,416	0,522
DP 604 BG	0,039	0,170	0,169	0,303	0,499
FMX 993	0,032	0,136	0,219	0,391	0,759
DMS	0,076**				

DMS = diferença mínima significativa pelo teste t (LSD), para comparação na coluna.

* e **, significativo ($p < 0,05$) e ($p < 0,01$), respectivamente.

Com o incremento das doses de B na solução nutritiva, todas cultivares tiveram seus teores B e acúmulo do nutriente nas folhas aumentado exponencialmente, e este incremento foi maior na cultivar FMX 993, seguido da FMT 701 (Figuras 28 e 29). A cultivar

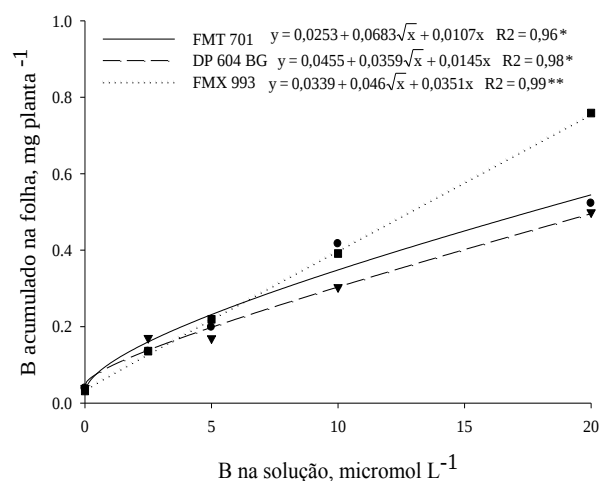
DP604BG apresentou o menor incremento do teor e do acúmulo de B nas folhas quando comparado ao das outras cultivares. Nas avaliações realizadas na primeira, terceira e quarta semana após emissão do primeiro botão floral, não foram constatadas interações entre as doses de B e as cultivares de algodão para o teor e acúmulo de B nas folhas (Tabela 14). Também não foram constatadas interações para o teor e acúmulo de B nas estruturas reprodutivas (Tabela 16).



* e **, significativo ($p < 0,05$ e $0,01$), respectivamente.

●, ▼ e ■ = FMT701, DP604BG e FMX993, respectivamente.

FIGURA 28. Teor de B nas folhas de três cultivares de algodão, obtido na segunda semana após emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.



* e **, significativo ($p < 0,05$ e $0,01$), respectivamente.

●, ▼ e ■ = FMT701, DP604BG e FMX993, respectivamente.

FIGURA 29. B acumulado nas folhas de três cultivares de algodão, obtido na segunda semana após emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

Na primeira semana após a emissão do botão floral, a quantidade de material das estruturas reprodutivas foi insuficiente para determinação de B. Da segunda até a quarta semana de avaliação, o teor de B nas estruturas reprodutivas não diferiu entre as três cultivares (Tabela 16). Dentre os teores de B de todos segmentos da parte aérea das plantas analisadas neste experimento, pode-se notar em todas as avaliações, que o teor de B nas estruturas reprodutivas sempre apresentou os maiores valores, e do caule os menores. Considerando toda a planta, observou-se o mesmo comportamento entre as estruturas reprodutivas e o caule, e quanto às folhas e raiz, nas duas primeiras semanas os teores de B na

raiz foram maiores que o da folha, mas nas duas últimas semanas os teores nas folhas foram maiores que na raiz.

TABELA 16. Média do teor e do acúmulo de B nas estruturas reprodutivas de algodoeiro, obtida em três semanas após emissão do primeiro botão floral.

Cultivares	Semanas após emissão do 1º botão floral			
	1º semana	2º semana	3º semana	4º semana
----- Teor de B nas estruturas reprodutivas (mg kg ⁻¹) -----				
FMT 701	-	41,50	28,09	21,90
DP 604 BG	-	40,22	29,80	22,44
FMX 993	-	38,54	29,15	23,30
DMS	-	3,60 ^{ns}	2,56 ^{ns}	2,59 ^{ns}
F Dose	-	32,3**	74,2**	52,0**
F Dose x Cultivar	-	1,1 ^{ns}	1,7 ^{ns}	0,8 ^{ns}
----- B acumulado nas estruturas reprodutivas (mg planta ⁻¹) -----				
FMT 701	-	0,019	0,026	0,035
DP 604 BG	-	0,017	0,024	0,036
FMX 993	-	0,023	0,025	0,044
DMS	-	0,005*	0,005 ^{ns}	0,008*
F Dose	-	9,3**	11,5**	15,8**
F Dose x Cultivar	-	1,7 ^{ns}	1,7 ^{ns}	1,8 ^{ns}

DMS = diferença mínima significativa pelo teste t (LSD), para comparação de médias na coluna.

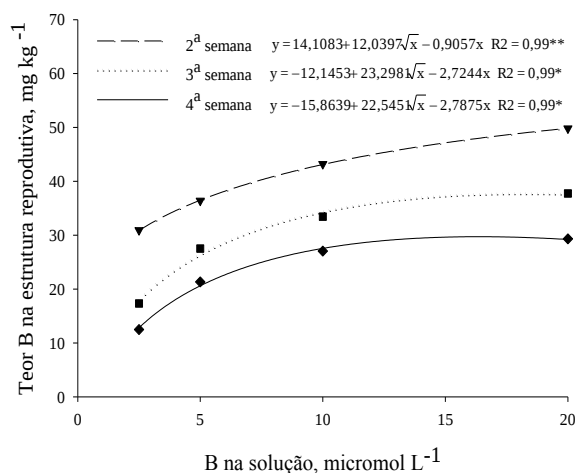
F = valor do F calculado para a fonte de variação Dose e para interação Dose x Cultivar.

*, ** e ^{ns}, significativo (p<0,05), (p<0,01) e não significativo, respectivamente.

Nas plantas crescidas no tratamento com dose 0,0 µmol L⁻¹ de B, devido à grande quantidade de abortamento das estruturas emitidas (Figura 13), não havia estruturas reprodutivas suficiente para determinação das análises de B. Considerando apenas as doses efetivas deste micronutriente (0,0 – 5,0 – 10,0 e 20,0 µmol L⁻¹), os teores do nutriente nas estruturas reprodutivas tiveram um crescimento máximo até próximo a dose de 10 µmol L⁻¹, e desta até a de 20 µmol L⁻¹ os valores aumentaram pouco na segunda semana, e mantiveram-se praticamente constante na terceira e quarta semana de avaliações (Figura 30).

Quanto ao B acumulado, foram observados valores crescentes com o aumento das doses de B na solução nutritiva, com diferenças de respostas entre as semanas de avaliações (Figura 31). Na segunda e quarta semana, os valores tiveram comportamento parecido, crescendo com maior intensidade até a dose de 10,0 µmol L⁻¹ e mantendo os mesmos níveis de acúmulo desta até a de 20,0 µmol L⁻¹, diferindo entre as semanas apenas na

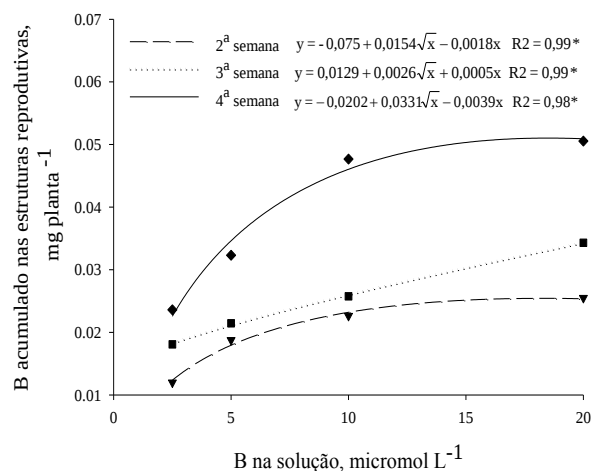
quantidade de B acumulado, pois os valores obtidos na quarta semana foram maiores que os da segunda semana. Na terceira semana, a resposta foi crescente até a maior dose (20,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de B), porém, os valores obtidos nesta avaliação também foram inferiores aos da quarta semana, mas superiores ao da segunda de avaliação após a emissão do primeiro botão floral (Figura 31).



* e ** significativo ($p < 0,05$ e $0,01$), respectivamente.

▼, ■ e ♦ = 2º, 3º e 4º semana, respectivamente.

FIGURA 30. Teor de B nas estruturas reprodutivas (botão, flores e maçãs) de algodoeiro, obtido em 4 semanas após emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.



* significativo ($p < 0,05$).

▼, ■ e ♦ = 2º, 3º e 4º semana, respectivamente.

FIGURA 31. B acumulado nas estruturas reprodutivas (botão, flores e maçãs) de algodoeiro, obtido em 4 semanas após emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

Na primeira semana após a emissão do primeiro botão floral, a quantidade total de B acumulada nas plantas da cultivar FMT 701 foi maior que as das DP604BG e FMX 993, e ainda, a quantidade obtida para cultivar FMX 993 foi maior que a obtida para DP604BG (Tabela 17). Na segunda semana, os totais de B acumulados nas plantas das cultivares FMT 701 e FMX 993 não foram diferentes, porém, foram maiores que o obtido para cultivar DP604BG. Na terceira e quarta semana de avaliação, não existiram mais diferenças entre as cultivares (Tabela 17). Tendo que o valor de B acumulado na planta representa toda quantidade do nutriente que a planta consumiu até o estágio avaliado, pode-se

entender que este valor também indica a exigência de B pela planta. Sobre os valores obtidos neste experimento, pôde-se observar que, até duas semanas da emissão do primeiro botão floral, a exigência de B pelas cultivares FMX 993 e FMT 701 é maior que a da DP604BG. Esta informação ajuda explicar o porquê da cultivar DP604BG, mesmo apresentando maior sensibilidade à deficiência do nutriente na solução nutritiva quanto ao aparecimento de sintomas de carência (os sintomas observados nesta cultivar foram mais severos e evoluíram com maior intensidade quando comparado as outras cultivares), não diferiu das demais quanto ao crescimento.

TABELA 17. Média do total de B acumulado em plantas de algodão, obtida em quatro semanas após emissão do primeiro botão floral.

Cultivares	Semanas após emissão do 1º botão floral			
	1º semana	2º semana	3º semana	4º semana
	----- Total de B acumulado na planta (mg planta ⁻¹) -----			
FMT 701	0,645	0,606	0,480	0,593
DP 604 BG	0,545	0,559	0,542	0,618
FMX 993	0,595	0,615	0,491	0,556
DMS	0,038**	0,046*	0,074 ^{ns}	0,069 ^{ns}
F _{Dose}	265,2**	244,6**	77,9**	139,4**
F _{Dose x Cultivar}	2,0 ^{ns}	6,7**	0,8 ^{ns}	0,9 ^{ns}

DMS = diferença mínima significativa pelo teste t (LSD), para comparação de médias na coluna.

F = valor do F calculado para a fonte de variação Dose e para interação Dose x Cultivar.

*, ** e ^{ns}, significativo (p<0,05), (p<0,01) e não significativo, respectivamente.

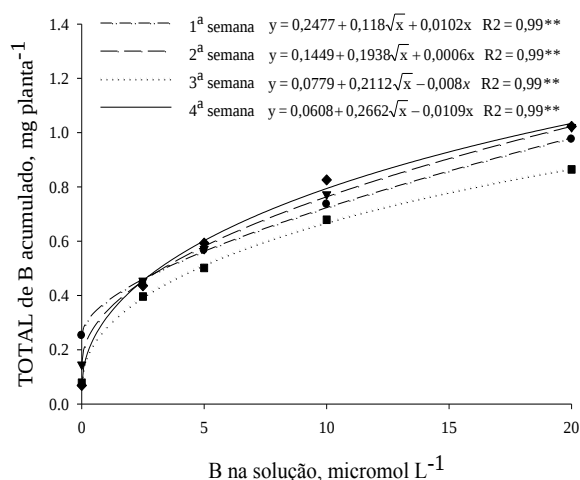
Quanto ao efeito das doses de B na solução nutritiva, a quantidade de B acumulada nas plantas foi crescente até a maior dose testada (20,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$), e a resposta foi semelhante em todas as avaliações (Figura 32). Na segunda semana de avaliação, foi verificado interação das doses de B com as cultivares de algodão (Tabela 18). Até a dose de 5,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$, não foi observada diferenças entre as cultivares, mas na dose de 10,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de B, a cultivar DP604BG mostrou menor acúmulo total de B que cultivar FMT 701. Já na maior dose (20,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$) a cultivar FMX 993 acumulou mais B que as outras cultivares (Figura 33). Nas demais avaliações, não foi observado interação das doses de B com as cultivares de algodão.

TABELA 18. Total de B acumulado nas cultivares de algodão, obtido na segunda semana após emissão do primeiro botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

Cultivares	Concentrações de B na solução nutritiva ($\mu\text{mol L}^{-1}$)				
	0,0	2,5	5,0	10,0	20,0
----- Total de B acumulado na planta (mg planta^{-1}) -----					
FMT 701	0,142	0,474	0,592	0,856	0,962
DP 604 BG	0,179	0,489	0,552	0,690	0,886
FMX 993	0,118	0,401	0,572	0,772	1,214
DMS	0,104**				

DMS = diferença mínima significativa pelo teste t (LSD).

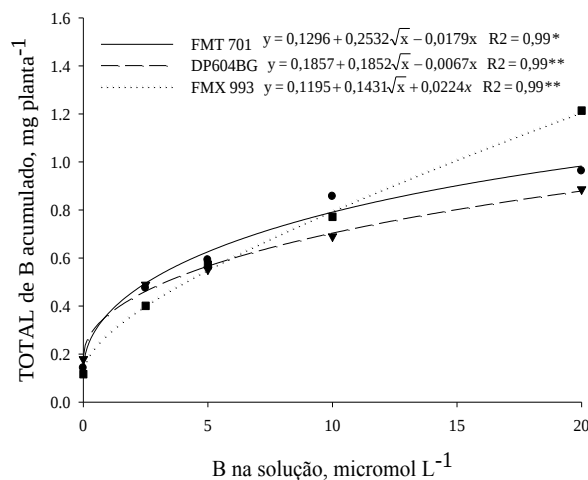
**, significativo ($p < 0,01$).



* e **, significativo ($p < 0,05$ e $0,01$), respectivamente.

●, ▼, ■ e ◆ = 1º, 2º, 3º e 4º semana, respectivamente.

FIGURA 32. Total de B acumulado na planta de algodão, obtido em quatro semanas a partir da emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.



* e **, significativo ($p < 0,05$ e $0,01$), respectivamente.

●, ▼ e ■ = FMT701, DP604BG e FMX993, respectivamente.

FIGURA 33. Total de B acumulado na planta de três cultivares de algodão, obtida na terceira semana após emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

Para cada semana de avaliação, foi determinada a dinâmica de distribuição de B entre as partes das plantas (raiz, caule, folhas e estruturas reprodutivas), porém, não foi feita análise estatística para comparação dos dados. Esta dinâmica de distribuição foi determinada por proporcionalidade, ou seja, considerou-se o total de B acumulado como 100%, e por proporção, foi obtido em porcentagem à quantidade de B

acumulado que cada parte da planta representava naquele total. Os valores obtidos representam a média das quatro repetições conduzidas para cada semana de avaliação destrutiva da plantas e pode-se verificar que a dinâmica de distribuição de B foi diferente entre as três cultivares de algodão dentre as quatro semanas após emissão do primeiro botão floral (Figuras 34 a 37).

Na primeira semana após a emissão do botão floral, de uma forma geral, a distribuição de B entre as partes da planta foi semelhante entre as três cultivares, e mostrou que quando a quantidade de B na solução foi deficiente, a maior porcentagem do B da planta estava na raiz enquanto as folhas tinham a menor proporção, porém, a medida se aumentou a disponibilidade de B na solução nutritiva, esta dinâmica de distribuição se inverteu, ou seja, aumentou a porcentagem de B nas folhas e diminuiu a da raiz (Figura 34). Com relação à porcentagem do caule, os valores foram praticamente os mesmos em todas as doses, com poucas variações observadas apenas na cultivar FMX 993 (Figura 34).

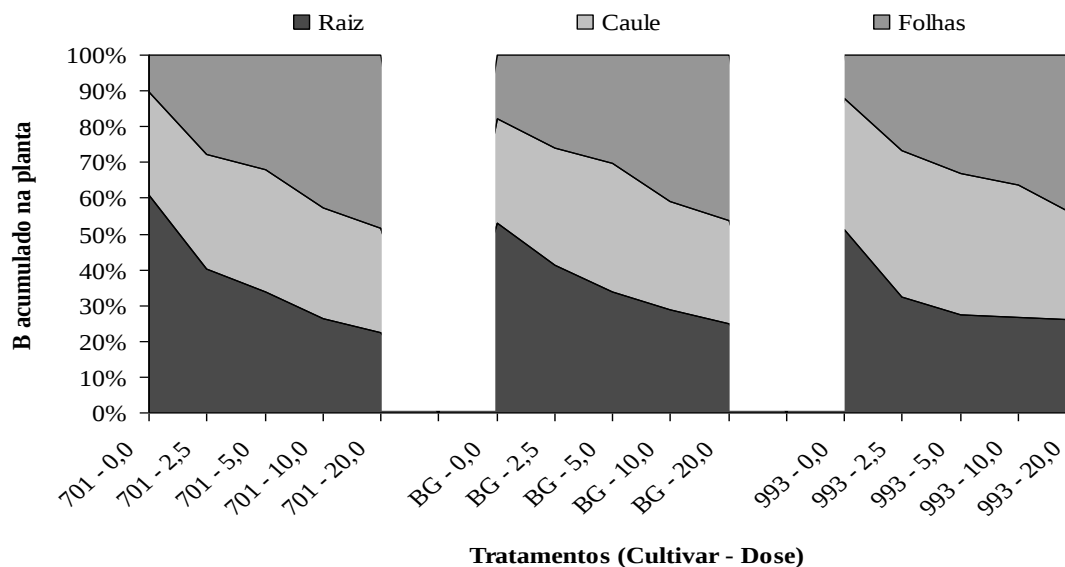


FIGURA 34. Porcentagem de distribuição do boro acumulado nos tecidos vegetais (folhas, caule e raiz) de cultivares de algodoeiro (FMT 701, DP 604 BG, FMX 993), uma semana após emissão do 1º botão floral, em função de doses de B (0,0 - 2,5 - 5,0 - 10,0 e 20,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$) na solução nutritiva.

Nesta semana de avaliação, ainda não havia material suficiente das estruturas reprodutivas para a determinação de B. Uma explicação para esta resposta é que

quando a disponibilidade de B na solução estava em quantidades insuficiente para o adequado crescimento e desenvolvimento da planta, a menor proporção presente nas folhas ocorreu, possivelmente, pelo baixo transporte do elemento para estas partes devido menor fluxo transpiratório, pois a área foliar das plantas era pequena (Figura 15) nas condições de carência de B. Em função do aumento da disponibilidade do nutriente na solução, houve aumento da área foliar com conseqüente elevação do fluxo transpiratório, incrementando o transporte de B para as folhas via xilema e modificando, assim, a dinâmica de distribuição do elemento. Seguindo este raciocínio, o caule exerceu uma função de caminho de ligação entre a parte inicial (raiz) e final (folhas) do sistema de transporte de B, e talvez por isso, a proporção do elemento apresentou-se constante dentre todas as doses de B, neste segmento da planta.

Zhao e Oosthuis (2002) também observaram que a concentração de B na lâmina foliar de plantas sob condições de deficiência diminuiu significativamente comparada com as plantas sob condições normais de B, e ainda, a deficiência de B diminuiu as frações do elemento nas folhas e frutos, mas aumentou as frações de B na raiz e também do caule.

Duas semanas após emissão do primeiro botão já havia estruturas reprodutivas suficientes para determinação do B. O comportamento de distribuição entre a raiz, caule e folhas foi semelhante ao que aconteceu anteriormente, porém, da primeira para a segunda avaliação, observou-se que a proporção de B na raiz diminuiu, em todas as doses, possivelmente pelo maior crescimento das folhas dentro de uma semana, o que proporcionou maior fluxo do nutriente para elas, mesmo nas menores doses (Figura 35). Uma observação interessante nesta idade da planta foi a diferença entre as cultivares quanto ao transporte de B para as estruturas reprodutivas. Na dose $2,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B, notou-se que a proporção de B nas estruturas reprodutivas produzidas pela cultivar FMX 993 foi maior que nas demais, e ainda, até $5,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B, a cultivar DP604BG mostrou menor distribuição de B para as estruturas reprodutivas que as cultivares FMX 993 e FMT 701 (Figura 34).

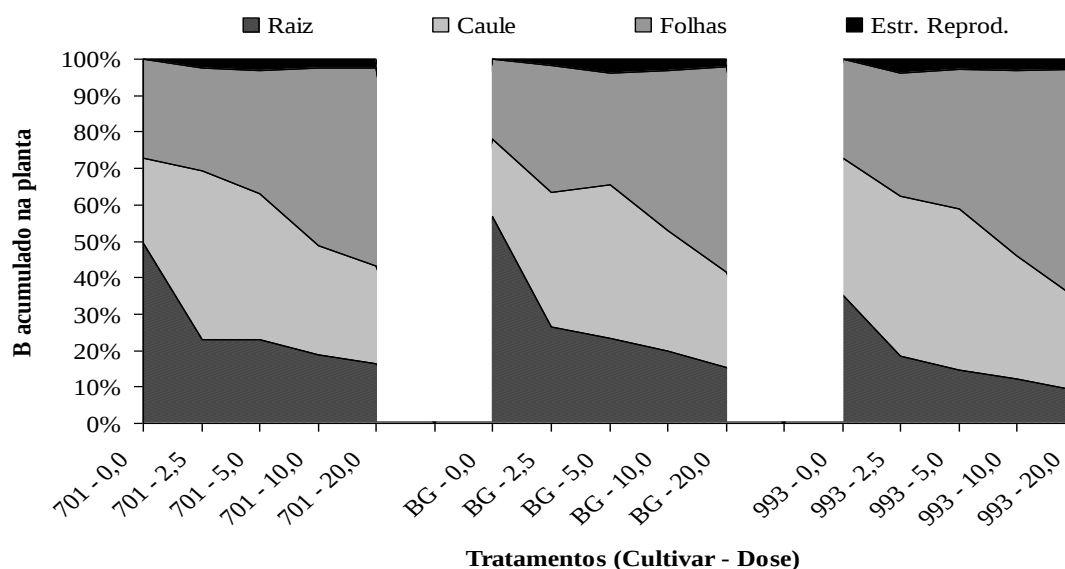


FIGURA 35. Porcentagem de distribuição do boro acumulado nos tecidos vegetais (folhas, caule, raiz e estruturas reprodutivas) de cultivares de algodoeiro (FMT 701, DP 604 BG, FMX 993), duas semanas após emissão do 1º botão floral, em função de doses de B (0,0 - 2,5 - 5,0 - 10,0 e 20,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$) na solução nutritiva.

Na terceira semana de avaliação, a diferença na dinâmica de distribuição de B para a parte reprodutiva entre as cultivares se confirma novamente. As cultivares FMX 993 e FMT 701 têm comportamento semelhante, mas quando comparadas a DP604BG, notou-se que até 5,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de B, esta última cultivar apresentou menor porcentagem de B nas estruturas reprodutivas (Figura 36). Cabe lembrar, ainda, que nas observações dos sintomas de deficiência, a cultivar DP604BG apresentou os sintomas mais severos e a evolução destes eram mais rápidas. Inicialmente, os primeiros sintomas apareceram nas plantas do tratamento com dose 0,0, em todas as cultivares, mas na DP604BG os sintomas evoluíam com mais rapidez. Com o crescimento das plantas, os sintomas de deficiência começaram aparecer em função da menor dose (primeiro na dose de 2,5, depois na de 5,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de B) e sempre os sintomas de carência apareciam primeiro na cultivar DP604BG e quando eram observados nas outras (FMT 701 e FMX 993), estes já estavam mais evoluídos e severos na DP604BG. Ainda, quando se fez a última avaliação (quatro semanas após emissão do primeiro bota floral) os sintomas de deficiência de B nas plantas da cultivar DP604BG crescidas no tratamento com dose 10,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de B eram visíveis e mais intensos que nas outras cultivares. Estas informações ajudam a confirmação da possível existência de

resposta diferenciada entre cultivares de algodão quanto à mobilidade de B, com desvantagens na proporção de B transferida às estruturas reprodutivas para cultivar DP604BG até três semanas da emissão do primeiro botão floral.

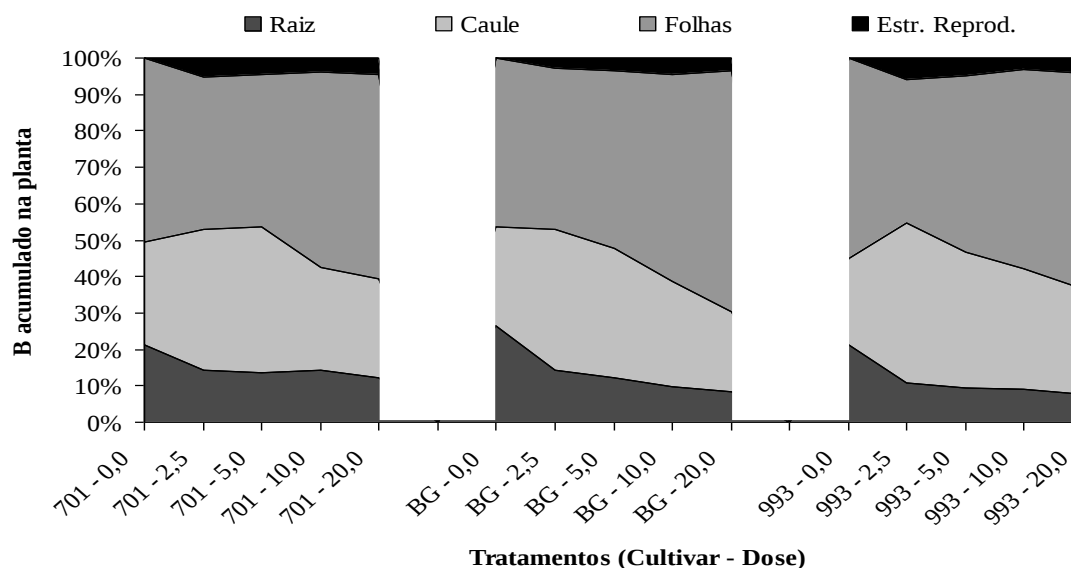


FIGURA 36. Porcentagem de distribuição do boro acumulado nos tecidos vegetais (folhas, caule, raiz e estruturas reprodutivas) de cultivares de algodoeiro (FMT 701, DP 604 BG, FMX 993), três semanas após emissão do 1º botão floral, em função de doses de B (0,0 - 2,5 - 5,0 - 10,0 e 20,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$) na solução nutritiva.

Quatro semanas após a emissão do primeiro botão floral, a proporção de B transferida para as estruturas reprodutivas se assemelha principalmente nas menores doses de B, quando as diferenças observadas anteriormente entre as cultivares eram grandes (Figura 37).

Ao analisar a diferença entre as quatro semanas de avaliação, foi observada uma dinâmica de transferência de B interessante entre as partes da planta (raiz, caule, folhas e estruturas reprodutivas). Da primeira até a quarta avaliação, devido o crescimento e desenvolvimento das plantas, pôde ser observado que entre as mesmas doses dentre as quatro semanas, a proporção de B presente na raiz, e o B que era retido já na raiz foi transportado e retido em maior proporção para as folhas. Ainda, quando a concentração de B na solução nutritiva era baixa, mas suficiente para não abortar as estruturas reprodutivas, a planta de algodão priorizou a nutrição destas estruturas, diminuindo a proporção de B das

folhas. Quando a concentração de B na solução nutritiva era maior que dos limites de deficiência, a maior proporção do elemento se acumulou nas folhas, que são os órgãos que apresentam a maior taxa transpiratória.

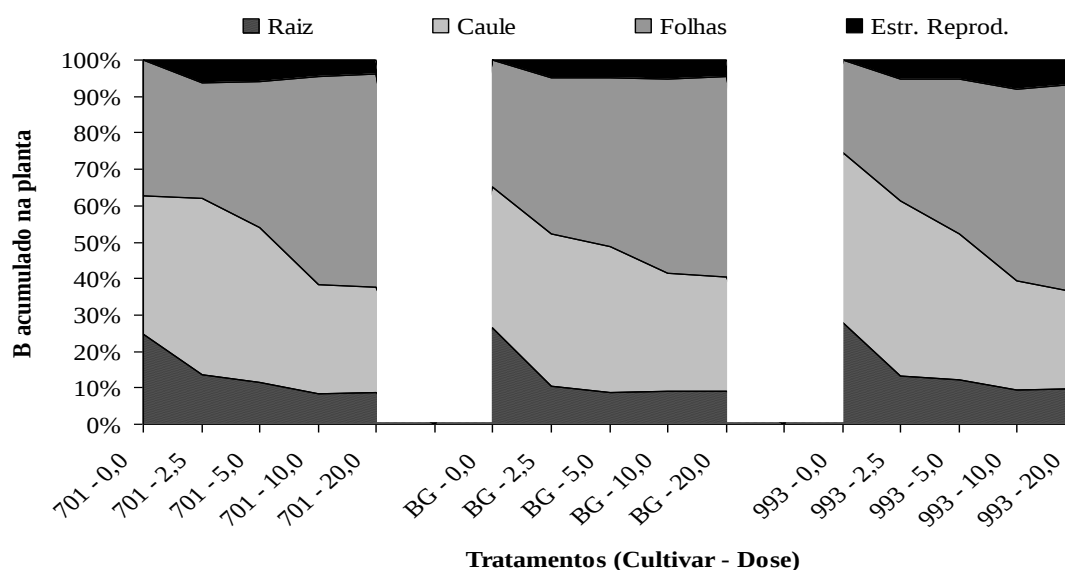


FIGURA 37. Porcentagem de distribuição do boro acumulado nos tecidos vegetais (folhas, caule, raiz e estruturas reprodutivas) de cultivares de algodoeiro (FMT 701, DP604BG e FMX 993), quatro semanas após emissão do 1º botão floral, em função de doses de B (0,0 - 2,5 - 5,0 - 10,0 e 20,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$) na solução nutritiva.

6.3. Avaliações fisiológicas

Não existiu diferença entre as cultivares de algodão quanto às medidas fisiológicas de concentração interna de CO_2 , taxa de transpiração e condutância estomática, em nenhuma época de avaliação (Tabelas 19 a 21).

A concentração interna de CO_2 realizadas no algodoeiro, do estágio de emissão do primeiro botão floral até uma semana após este estágio, não sofreu efeito das doses de B estudadas (Tabela 19), mas passadas quatro semanas da primeira avaliação (emissão do 1º botão), observou-se respostas mostrando que as plantas cultivadas no tratamento com ausência de B na solução nutritiva apresentaram alta concentração de CO_2 nos espaços

intercelulares, com os valores diminuindo bastante já na dose 2,5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de B, decrescendo até a dose 5,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ e tendendo a ascensão nas doses acima desta última (Figura 39).

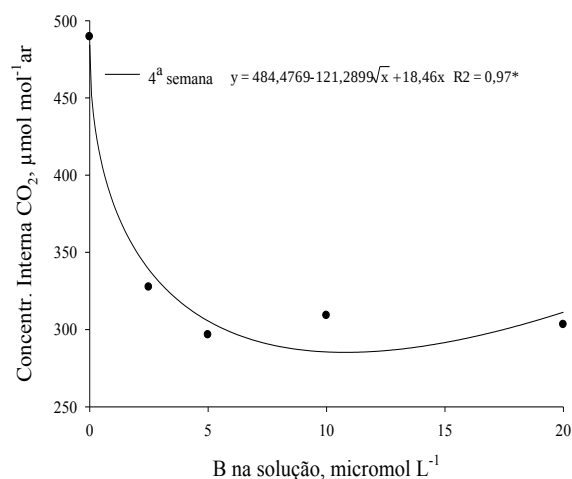
TABELA 19. Concentração Interna de CO_2 de três cultivares de algodão, obtido no estágio de emissão do 1° botão floral, na primeira e quarta semana após este estágio, em função de doses de B na solução nutritiva.

FATOR	1° Botão Floral	Semanas após 1° Botão Floral	
		1° Semana	4° Semana
Cultivares (C)	-----	$\mu\text{mol mol}^{-1} \text{ ar}$	-----
FMT 701	304,6	232,6	333,9
DP 604 BG	305,7	224,2	363,4
FMX 993	309,1	229,3	338,1
DMS	8,84 ^{ns}	24,68 ^{ns}	29,72 ^{ns}
Doses (D)			
0,0	298,5	251,2	489,5
2,5	305,9	223,3	327,4
5,0	306,5	214,6	296,5
10,0	313,2	220,0	309,1
20,0	308,2	234,5	303,2
F Dose	1,7 ^{ns}	1,9 ^{ns}	36,7 ^{**}
F interação D x C	1,6 ^{ns}	1,4 ^{ns}	0,8 ^{ns}

DMS = diferença mínima significativa pelo teste t (LSD), para comparação de médias na coluna.

F = valor do F calculado para a fonte de variação Dose e para interação Dose x Cultivar.

*, ** e ^{ns}, significativo ($p < 0,05$), ($p < 0,01$) e não significativo, respectivamente.



* significativo ($p < 0,05$).

FIGURA 39. Concentração interna de CO_2 de algodoeiro, obtida na quarta semana após emissão do 1° botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

Para taxa de transpiração, na avaliação realizada quando as plantas de algodão emitiram o primeiro botão floral, não houve efeito das doses de B, mas passada uma semana desta avaliação até a quarta semana da emissão do primeiro botão, quando foi realizada a última medição, pôde-se observar respostas significativas entre as doses de B (Tabela 20).

TABELA 20. Taxa de transpiração de três cultivares de algodão, obtido no estágio de emissão do 1º botão floral, na primeira e quarta semana após este estágio, em função de doses de B na solução nutritiva.

FATOR	1º Botão Floral	Semanas após 1º Botão Floral	
		1ª Semana	4ª Semana
Cultivares (C)		mmol m ⁻² s ⁻¹	
FMT 701	9,06	6,71	5,55
DP 604 BG	9,39	7,30	4,64
FMX 993	9,88	6,86	5,73
DMS	0,98 ^{ns}	0,86 ^{ns}	1,18 ^{ns}
Doses (D)			
0,0	8,95	4,61	2,75
2,5	9,81	6,99	6,11
5,0	9,10	7,76	6,06
10,0	9,91	7,71	6,07
20,0	9,44	7,72	5,54
F _{Dose}	0,91 ^{ns}	11,9**	7,40**
F _{interação D x C}	1,32 ^{ns}	1,20 ^{ns}	0,85 ^{ns}

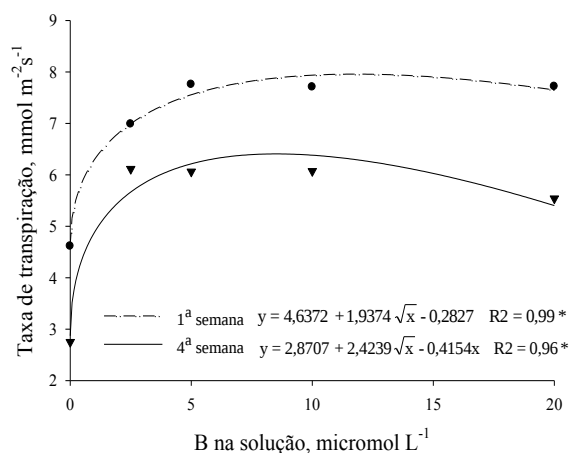
DMS = diferença mínima significativa pelo teste t (LSD), para comparação de médias na coluna.

F = valor do F calculado para a fonte de variação Dose e para interação Dose x Cultivar.

*, ** e ^{ns}, significativo (p<0,05), (p<0,01) e não significativo, respectivamente.

Na primeira semana após emissão do primeiro botão floral observou aumento da taxa de transpiração das folhas da dose 0,0 à 5,0 µmol L⁻¹ de B sem alterações a partir desta, mas na quarta semana, além da taxa de transpiração ser menor que a medida na primeira semana, observou-se que as maiores taxas já foram registradas para as plantas crescidas no tratamento com dose de 2,5 µmol L⁻¹ de B, e nas doses maiores que esta, os valores tenderam a diminuição (Figura 40). A carência de B causou alterações morfológicas na planta, principalmente nas folhas (Rosolem et al., 1999; Oliveira et al., 2006) e estas alterações proporciona redução do número de estômatos presentes na folha Leite (2002), bem como, o funcionamento de estômatos nelas presentes, prejudicando a atividade de transpiração

das folhas e, possivelmente, essa menor taxa transpiratória diminuiu o fluxo transpiratório da planta, prejudicando também a absorção e o transporte de B pela planta. O menor número de estômatos também prejudica a entrada de CO_2 na folha, afetando assim as trocas gasosas necessárias para a fotossíntese.



* significativo ($p < 0,05$).

● e ▼ = 1ª e 4ª semana, respectivamente.

FIGURA 40. Taxa de transpiração de algodoeiro, obtida na primeira e quarta semana após emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

Em cada avaliação, desde a realizada no estágio de emissão do primeiro botão floral até a realizada quatro semanas após este estágio, todos os dados de condutância estomática do algodoeiro responderam as doses de B na solução (Tabela 21).

Na avaliação realizada no estágio de emissão do primeiro botão, os valores de condutância estomática foram maiores que os medidos na primeira e quarta semana de avaliação, sendo que nestas duas últimas avaliações os valores obtidos em todas as doses foram próximos (Tabela 21). No estágio de primeiro botão floral as plantas crescidas no tratamento com dose $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ tiveram maior redução da condutância estomática do que após uma e quatro semanas, quando comparadas às doses com aplicação efetiva de B na solução nutritiva, e considerando apenas estas doses ($2,5$ a $20,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B), os resultados variaram de maneira diferenciada no estágio de botão floral ou pouco variou após uma e quatro semanas da emissão do primeiro botão (Figura 41), indicando que com uma dose

mínima de B já é possível o desenvolvimento desta atividade fisiológica, sem muitos prejuízos, pelo menos até esta idade da planta.

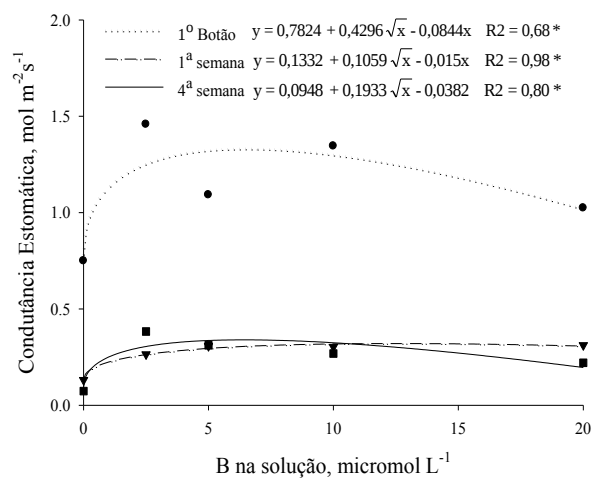
TABELA 21. Condutância estomática de três cultivares de algodão, obtido no estágio de emissão do 1º botão floral, na primeira e quarta semana após este estágio, em função de doses de B na solução nutritiva.

FATOR	1º Botão Floral	Semanas após 1º Botão Floral	
		1ª Semana	4ª Semana
Cultivares (C)	-----	mol m ⁻² s ⁻¹	-----
FMT 701	0,91	0,25	0,26
DP 604 BG	1,18	0,28	0,18
FMX 993	1,32	0,26	0,31
DMS	0,39 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,14 ^{ns}
Doses (D)			
0,0	0,75	0,13	0,07
2,5	1,46	0,26	0,38
5,0	1,09	0,31	0,31
10,0	1,35	0,30	0,27
20,0	1,02	0,31	0,22
F _{Dose}	2,45*	9,72**	3,37*
F _{interação D x C}	1,04 ^{ns}	1,23 ^{ns}	1,80 ^{ns}

DMS = diferença mínima significativa pelo teste t (LSD), para comparação de médias na coluna.

F = valor do F calculado para a fonte de variação Dose e para interação Dose x Cultivar.

*, ** e ^{ns}, significativo (p<0,05), (p<0,01) e não significativo, respectivamente.



* significativo ($p < 0,05$).

●, ▼ e ■ = 1° Botão, 1^a e 4^a semana, respectivamente.

FIGURA 41. Conduância estomática de algodoeiro, obtida no estágio de emissão do 1° botão floral, na primeira e segunda semana após este estágio, em função de doses de B na solução nutritiva.

A menor conduância estomática das plantas cultivadas no tratamento com dose 0,0 de B pode ser explicada pelas alterações morfológicas discutidos anteriormente para taxa de transpiração, e o acúmulo de amido nas folhas, devido o menor transporte de carboidratos causado pela deficiência de B como observado por Zhao e Oosterhuis (2002) e discutido por Malavolta (2006) e Moraes-Dallaqua (1992), também podem ter causado redução da conduância estomática por impedimento físico dentro da folha.

Nas duas primeiras medições da taxa de assimilação de CO_2 (botão floral e uma semana após), não existiram diferenças entre as cultivares, mas quatro semanas após o primeiro botão, foi observado que a assimilação de carbono pela cultivar DP604BG foi menor do que a das FMT 701 e FMX 993, as quais não diferiram entre si (Tabela 22). Na emissão do primeiro botão, não houve efeito das doses de B quanto à assimilação de carbono (Tabela 22). Passada uma semana deste estágio, já foi observado que as doses de B interferiram na fotossíntese da planta, e este efeito persistiu até a quarta semana de avaliação, porém, com valores inferiores aos obtidos na primeira semana (Figura 42).

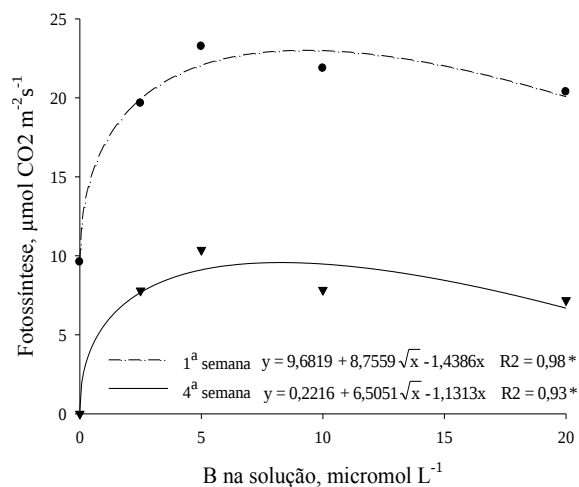
TABELA 22. Taxa de assimilação de CO₂ (taxa fotossintética) de três cultivares de algodão, obtido no estágio de emissão do 1º botão floral, na primeira e quarta semana após este estágio, em função de doses de B na solução nutritiva.

FATOR	1º Botão Floral	Semanas após 1º Botão Floral	
		1ª Semana	4ª Semana
Cultivares (C)	-----	µmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	-----
FMT 701	17,26	18,11	7,13
DP 604 BG	19,02	19,91	3,03
FMX 993	19,58	18,83	6,95
DMS	2,54 ^{ns}	3,05 ^{ns}	2,98*
Doses (D)			
0,0	16,57	9,60	0,00
2,5	21,39	19,65	7,79
5,0	18,28	23,25	10,37
10,0	18,32	21,87	7,83
20,0	18,55	20,37	7,18
F _{Dose}	2,30 ^{ns}	15,3**	19,3**
F _{interação D x C}	0,72 ^{ns}	0,92 ^{ns}	1,09 ^{ns}

DMS = diferença mínima significativa pelo teste t (LSD), para comparação de médias na coluna.

F = valor do F calculado para a fonte de variação Dose e para interação Dose x Cultivar.

*, ** e ^{ns}, significativo (p<0,05), (p<0,01) e não significativo, respectivamente.



* significativo (p<0,05).

● e ▼ = 1ª e 4ª semana, respectivamente.

FIGURA 42. Taxa de assimilação de CO₂ de algodoeiro, obtida na primeira e quarta semana após emissão do 1º botão floral, em função de doses de B na solução nutritiva.

A fotossíntese foi bastante afetada na dose 0,0, mas já nas plantas conduzidas no tratamento com dose 2,5 µmol L⁻¹, a fotossíntese apresentou valores

semelhantes ao observado nas maiores doses de boro (Figura 42), indicando que em condições de elevada carência a fotossíntese é prejudicada, mas uma mínima dose do nutriente, a atividade fotossintética da planta se aproxima da registrada sob condições normais de disponibilidade de B.

A carência de B diminuiu as trocas gasosas da folha por causa da redução da quantidade de estômatos (Leite, 2002) e do funcionamento destes, prejudicando a entrada de gases na folha e a condutância estomática, ocasionando redução da taxa fotossintética. Este efeito pôde ser observado pela semelhança de resposta dos dados de taxa de assimilação CO_2 (Figura 42) com os taxa de transpiração (Figura 40) e condutância estomática (Figura 41). Zhao e Oosterhuis (2002), também observaram que a taxa de transpiração, condutância estomática e fotossíntese do algodoeiro diminuíram drasticamente sob condições de carência de B afetando o crescimento da planta de algodão.

Na quarta semana de avaliação, as plantas crescidas no tratamento com dose $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B apresentaram valor zero de fotossíntese (Figura 42), e este efeito pode explicar o porquê de ter ocorrido maiores valores de concentração interna de CO_2 nestas plantas (Figura 39), pois o que realmente deve acontecer é que as alterações morfológicas e de trocas gasosas na folha reduzam a quantidade de CO_2 nos espaços intercelulares.

Segundo Malavolta (2006), a deficiência de B diminua a taxa de assimilação de CO_2 também pode ocorrer porque ocorre um acúmulo de açúcares e de amido nas folhas das plantas devido o menor transporte de carboidratos dentro das plantas com deficiência de boro. Segundo Dugger (1983) o B reduz parcialmente a atividade de compostos nitrogenados, como a uracila, precursora da UDPG (uridina difosfato glicose), responsável pela síntese de sacarose (Birnbaum et al., 1977). Com a diminuição da UDPG, ocorre o acúmulo de amido e diminuição na translocação de fotoassimilados (Moraes-Dallaqua, 1992) e como resposta da planta por essa sobra de assimilados no local de produção, há redução da fotossíntese.

5. CONCLUSÕES

A época de aparecimento e a intensidade de sintomas de deficiência de boro entre cultivares de algodão é diferente.

A cultivar DP604BG é inicialmente menos exigente em B, porém, há necessidade de maior disponibilidade de boro no meio nutritivo para evitar o aparecimento de deficiência.

O crescimento do algodoeiro é prejudicado pela carência de boro independentemente das diferenças no aparecimento de sintomas, não havendo diferença entre as cultivares.

A carência de boro prejudica as atividades fisiológicas das três cultivares de algodão.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGARWALA, S.C.; SHARMA, P.N.; CHARTTEJEE, C. et al. Development and enzymatic changes during pollen development in boron deficient maize plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.3, p.329-336, 1981.

AHMED, N.; ABID, M.; AHMAD, F. Boron toxicity in irrigated cotton (*gossypium hirsutum* L.). **Pakistan Journal of Botany**, v.40, n.6, p.2443-2452, 2008.

AMBERGER, A. Protein biosynthesis and effect of plant nutrients in the process of protein formation. In: **Fertilizer Use and Protein Production**. p.75-90. International Potash Institute. Berna. 1975. 308p.

ANDERSON, O.E.; OHKI, K. Cotton response and B distribution from foliar application of B. **Agronomy Journal**, v.64, p.1-898, 1972.

ANUÁRIO BRASILEIRO DO ALGODÃO 2001. Editora Gazeta Santa Cruz, Santa Cruz do Sul-RS, p.11-17, 2010.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; BARTOLINI, C.G.; FORSTHOFER, E.L.; STRIEDER, M.L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, n.2, p.158-167, 2001.

AZEVEDO, R.A.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L.R. Adsorção de boro em solos de várzea do Sul de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.957-964, 2001.

BANUELOS, G.S., MACKEY, B., COOK, C. et al. Response of cotton and kenaf to boron-amended water and soil. **Crop Science**, v.36, p.158-64, 1996.

BARBER, S.A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. 2.ed. New York, John Wiley & Sons, 1995. 414p.

BARBER, S.A. The role of root interception, mass-flow and diffusion in regulating the uptake of ions from soils. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). Limiting steps in ion uptake by plants from soil. Vienna, 1966, p.39-45. (IAEA. **Technical Report Series**, 65)

BASTOS, A.R.R.; CARVALHO, J.G. Absorção radicular e redistribuição do boro pelas plantas, e seu papel na parede celular. **Rev. Univ. Rural**, Seropédica, v.24, n.2, p.47-66, 2004.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PILLON, C.N.; SANGOI, L. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, p.1473-1478, 2001.

BELLATO, A.C.D.S. **Determinação isotópica e elementar de boro em amostras vegetais por espectrometria de massas com fonte de plasma (ICP-MS)**. 1999. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

BINGHAM F, T.; ELSEEWI A.; OERTLI, J. J. Characteristics of boron absorption by excised barley roots. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.34, p.613-617, 1970.

BIRNBAUM, E.H.; DUGGER, W.M.; BEASLEY, C.A. Interaction of boron with components of nucleic acid metabolism in cotton ovules culture in vitro. **Plant Physiology**, v.59, p.1034-1038, 1977.

BIRNBAUM, E.H; BEASLEY, C.A.; DUGGER, W.M. Boron deficiency in underfertilized cotton (*Gossypium hirsutum*) ovules grown *in vitro*. **Plant Physiology**, v.54, p.931-935, 1974.

BOARETTO, R.M. **Boro (10B) em laranjeira: absorção e mobilidade**. 2006. 120 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

BLEVINS, D.G.; LUKASZEWSKI, K.M. Boron plant structure and function. **Annual Review of Plant Physiology**, Stanford, v.49, p.481-500, 1998.

BRASIL, Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária, Brasília: MAPA/ ACS, 2009. 395p.

BROWN, P.H.; HU, H. Boron uptake by sunflower, squash and cultured tobacco cells. **Physiologia Plantarum**, v.91, n.3, p.435-441, 1994.

BROWN, P. H.; HU, H. Phloem mobility of boron is species dependent: evidence for phloem mobility in sorbitol rich species. **Annals of Botany**, v.77, p.497-505, 1996.

BROWN, P.H.; HU, H. Manejo do boro de acordo com sua mobilidade nas diferentes culturas. Piracicaba POTAFOS. 1998. 4p. (POTAFOS, **Informações Agronômicas**, 84).

BROWN, P.H.; SHELP, J.B. Boron mobility in plants. **Plant and Soil**, v.193, p.85-101, 1997.

CAKMAK, I.; ROMHELD, V. Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plant. **Plant and soil**, v.193, p.71-83, 1997.

CARVALHO, P.P. **Manual do Algodoeiro**. Lisboa: Instituto de investigação Científica Tropical, 1996, 282p.

CARVALHO, L.H. **Efeito da calagem e da adubação boratada sobre o algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) cultivado em Latossolo Vermelho Amarelo**. 1980. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1980.

CARVALHO, L.H.; SILVA, N.M.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; KONDO, J.I.; CHIAVEGATO, E.J. Aplicação de boro no algodoeiro, em cobertura e em pulverização foliar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.20, p.265-266, 1996.

CARVALHO, M.C.S.; FERREIRA, C.B.; STAUT, L.A. Nutrição, Calagem e Adubação do Algodoeiro. In: FREIRE, E. C. **Algodão no cerrado do Brasil**. Brasília, ABRAPA, 2007. p.581-647.

CARVALHO, M.A.C.; PAULINO, H.B.; FURLANI-JUNIOR, E.; BUZETTI, S.; SÁ, M.E.; ATHAYDE, M.L.F. Uso da adubação foliar nitrogenada e potássica no algodoeiro. **Bragantia**, v.60, n.3, p.239-244, 2001.

CHAUDHARY, D.R.; SHUKLA, L.M. Boron adsorption and desorption in arid soils of India. **Agrochimica**, v.48, p.141-152, 2004.

CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Safras: Séries históricas. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 28 set. 2010.

COMMUNAR, G.; KEREN, R. Rate-limited boron transport in soils: the effect of soil texture and solution pH. **Soil Science Society of America Journal**, v.70, p.882-892, 2006.

COMMUNAR, G.; KEREN, R. Effect of transient irrigation on boron transport in soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.71, p.306-313, 2007.

De BIEVRE, P., BARNES, I.L. Atomic weight of the elements based on the carbon 12 standard. **International Journal of Mass Spectrometry and Ion Processes**, v.65, p.211-30, 1985.

DECHEN, A.R.; HAAG, H.P.; CARMELLO, Q.A. de C. Funções dos micronutrientes nas plantas. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (ed.). **Micronutrientes na Agricultura**. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p.65-97.

DELL, B., HUANG, L. Physiological response of plants to low boron. **Plant and Soil**, v.193, p.103-120, 1997.

DIEKOW, J. **Estoque e qualidade da matéria orgânica do solo em função de sistemas de culturas e adubação nitrogenada no sistema plantio direto**. Porto Alegre, 2003, 164 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

DUGGER, W.M. **Boron in metabolism**. In: Encyclopedia of Plant Physiology. New York: SPRINGER-VERLAG, 1983. 626p.

FERREIRA, G.B. **Interferência da matéria orgânica e ferro na dosagem de boro com Azometina-H e comparação de extratores para boro disponível no solo**. Viçosa, 1998. 97 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

FERREIRA, G.B.; CARVALHO, M.C.S. **Adubação do algodoeiro no Cerrado: Com resultados de pesquisa em goiás e Bahia**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. 71 p. (Documentos, 138).

FONTES, R.L.F.; MEDEIROS, J.F.; NEVES, J.C.L.; CARVALHO, O.S.; MEDEIROS, J.C. Growth of brazilian cotton cultivars in response to soil applied boron. **Journal of Plant Nutrition**. v.31, n.5, p.902-918. 2008

FURLANI JUNIOR, E.; SILVA, N.M.; BUZETTI, S.; SÁ, M.E.; ROSOLEM, C.A.; CARVALHO, M.A.C. Extração de macronutrientes e crescimento da cultivar IAC 22. **Cultura Agronômica**, v.1, p.27-43, 2001.

GAUCH, H.G. **Inorganic plant nutrition**. Stroudsburg: Hutchinson & Rop, 1972, 488p.

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, 1997a. p.3-44.

GOLDBERG, S. Reactions of boron with soil. **Plant and Soil**, v.193, p.35-38, 1997b.

GOLDBERG, S. Reactions of boron with soils. In: DELL, B.; BROWN, P.H.; BELL, R.W. (Eds). **Boron in soils and plants: reviews**. Dordrecht, Kluwer, 1997c, p.35-48. (eucalypto)

GRIMES, D.W.; EL-ZIK, K.M. Cotton. In: STEWART, B.A.; NIELSEN, D.R. **Irrigation of Agricultural Crops**. Madison: American Society of Agronomy. 1990, p.741-773.

GUPTA, U.C. Boron. In: BARKER, A.V.; PILBEAN, D.J. (ed.). **Handbook of Plant Nutrition**. Taylor and Francis Publications, 2006. p.241-277.

GUIMARÃES, T.G.; FONTES, P.C.R.; PEREIRA, P.R.G.; ALVAREZ V., V.H.; MONNERAT, P.H. Teores de clorofila determinados por medidor portátil e sua relação com formas de nitrogênio em folhas de tomateiro cultivados em dois tipos de solo, **Bragantia**, v.58, n.1, p.209-216, 1999.

HINKLE, D.A.; BROWN, A.L. Secondary nutrients and micronutrients. In: ELLIOT, F.C., et al. (Eds.), **Advances in Production and Utilization of Quality Cotton: Principles and Practices**. Iowa State University Press, Ames, IA, p. 281–320, 1968.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, I. The water culture method for growing plants without soil. **Cirulating of California Agricultural Experiment Station**. v.347, p.32. 1950.

HU, H.; BROWN, P.H. Localization of in boron in cell walls of squash and tobacco and its association with pectin. **Plant Physiology**, v.105, p.681-689, 1994.

IBEWIRO, B.; SANGINGA, N.; VANLAUWE, B.; MERCKX, R. Nitrogen contributions from decomposing cover crop residues to maize in a tropical derived savanna. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v.57, p.131 – 140, 2000.

KOUCHI, H.; KUMAZAWA, K. Anatomical responses of root tips to boron deficiency. III. Effect of boron deficiency on subcellular estrutura of root tips, particuly on cell wall and its related organelles. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.22, p.53-71, 1976.

LEE, S.G., ARONOFF, S. Boron in plants: a biochemical role. **Science**, v.158, p.798-799, 1967.

LEITE, V.M. **Absorção e translocação de B em cafeeiro**. 2002. 99 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

LEWIS, D.H. Are there interrelations between the metabolic role of boron synthesis of phenolic phytoalexins and the germination of pollen? **New Phytologist**, v.84, p.261-270, 1980a.

LEWIS, D.H. Boron, lignification and the origin of vascular plants a unified hypothesis. **New Phytologist**, v.84, p.209-229, 1980b.

LIMA FILHO, O.; MALAVOLTA, E. Evolution of extraction procedures on determination of critical soil and foliar levels of boron and zinc in coffee plants. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** Athens, v.29, n.7&8, p.825-834, 1998.

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

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006, 638p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de Nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1980, 251p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, A.S. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 1989. 201p.

MARENCO R.A.; LOPES, N.F. Fisiologia vegetal. In: MARENCO R.A.; LOPES, N.F. **Nutrição Mineral**. Viçosa: UFV, 2005. cap.5, p.249-330.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Londres: Academic Press, 1995. 889p.

MARUR, C.J. Crescimento e desenvolvimento do algodoeiro. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Recomendações para cultura do algodoeiro no Paraná**. Londrina, 1993. p.2-7. (Circular, 107).

MATOH, H. Boron in plant cell walls. **Plant and Soil**, v.193, p.59-70, 1997.

MEYER, W.S.; GREEN, G.C. Water use by wheat and plant indicators of available soil water. **Agronomy Journal**, v.72, p.253-257, 1980.

MILEY, W.N.; HARDY, G.W.; STURGIS, M.B.; SEDBERRY JR., F.E. Influence of boron, nitrogen and potassium on yield, nutrient uptake and abnormalities of cotton. **Agronomy Journal**, v.61, p.9-13, 1969.

MIWA, K.; FUJIWARA, T. Boron transport in plants: co-ordinated regulation of transporters. **Annals of Botany**, v.105, p.1103–1108, 2010.

MIWA, K.; TAKANO, J.; OMORI, H.; SEKI, M.; SHINOZAKI, K.; FUJIWARA, T. Plants Tolerant of High Boron Levels. **Science**, v.318, 2007.

MORAES-DALLAQUA, M.A. **Alterações nos órgãos vegetativos do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L cv. carioca) causadas por diferentes níveis de B na solução nutritiva**. 1992. 69 F. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas/Biologia Vegetal) - Instituto de Ciências de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1992.

NELSON, N. A photometric adaptation of the Somogy method for the determination of glucose. **Journal of Biological Chemistry**. v.153, p.375-378, 1944.

OBERTLI, J.J. Non-homogeneity of boron distribution in plants and consequences for foliar diagnosis. **Communications in soil science and plant analysis**. Athens, v.25, n.7-8, p.1133-47, 1994.

OLIVEIRA, R.H. **Alterações anatômicas e translocação de boro no algodoeiro**. 2003. 91f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

OLIVEIRA, R.H.; MILANEZ, C.R.D.; DALLAQUA, M.A.M.; ROSOLEM, C.A. Boron Deficiency Inhibits Petiole and Peduncle Cell Development and Reduces Growth of Cotton. **Journal of Plant Nutrition**, v.29, n.11, p.2035-2048, 2006.

OOSTERHUIS, D.M. Growth and development of a cotton plant. In: CIA, E.; FREIRE, E.C.; SANTOS, W.J. (Eds) **Cultura do Algodoeiro**. Piracicaba:POTAFÓS, 1999, p.35-55.

OOSTERHUIS, D.M. **Growth and development of a cotton plant**. Fayetteville: University of Arkansas, Arkansas Cooperative Extension Service, 1992. 24p. (MP332-4M-9-92R)

O'NEILL, M.A.; YORK, W.S. The composition and structure of plant primary cell walls. In: ROSE, J.K.C. (Ed.) **The Plant Cell Wall**. Blackell, Oxford, 2003, p.1-54.

PAVAN, M.A.; CORREA, A.E. Reações de equilíbrio solo-boro. **Separata de Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, n.3, p.261-269, 1988.

POLLARD, A.S.; PARR, A.J.; LOUGHMANN, B.C. Boron in relation to membrane function in higher plants. **Journal of Experimental Botany**. v.28, p.831-841, 1977.

QUAGGIO, J.A.; SILVA, N.M. da; BERTON, R.S. **Culturas oleaginosas**. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Ed.). Micronutrientes na Agricultura. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p.445-84.

RAVEN, J. A. Short- and long-distance transport of boric acid in plants. **New Phytologist**, v.84, n.2, p.231-249, 1980.

REDDY, K.R.; HODGES, H.F.; MCKINION, J.M.; WALL, G.W. Temperature effects on Pima cotton growth and development. **Agronomy Journal**, Madison, v.84, p.237-243, 1992.

REIS JÚNIOR, R.A. Produtividade do algodoeiro em função da adubação potássica. In: **Resultados de pesquisa com algodão, milho e soja-safra 2000/2001**. Dourados: EMBRAPA/Fundação Chapadão, 2001. p.79-85.

RERKASEM, B. Boron nutrition of crops and genotypic variation in boron efficiency. In: **Boron in plant and animal nutrition**, GOLDBACH, H.E.; RERKASEM, B.; WIMMER, M.A.; BROWN, P.H.; THELLIER, M.; BELL, R.W. (Eds.) Kluwer Academic/Plenum Publishers: USA, 2002, 410p.

ROMHELD, V.; MARSCHNER. Function of micronutrients in plants. In: MORTVEDT, J.J. **Micronutrients in Agriculture**, 2ª ed., Soil Sci. Soc. Amer. Inc., Madson, p.297-328, 1991.

ROSOLEM, C.A.; BÍSCARO, T. Adsorção e lixiviação de boro em Latossolo Vermelho-Amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.10, p.1473-1478, 2007.

ROSOLEM, C. A. Ecofisiologia e manejo na cultura do algodoeiro. In: FREIRE, E. C. **Algodão no cerrado do Brasil**. Brasília, ABRAPA, 2007. p.649-688.

ROSOLEM, C.A. **Fenologia e ecofisiologia no manejo do algodoeiro**. Rondonópolis:Fundação MT, 2001, p.147-160. (Fundação MT. Boletim, 4).

ROSOLEM, C.A. Micronutrientes em Algodão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 5, Salvador, BA, 2005. **Anais...** Salvador: EMBRAPA, 2005. CD-ROM.

ROSOLEM, C.A.; ESTEVES, J.AF.; FERELLI, L. Resposta de cultivares de algodoeiro ao boro em solução nutritiva. **Scientia Agricola**, v.56, p.705-711, 1999.

ROSOLEM, C.A.; QUAGGIO, J.A.; SILVA, N.M. Algodão, Amendoim e Soja. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, van. B.; ABREU, C.A. (Eds). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001, p.321-354.

ROSOLEM, C.A.; BOARETO, A.E. Avaliação do estado nutricional das plantas cultivadas. In: BOARETO, A.E.; ROSOLEM, C.A., (E.d.) **Adubação foliar**. Campinas, Fundação Cargill, 1989. p.117-144.

ROSOLEM, C.A.; COSTA, A. Cotton growth and boron distribution in the plants as affected by a temporary deficiency of boron. **Journal of Plant Nutrition**, v.23, p.815-825, 2000.

ROSOLEM, C.A; BASTOS, G.B. Deficiências minerais no cultivar de algodão IAC 22. **Bragantia**, v.56, n.2, 1997.

ROSOLEM, C.A.; DEUS, A.C.F., MARTINS, P.O.; LÉLES, E.P.; ADORNA, J. **Translocação de boro em cultivares de algodão**. CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 7, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** ABRAPA/IAPAR, Foz do Iguaçu. 2009.

ROTHWELL, A.; BRYDEN, J. W.; KNIGHT, H.; COXE, B. J. Boron deficiency of cotton in Zambia, **Cotton Growing Review**, v.44, p.23-28, 1967.

SALTALI, K.; BILGILI, A.V.; TARAKCIOGLU, C.; DURAK, A. Boron adsorption in soils with different characteristics. **Asian Journal of Chemistry**, v.17, p.2487-2494, 2005.

SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P.; MALAVOLTA, E.; ACCORSI, W.R. Estudo sobre a alimentação mineral do algodoeiro. II. Deficiências de micronutrientes na variedade IAC 11. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v.30, p. 93-103, 1973.

SCARAMUZZA, J.F., COUTO, E.G., SELVA, E.C.; TONON, L. Estudo da distribuição espacial entre boro e matéria orgânica e entre fósforo e zinco, em um solo de nova mutum – MT. SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2, 2002, Viçosa. **Anais...** Viçosa: EMBRAPA/UFV, 2002.

SEVERINO, L.S.; COSTA, F.X.; BELTRÃO, N.E.M.; LUCENA, A.M.A.; GUIMARÃES, M.M.B. Mineralização da torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.5, n.1, 2004.

SESTREN, J.A.; KROPLIN, R. Sintomas de toxicidade de boro no algodoeiro. CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 7, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** ABRAPA/IAPAR, Foz do Iguaçu. 2009.

SHARMA & RAMCHANDRA, T. Water relations and photosynthesis in mustard plants subjected to boron deficiency. **Indian Journal Plant Physiology**, v.33, p.150-154, 1990.

SHELP, B.J. Boron mobility and nutrition in broccoli (*Brassica oleracea* var. Italica). **Annals of Botany**, London, v.61, p.83-91, 1988.

SHORROCKS, V. Occurrence and correction of boron deficiency. **Plant and Soil**, v.193, p.121-148, 1997.

SHU, Z.H.; OBERLY, G.H.; CARY, E.E. Absorption, movement and distribution of boron applied peach (*Prunus persica* L. Batsch) fruits. **Preceeding of the International Symposium on Boron in Soil and Plants Cold and Chiang**, Thailand, 1997, p.209-211.

SIEBENEICHLER, S.C.; MONNERAT, P.H.; CARVALHO, A.J.C.; SILVA, J.A.; MARTINS, A.O. Mobilidade do boro em plantas de abacaxi. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.27, n.2, p.292-294, 2005.

SILVA, M.N.; CARVALHO, L.H.; BATAGLIA, O.C.; HIROCE, R. Efeitos do boro em algodoeiro cultivado em condições de casa de vegetação. **Bragantia**, v.38, p.153-164, 1979.

SILVA, N.M.; CARVALHO, L.H.; CHIAVAGATO, E.J.; SABINO, N.P; RÚTER, H. Efeitos da dose de boro aplicadas no sulco de plantio do algodoeiro em solo deficiente. **Bragantia**, v.41, p.181-191, 1982.

SILVA, N.M. Nutrição mineral e adubação do algodoeiro no Brasil. In: CIA. E.; FREIRE, E.C.; SANTOS, W.J. (Eds) **Cultura do Algodoeiro**. Piracicaba:POTAFÓS, 1999, p.57-92.

SILVA, N.M.; CARVALHO, L.H.; HIROCE, R.; QUAGGIO, J.A. A calagem na reação do algodoeiro à adubação com superfosfato simples. **Bragantia**, v.46, n.2, p.381-396, 1987.

SILVA, N.M.; CARVALHO, L.H.; KONDO, J.I.; BATAGLIA, O.C.; ABREU, C.A. Dez anos de sucessivas adubações com boro no algodoeiro. **Bragantia**, v.54, n.1, p.177-185, 1995.

SILVA, N.M.; RAIJ, B. van. Fibras. In: RAIJ, B. van; CATARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C., eds. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agrônômico & Fundação IAC, 1996. p. 107-118. (Boletim técnico 100).

STAUT, L.A.; KURIHARA, C.H. Calagem e adubação. In: EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE. **Algodão: tecnologias de produção**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; 2001. p.103-123.

STAUT, L.A. **Fertilização fosfatada e potássica nas características agronômicas e tecnológicas do algodoeiro na região de Dourados, MS**. Jaboticabal, 1996. 124 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP.

SRIVASTAVA, P.C.; GUPTA, U.C. Essential trace elements in crop production. In: SRIVASTAVA, P.C.; GUPTA, U.C. (Eds) **Trace Elements in Crop Production**. New Delhi, India: Oxford & IBH Publishing Cop. Pvt. Ltd., 1996, p.73-173.

SOMOGY, M. Determination of blood sugar. Journal of Biological Chemistry, Baltimore, v.160, n.61, p.69-73, 1945.

SOUKUP, C.V.B.; PRERECIM, D.; DEMATTÊ, M.E.P. Equações de regressão para estimativa de área foliar. Aplicações a duas espécies de begônias. **Científica**, v.14, n.1/2, p.93-99, 1986.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004, 613 p.

TANADA, T. Localization of boron in membranes. **Journal of Plant Nutrition**. v.6, p.743-749, 1983.

TANG, P.; FLUENTE, R.K. The transport of índole-3-acetic acid in boron and calcium deficient sunflower hypocotyl segments. **Plant Physiology**, v.81, p.646-650, 1986.

TAKANO, J.; WADA, M.; LUDEWIG, U.; SCHAAF, G.; Von WIRÉN, N.; FUJIWARA, T. The Arabidopsis major intrinsic protein NIP5;1 is essential for efficient boron uptake and plant development under boron limitation. **The Plant Cell**, v.18, p.1498–1509, 2006.

THELLIER, M.; DUVAL, Y.; DEMARTY, M. Borate exchanges of *Lemna minor* L. as studied with the help of the enriched stable isotopes and of a (n, α) nuclear reaction. **Plant Physiology**, v.63, n.3, p.283-288, 1979.

THOMPSON, W. R. Fertilization of cotton for yields and quality. In: CIA, E.; FREIRE, E. C.; SANTOS, W. J. **Cultura do algodoeiro**. Piracicaba: Potafós, 1999. p.94.

VANDERLEI, J.C.; FAQUIN, V.; GUEDES, G.A.A.; CURI, N. Boro em materiais de três solos do município de Lavras, MG. **Separata de Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, n.12, p.1421-1429, 1988.

ZANCANARO, L.; TESSARO, L.C. Calagem e Adubação In: MORESCO (Org.). **Algodão: pesquisas e resultados para o campo**. Cuiabá: Fundo de apoio à Cultura do Algodão/FACUAL (ed.), 2006. p.57-81.

XIE,Q., WEI,W.X., WANG,Y.H. Studies on absorption, trasnlocation and distribution of boron in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Acta Agronomica Sinica**, v.18, p.31-7, 1992.

ZHAO, D.; OOSTERHUIS, D.M. Cotton carbon exchange, nonstructural carbohydrates, and boron distribution in tissues during development of boron deficiency. **Field Crops Research**, v.78, p.75-87, 2002.

ZOTARELLI, L.; CARDOSO, E.G.; PICCININ, J.L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; TORRES, E.; ALVES, B.J.R. Calibração do medidor de clorofila Minolta SPAD-502 para avaliação do conteúdo de nitrogênio do milho, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.9, p.1117-1122, 2003.