

EXIGÊNCIA A BORO EM CULTIVARES DE SOJA⁽¹⁾

A. M. C. FURLANI⁽²⁾, R. T. TANAKA⁽³⁾, M. TARALLO⁽⁴⁾,
M. F. VERDIAL⁽⁴⁾ & H. A. A. MASCARENHAS⁽³⁾

RESUMO

O conhecimento quanto à exigência a boro de genótipos da soja pode ser relevante para: recomendações de corretivos e fertilizantes, recomendação de cultivares e programas de melhoramento. O objetivo deste trabalho foi estudar a resposta de cultivares de soja à adição de doses de boro em solução nutritiva. O experimento foi realizado em casa de vegetação do Instituto Agrônomo de Campinas - IAC, Campinas (SP). Foram estudados quatro cultivares de soja (IAC-1, IAC-8, IAC-15 e IAC-17) e cinco doses de boro (0,0; 0,05; 0,20; 0,80 e 2,00 mg L⁻¹ de B), utilizando-se delineamento em blocos ao acaso, em esquema fatorial com cinco repetições. As plantas foram avaliadas quanto aos sintomas de deficiência à toxidez, produção de matéria seca, altura das plantas, teores críticos de B nas folhas, B absorvido pela planta e teores de P, K, Ca e Mg. As plantas foram colhidas no início do florescimento para determinação da massa da matéria seca e teores de nutrientes. Os teores limites de B nas folhas para a deficiência variaram de 25 a 30 mg kg⁻¹, mostrando diferenças entre os cultivares nesta susceptibilidade. O sintoma inicial de toxidez foi observado a partir da dose de 0,8 mg L⁻¹ de B na solução, cujo teor correspondente nas folhas foi de 83 mg kg⁻¹ de B (média dos cultivares), enquanto o acúmulo máximo de matéria seca total ocorreu para concentrações na solução estimadas entre 0,1 e 0,2 mg L⁻¹. A severidade dos sintomas visuais variou entre cultivares dentro do mesmo tratamento, indicando diferentes tolerâncias ao excesso do nutriente. Assim, quanto aos sintomas de deficiência e de toxidez, o cv. IAC-1 foi o mais susceptível à deficiência e à toxidez de B, e o cv. IAC-17 foi, aparentemente, o mais tolerante ao excesso de B. Os cvs. IAC-8 e o IAC-15 acumularam as maiores quantidades de B, mesmo nos tratamentos com baixa concentração de B na solução. Os teores de P, K, Ca e Mg nas folhas não variaram significativamente entre os tratamentos que receberam boro (0,05 a 2,0 mg L⁻¹), com exceção das plantas com deficiência severa.

Termos de indexação: *Glycine max* (L.) Merrill, micronutriente, solução nutritiva, seleção de cultivares.

⁽¹⁾ Com auxílio-pesquisa da FAPESP. Apresentado na FertBIO98, Caxambu, 1998. Recebido para publicação em maio de 2000 e aprovado em junho de 2001.

⁽²⁾ Pesquisador do Centro de Solos e Recursos Agroambientais – CSRA, Instituto Agrônomo de Campinas – IAC. Caixa Postal 28, CEP 13001-970 Campinas (SP). Bolsista do CNPq.

⁽³⁾ Pesquisador do Centro de Plantas Graníferas, IAC. Bolsista do CNPq.

⁽⁴⁾ Estagiários do Centro de Solos e Recursos Agroambientais, IAC. Bolsistas do CNPq.

SUMMARY: BORON REQUIREMENT IN SOYBEAN CULTIVARS

The evaluation and classification of soybean cultivars, based on their tolerance to deficient or excessive boron levels, may be relevant when recommending fertilizers and amendments, and for plant breeding programs. This research aimed to study the response of four soybean cultivars to doses of B added to the nutrient solutions. The experiment was carried out under greenhouse conditions, at the experimental station of Instituto Agronômico, Campinas, São Paulo, Brazil in 1998. The soybean cultivars IAC-1, IAC-8, IAC-15 e IAC-17 were grown in five B concentrations in a nutrient solution (0.0; 0.05; 0.2; 0.8 and 2.0 mg L⁻¹ of B), in order to get a wide range of plant response, from deficiency to toxicity. The experiment was arranged in a randomized complete block design, in a factorial with five replications. The plants were evaluated for visual symptoms of deficiency and toxicity, top and root dry matter production, plant height, leaf B critical concentrations for deficiency or toxicity, B contents in plant parts (top/root ratios), and leaf P, K, Ca and Mg concentrations. Plants were harvested at early flowering and separated in leaves, stems and roots for dry matter and nutrient determinations. The critical concentration in the leaves for deficiency symptoms varied from 25 to 30 mg kg⁻¹, and different susceptibilities among cultivars for B deficiency were observed. Visual symptoms of toxicity started at levels of 0.8 mg L⁻¹, which were related to an average leaf B concentration of 83 mg kg⁻¹. Maximum total dry matter yields were obtained for concentrations in the nutrient solution estimated between 0.1 and 0.2 mg L⁻¹. The severity of visual symptoms varied among cultivars within the same treatment, indicating different tolerances to B excess. In relation to the visual symptoms, cv. IAC-1 was the most susceptible to B deficiency and B toxicity; cv. IAC-17 was, apparently, the most tolerant to B toxicity. Cultivars IAC-8 and IAC-15 were more efficient in the uptake and accumulation of B, even under low B concentrations in solution. The cultivars presented similar B transport ability from roots to tops evaluated by the top/root ratios of B content, except for the cv. IAC-17. Leaf nutrient (P, K, Ca and Mg) concentrations did not vary significantly with the increasing B concentrations in the solution (0.05 to 2.0 mg L⁻¹), except for the severely deficient plants.

Index terms: Glycine max (L.) Merrill, micronutrient, nutrient solution, plant selection.

INTRODUÇÃO

Deficiências de boro (B) são muito comuns na agricultura brasileira; no entanto, existem lacunas no conhecimento sobre as diferenças entre espécies e cultivares quanto às exigências daquele nutriente, principalmente em cultivo de soja. Em lavoura de soja sob alta dose de calagem, Mascarenhas et al. (1988) observaram sintomas de deficiência de B. Galvão (1990) verificou aumento significativo no rendimento de soja pela adição de B, principalmente em solos do cerrado brasileiro corrigidos em acidez. A interação de nutrientes pode provocar deficiência ou toxidez e, no caso do B, a relação B/Ca é particularmente importante, e a manifestação da deficiência vai depender das condições específicas de clima, solo e da espécie ou cultivar (Bataglia, 1988; Dechen, 1988; Gupta, 1993).

O boro é importante na divisão e alongação celular, na germinação do pólen, alongação do tubo polínico e fecundação, garantindo a formação do fruto ou semente, sendo fator determinante da produção.

A reserva de B nas sementes também é extremamente importante, pois sementes deficientes têm baixo poder germinativo (Rerkasem et al., 1997) e, além disso, irão gerar plântulas anormais (Marschner, 1995; Rerkasem et al., 1997).

Resposta diferencial de espécies e cultivares à deficiência de B foram apresentados por El Bassam (1998), Gupta (1993), Rerkasem & Jamjod (1997) e Brown & Shelp (1997) para diversas culturas, bem como sobre a fisiologia relacionada com a resposta das plantas à baixa concentração de B (Dell & Huang, 1997). Também a tolerância diferencial de espécies e cultivares ao excesso de B tem sido reportada em trabalhos de revisão (Dechen, 1988; Gupta, 1993; Dechen et al., 1999; Furlani & Castro, 1999). Algumas espécies sensíveis apresentam sintomas com teores de B na água de irrigação de apenas 1,0 mg L⁻¹, enquanto outras, mais tolerantes, suportam concentrações de até 10 mg L⁻¹ de B (Furlani & Castro, 1999). Trabalhando com cultura de tecidos de plantas de soja, Graham et al. (1993) observaram diferenças significativas entre oito cultivares para crescimento de calos, evidenciando

variações genotípicas quanto à exigência a B no meio nutritivo do substrato do ensaio.

Rerkasem et al. (1997) estudaram a resposta de 19 cultivares de soja num solo da Tailândia deficiente em B e, nesta condição, observaram queda na produtividade da ordem de 30 a 60%, quando comparada ao tratamento com adubação com boro. Os autores observaram que a incidência do sintoma de sementes ocas, "hollow heart", devido à deficiência de B, variou entre os cultivares. A aplicação de B diminuiu ou eliminou o sintoma.

O conhecimento do comportamento dos cultivares e linhagens de soja quanto à tolerância, à falta ou ao excesso de B, pode revestir-se de importância na recomendação de cultivares e nos programas de melhoramento genético.

Os objetivos deste trabalho foram estudar as diferenças entre cultivares de soja quanto à absorção e utilização de B em solução nutritiva, determinar os teores críticos nas folhas para a deficiência e toxidez e as possíveis interações com outros nutrientes, principalmente o Ca.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em vasos que continham solução nutritiva em casa de vegetação localizada no Núcleo Experimental de Campinas do Instituto Agrônomo. Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso, seguindo o esquema fatorial 4 x 5 (quatro cultivares de soja e cinco doses de B), com cinco

repetições. Os cultivares de soja, IAC-1, IAC-8, IAC-15 e IAC-17 foram avaliados pela importância econômica atual e no passado. As doses de B testadas foram de: 0,00; 0,05; 0,20; 0,80; 2,00 mg L⁻¹ na solução, em amplitudes que induzissem desde a deficiência até à toxidez nas plantas. A unidade experimental consistiu de vaso plástico com 2,7 L de solução nutritiva com três plantas por vaso.

As sementes foram postas a germinar em papel apropriado, em câmara sob umidade e temperatura controladas. Passados sete dias, as plântulas foram transplantadas para os vasos que continham as soluções nutritivas. As doses e as fontes de nutrientes utilizadas no preparo das soluções-estoque foram baseadas em Furlani & Furlani (1988) (Quadro 1). A solução nutritiva comum a todos os tratamentos teve a seguinte composição (em mg L⁻¹): Ca 151; K 150,4; Mg 18,9; N 158 (N-NO₃ 138,0 + N-NH₄ 20,0); S 56,2; Cl 32,5; P 8,0; Fe 3,7; Mn 0,5; Zn 0,15; Cu 0,04 e Mo 0,08. Esta solução, depois de distribuída nos vasos, foi acrescida dos tratamentos com B (Quadro 1).

A solução nutritiva foi mantida sob arejamento e volume de 2,7 L com água desionizada. O pH inicial foi ajustado para 5,2 utilizando soluções de HCl ou NaOH 0,1 mol L⁻¹ e monitorado durante o crescimento das plantas. A solução nutritiva foi substituída após 27 dias da data do transplante (quando 2/3 dos nutrientes já haviam sido consumidos), mantendo-se a mesma composição e pH.

A temperatura e a umidade relativa diurna e noturna foram registradas por um termoígrafo,

Quadro 1. Composição das soluções-estoque, utilizadas no preparo da solução nutritiva

Solução-estoque (sais componentes)	Concentração da solução-estoque	Proporção de estoque para a solução nutritiva
	g L ⁻¹ (sal)	mL L ⁻¹
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	270,0	3,30
NH ₄ NO ₃	33,8	
KCl	18,6	
K ₂ SO ₄	44,0	3,60
KNO ₃	24,6	
MgSO ₄ .7H ₂ O	136,9	1,40
FeSO ₄ .7H ₂ O	9,16	2,00
HEDTA	8,68	
MnCl ₂ .4H ₂ O	2,34	1,00
ZnSO ₄ .7H ₂ O	0,88	
Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	0,26	
CuSO ₄ .5H ₂ O	0,20	
KH ₂ PO ₄	35,1	1,00
H ₃ BO ₃	0,1578 a 6,3128	5 mL

durante todo o período do experimento. As médias e o desvio-padrão das médias para as temperaturas, máximas e mínimas, foram, respectivamente, de: $33,6 \pm 0,7^\circ\text{C}$ e $19,2 \pm 0,2^\circ\text{C}$. Para a umidade relativa do ar, as médias noturnas e diurnas foram de $70,7 \pm 2,9\%$ e $27,3 \pm 1,7\%$, respectivamente.

Para avaliar os efeitos dos tratamentos, foram determinados: (a) altura das plantas; (b) produção de matéria seca de raízes, hastes e folhas; (c) teores de B, P, Ca, K e Mg nas raízes, hastes e folhas. Aos sintomas visuais de deficiência ou de toxidez foram atribuídas notas de zero para nenhum sintoma, a cinco para sintoma severo. As notas foram dadas por duas pessoas, totalizando 10 observações por repetição (para cada cultivar e concentração de B).

As variáveis de crescimento (altura e produção de matéria seca) foram determinadas no início do florescimento, correspondendo à R_1 da escala de Fehr & Caviness (1977). Assim, as colheitas das plantas foram realizadas após 41, 46, 49 e 55 dias do transplante, respectivamente, para os cvs. IAC-1, IAC-17, IAC-15 e IAC-8. As plantas foram lavadas em água destilada e desionizada e colocadas em estufa de circulação forçada de ar a 70°C até obter-se massa constante. O material seco foi pesado, moído, submetido à digestão por via seca e analisado quanto aos teores de B, P, Ca, K e Mg. A determinação do B foi feita pelo método da azometina-H, por espectrofotometria; a do K, por fotometria de chama, e a dos demais nutrientes, por espectrometria de plasma, de acordo com os métodos em rotina no Laboratório de Análise de Planta do IAC. Os dados foram submetidos à análise da variância e à regressão polinomial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferenças entre os cultivares quanto à manifestação de sintomas de deficiência e de toxidez em resposta às doses de B na solução (Figura 1 e Quadro 2). No tratamento sem B na solução (testemunha), as plantas exibiram sintomas visuais severos de deficiência, que se caracterizaram por encurtamento dos internódios, formação de roseta apical, folhas novas de tamanho reduzido, encurvadas, deformadas e espessas; raízes pretas e grossas. Nas concentrações mais altas de B, os sintomas de toxidez apareceram nas folhas mais velhas caracterizadas por: clorose, pintas avermelhadas a pretas, com um aspecto enferrujado e, posteriormente, até necrose. Todos os cultivares mostraram sintomas severos de deficiência de B na ausência do nutriente na solução; entretanto, o cv. IAC-1, por apresentá-los até à concentração de $0,2 \text{ mg L}^{-1}$, pode ser considerado o mais sensível. Por outro lado, o cv. IAC-17 destacou-se como o mais tolerante a altas doses de B na solução, pois apresentou a menor nota de sintoma visual de

toxidez na concentração de $0,8 \text{ mg L}^{-1}$, tratamento que permitiu discriminar os cultivares.

A figura 2a ilustra o crescimento em altura das plantas dos quatro cultivares de acordo com as concentrações crescentes de B (as equações de ajuste encontram-se no quadro 3). Verificou-se que as plantas dos cvs. IAC-1, IAC-15 e IAC-17 alcançaram praticamente a mesma altura e foram superadas significativamente pelas plantas do cv. IAC-8, o que pode ser atribuído às diferenças nas características genéticas. Por outro lado, todos os cultivares responderam, de maneira semelhante, às doses de B, observando-se máximo crescimento em altura entre $0,05$ e $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ de B na solução.

A resposta dos cultivares de soja em produção de matéria seca (MS) total, dependendo das concentrações de B em solução, encontra-se na figura 2b (equações de ajuste no quadro 3). Ao contrário do que foi observado para a altura das plantas, houve melhor discriminação entre os cultivares avaliados quanto ao acúmulo de MS total. Exceto na ausência de B em solução, nos demais tratamentos, houve a seguinte ordem decrescente de cultivares na capacidade produtiva de MS total das plantas: IAC-8 > IAC-15 > IAC-17 > IAC-1. Como aconteceu para a altura das plantas, também a



Figura 1. Sintomas observados de deficiência (acima) e toxidez (abaixo) de B em folhas de soja, respectivamente, nos tratamentos com $0,0$ e $2,0 \text{ mg L}^{-1}$ de B na solução nutritiva.

Quadro 2. Notas de 0 a 5 atribuídas aos sintomas observados de deficiência e de toxidez de B em folhas das plantas de cultivares de soja, em solução nutritiva com cinco doses de B

Cultivar	Doses de B (mg L ⁻¹)				
	0	0,05	0,2	0,8	2
	Sintoma de deficiência ⁽¹⁾				
IAC-1	4,8	2	0,4	0	0
IAC-8	4,4	0	0	0	0
IAC-15	5	0	0	0	0
IAC-17	5	0	0	0	0
	Sintoma de toxidez ⁽¹⁾				
IAC-1	0	0	0	2	5
IAC-8	0	0	0	1,6	5
IAC-15	0	0	0	1,4	5
IAC-17	0	0	0	0,6	5

⁽¹⁾ Notas atribuídas às plantas: zero (0) = sem sintoma; (5) = sintoma severo (médias de 10 observações).

produção máxima de matéria seca total ocorreu para as concentrações entre 0,1 e 0,2 mg L⁻¹ de B, para os cvs. IAC-8, IAC-15 e IAC-17. A exceção foi o cv. IAC-1, que exigiu dose maior de aproximadamente 0,7 mg L⁻¹ de B, provavelmente por conter menor teor de B nas sementes. Rahman et al. (1999) verificaram que, nas concentrações entre 0 e 2 mg L⁻¹ de B, a de 0,4 mg L⁻¹ foi a mais benéfica para todos os caracteres avaliados, inclusive formação de nódulos. Rerkasem et al. (1997) observaram variações nos teores de B nas sementes de soja de diversos cultivares e que aquelas com baixo teor, ao emergir, poderiam transformar-se em plântulas normais, desde que elas fossem supridas com o nutriente em questão.

A relação entre a matéria seca total das plantas e o teor de B nas folhas para os quatro cultivares encontram-se na figura 2c. Os cultivares IAC-8, IAC-15 e IAC-17 produziram o máximo de matéria seca, quando as folhas de suas plantas alcançaram os teores de B entre 25 e 30 mg kg⁻¹. Teores abaixo destes valores foram bastante limitantes ao crescimento das plantas.

Tomando, como exemplo, o cv. IAC-8, do teor de 10 para 30 mg kg⁻¹ de B nas folhas, houve um acréscimo de aproximadamente 5,3 vezes no acúmulo total de matéria seca. Este crescimento está caracterizado pela reta quase perpendicular ao eixo da variável independente. Desta forma, pode-se inferir que o nível crítico de B nas folhas de soja do presente ensaio esteve entre 25 e 30 mg kg⁻¹ de matéria seca. Também em condições de solução nutritiva, Rahman et al. (1999) estimaram o teor de 46 mg kg⁻¹ de B como crítico para a deficiência de B

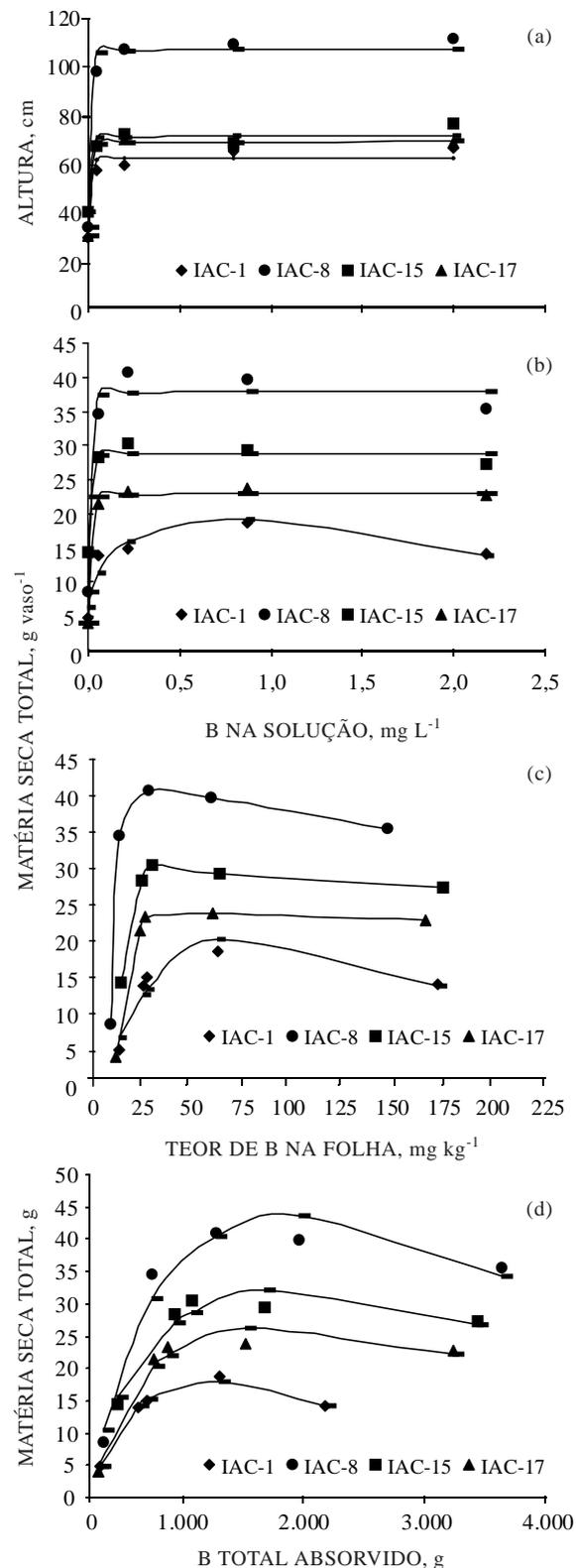


Figura 2. Resposta de cultivares de soja a boro: (a) Altura das plantas conforme a concentração de B na solução nutritiva; (b) produção de matéria seca total conforme a concentração de B na solução nutritiva; (c) relação entre produção de matéria seca total e teores de B nas folhas; (d) relação entre matéria seca total e conteúdo total de B nas plantas.

para as plantas de soja cv. Tachinagaha. Das folhas do cv. IAC-8 de uma lavoura, Mascarenhas et al. (1988) observaram teores de B da ordem de 10 mg kg^{-1} para plantas deficientes e de 19 mg kg^{-1} para plantas aparentemente normais, valor este muito próximo daquele observado por Datta et al. (1994) de $21,5 \text{ mg kg}^{-1}$, considerado crítico. Mills & Benton-Jones Jr. (1996) estimaram a faixa de 20 a 55 mg kg^{-1} de B como adequada para as folhas de soja (3ª e 4ª folha a partir do ápice, coletadas na época recomendada para plantas no campo).

Os dados do cv. IAC-1 do presente trabalho fugiram desta regra, visto que a exigência para o máximo acúmulo de matéria seca foi muito maior, ao redor de $0,7 \text{ mg L}^{-1}$ de B na solução, o que correspondeu a um teor de cerca de 77 mg kg^{-1} de B na matéria seca das folhas.

A figura 2d ilustra os ajustes obtidos entre os dados da quantidade total de MS dos quatro cultivares e os valores da quantidade total de B absorvido (equações de ajuste no quadro 3). As derivadas das equações mostraram os seguintes pontos de máximo com os seus respectivos valores da variável independente de cada cultivar: IAC-1: 17,96 g de MS e 1.023 mg de B ; IAC-8: 43,47 g de MS e 1.759 mg de B ; IAC-15: 32,39 g de MS e 1.713 mg de B ; IAC-17: 26,70 g de MS e 1.620 mg de B . Portanto, a exigência de teor de B na planta variou do menor para o maior em até 50%, conforme o genótipo estudado.

Relacionando o máximo acúmulo de matéria seca total com o B total absorvido, obtém-se o teor médio de B na planta inteira para cada cultivar. Assim, os valores calculados foram de: 57, 40, 53 e 61 mg kg^{-1} de B, respectivamente, para os cvs. IAC-1, IAC-8, IAC-15 e IAC-17. O cv. IAC-8, que produziu a maior quantidade de matéria seca, teve a menor concentração de B na planta inteira, provavelmente por um efeito de diluição.

A análise de regressão revelou relação linear e positiva entre os teores de B nas folhas e as concentrações de B na solução nutritiva (Figura 3a e Quadro 3). Os cultivares IAC-8 e IAC-15 apresentaram menores teores de B nas folhas, o que pode ser atribuído ao efeito de diluição causado pelo maior desenvolvimento das plantas. Substituindo na equação linear obtida para essa relação o valor médio estimado da concentração de B ($0,15 \text{ mg L}^{-1}$), que proporcionou os maiores acúmulos de matéria seca total, obtiveram-se os seguintes teores de B (em mg kg^{-1}) na matéria seca das folhas: 29, 24, 30 e 28, para os cultivares IAC-1, IAC-8, IAC-15 e IAC-17, respectivamente.

Os dados do quadro 2 revelam que o início da toxidez para todos os cultivares ocorreu para o tratamento de $0,8 \text{ mg L}^{-1}$ de B na solução. O teor médio de B nas folhas estimado pelas equações de regressão linear (Figura 3a, Quadro 3) e correspondente à concentração de $0,8 \text{ mg L}^{-1}$ de B

na solução foi de 83 mg kg^{-1} . Este teor estimado pode ser considerado muito próximo do limite crítico para a ocorrência de sintomas de toxidez. Isto significa que, embora não tenham sido observados efeitos negativos na altura e na produção de matéria seca das plantas para este teor de B nas folhas, o efeito tóxico já se manifestava nos tecidos das folhas em diferentes graus entre os cultivares, o que poderia vir a afetar a produção de grãos. Individualmente, estimou-se que os cultivares IAC-1, IAC-8, IAC-15 e IAC-17 apresentaram sintomas de toxidez para teores de B nas folhas ligeiramente inferiores a 86, 74, 87 e 83 mg kg^{-1} de B, respectivamente.

Com base nestas considerações, pode-se estimar que, a partir de teores entre 74 e 87 (média de 83 mg kg^{-1}) de B na matéria seca de folhas, podem surgir sintomas de toxidez nas plantas de soja, dependendo do cultivar. Rahman et al. (1999), trabalhando com solução nutritiva, estimaram o teor de 114 mg kg^{-1} de B como crítico de toxidez para as plantas de soja do cultivar Tachinagaha, aparentemente mais tolerante que os cultivares utilizados neste trabalho.

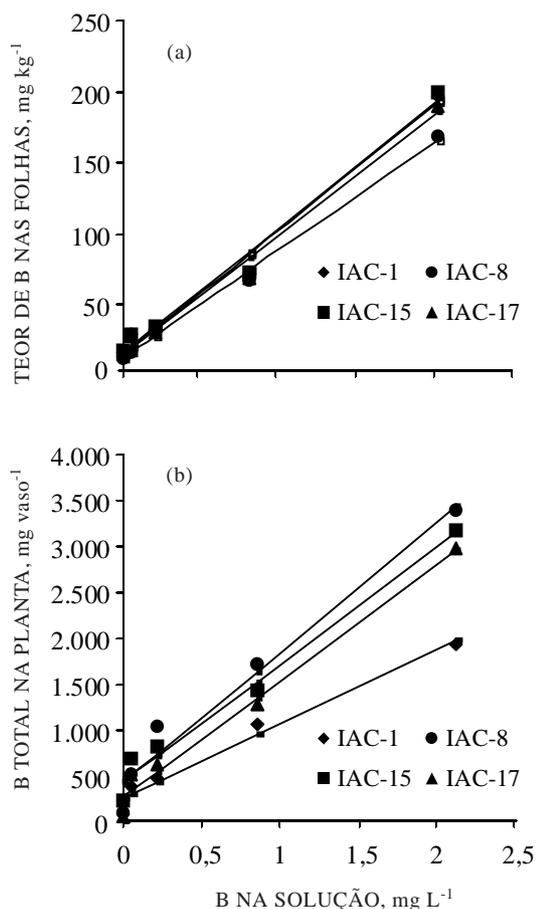


Figura 3. (a) Teor de B na matéria seca das folhas e (b) conteúdo total de B nas plantas (parte aérea + raízes) conforme a concentração de B na solução nutritiva.

Quadro 3. Equações de regressão entre algumas variáveis dependentes e a variável independente

Cultivar	Equação	R ²
Altura de plantas (cm) em função de doses de B na solução, mg L ⁻¹		
IAC-1	$Y_1 = 63,04205 - 0,03273 (1/X)$	0,94**
IAC-8	$Y_2 = 107,0727 - 0,07282 (1/X)$	0,98**
IAC-15	$Y_3 = 71,72286 - 0,03099 (1/X)$	0,95**
IAC-17	$Y_4 = 69,55675 - 0,03855 (1/X)$	0,99**
Matéria seca total (g vaso ⁻¹) em função de doses de B na solução, mg L ⁻¹		
IAC-1	$Y_1 = 5,265283 - 18,09959 X + 31,68143 (X)^{1/2}$	0,91*
IAC-8	$Y_2 = 37,88038 - 0,02932 (1/X)$	0,96**
IAC-15	$Y_3 = 28,947482 - 0,01455 (1/X)$	0,97**
IAC-17	$Y_4 = 22,95651 - 0,01897 (1/X)$	0,99**
Matéria seca total (g vaso ⁻¹) em função do boro total absorvido, mg vaso ⁻¹		
IAC-1	$Y_1 = -8,90637 - 0,02631 X + 1,683191 (X)^{1/2}$	0,99**
IAC-8	$Y_2 = -16,7689 - 0,03442 - 0,03442 X + 2,8798 (X)^{1/2}$	0,95*
IAC-15	$Y_3 = -9,85714 - 0,02466 X + 2,04144 (X)^{1/2}$	0,92*
IAC-17	$Y_4 = 8,64506 - 0,02182 X + 1,756481 (X)^{1/2}$	0,96*
Teores de B na folha (mg kg ⁻¹) em função de doses de B na solução, mg L ⁻¹		
IAC-1	$Y = 16,1 + 87,82 X$	0,99**
IAC-8	$Y = 12,7 + 76,74 X$	0,99**
IAC-15	$Y = 17,0 + 88,11 X$	0,99**
IAC-17	$Y = 14,8 + 84,99 X$	0,99**
Conteúdo total de B na planta (mg vaso ⁻¹) em função de doses de B na solução, mg L ⁻¹		
IAC-1	$Y = 270 + 852 X$	0,97**
IAC-8	$Y = 438 + 1503 X$	0,97**
IAC-15	$Y = 451 + 1351 X$	0,98**
IAC-17	$Y = 283 + 1338 X$	0,98**

A partir dos teores de B estimados para a máxima produção de matéria seca e para o aparecimento de sintomas de toxidez, é possível sugerir que as faixas adequadas de teores de B nas folhas para estes cultivares estão entre 29 e 86 mg kg⁻¹ para o IAC-1; 24 e 74 mg kg⁻¹, para o IAC-8; 30 e 87 mg kg⁻¹, para o IAC-15; e 28 e 83 mg kg⁻¹, para o IAC-17.

O conteúdo total médio de B das plantas foi menor nos cvs. IAC-1 e IAC-17, tendência que se repetiu dentro de cada tratamento, mesmo naquele em que não se aplicou B, evidenciando a menor capacidade de absorção de B por aqueles cultivares (Figura 3b, Quadro 3). As sementes utilizadas neste ensaio não foram previamente analisadas para os teores de B. Na testemunha, os cálculos mostraram diferenças entre cultivares de até 67% para conteúdo total de B e os cvs. IAC-8 e IAC-15 aparentemente já apresentavam maior reserva de B nas sementes. Além disso, estes cultivares mostraram maior capacidade de absorção de B, evidenciado pelo maior coeficiente angular. Um dos fatores que pode causar variações nos teores de B nas sementes é a condição física e química do substrato onde as plantas foram cultivadas. Entretanto, como as sementes utilizadas

neste trabalho foram produzidas em casa de vegetação, em condições controladas e com iguais quantidades de nutrientes para todas as plantas, as diferenças nos conteúdos de B podem ser atribuídas à variação genotípica na capacidade de transportar e acumular B nas sementes.

Os teores nas folhas dos nutrientes P, K, Ca e Mg foram determinados para observação das possíveis interações dos diferentes cultivares e os níveis de B (Quadro 4). De maneira geral, estes teores mostraram-se adequados em todos os tratamentos, evidenciando um estado nutricional equilibrado e mostraram-se estáveis, entre os níveis de 0,05 e 2,0 mg L⁻¹ de B, para todos os cultivares. Os cvs. IAC-8 e o IAC-15, com maior crescimento, tiveram menores teores de P, K, Ca e Mg nas folhas. Porém, dentro de cada cultivar, os teores destes nutrientes variaram pouco entre os tratamentos, exceto na ausência de B, quando as plantas mostraram-se severamente deficientes. Estes resultados estão de acordo com aqueles obtidos por Yamagishi & Yamamoto (1994) que não observaram interações dos teores de B e os de K, Ca e Mg na matéria seca de plantas de soja cultivadas em concentrações crescentes de B no meio de cultivo.

Quadro 4. Teores de P, K, Ca e Mg na matéria seca de folhas de cultivares de soja cultivadas em solução nutritiva até o florescimento, considerando doses de boro

Cultivar	Dose de boro (mg L ⁻¹)					Média ⁽¹⁾
	0	0,05	0,20	0,80	2,0	
Teor de P, mg kg ⁻¹						
IAC-1	5,9	3,8	3,2	3,0	3,8	3,9 A
IAC-8	4,6	1,4	1,3	1,3	1,6	2,0 C
IAC-15	4,4	2,1	1,8	1,9	2,0	2,4 BC
IAC-17	6,4	2,6	2,4	2,4	2,4	3,2 AB
Média	5,3	2,5	2,2	2,5	2,4	
Teor de K, mg kg ⁻¹						
IAC-1	30,2	29,9	29,5	28,7	31,7	30,0 A
IAC-8	30,6	20,2	18,9	19,2	21,4	22,0 C
IAC-15	27,1	24,3	23,3	23,1	24,9	24,5 B
IAC-17	35,8	30,7	26,6	28,6	27,9	29,9 A
Média	30,9	26,3	24,6	24,9	26,5	
Teor de Ca, mg kg ⁻¹						
IAC-1	11,1	13,5	15,3	15,5	16,9	14,4 A
IAC-8	10,7	12,0	10,9	10,6	11,4	11,1 C
IAC-15	12,6	14,0	15,5	13,8	15,1	14,2 AB
IAC-17	10,7	14,5	13,8	14,1	12,4	13,1 B
Média	11,2	13,5	13,9	13,5	13,9	
Teor de Mg, mg kg ⁻¹						
IAC-1	2,5	3,2	3,4	3,4	3,7	3,2 A
IAC-8	2,2	1,9	1,8	1,7	1,8	1,9 D
IAC-15	2,4	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6 C
IAC-17	2,6	2,9	3,0	3,0	2,9	2,9 B
Média	2,4	2,6	2,7	2,7	2,8	

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey (0,05).

A falta de interação dos teores de B e os teores de P, K, Ca e Mg nas plantas indicou que o B não interferiu nos outros nutrientes, principalmente na relação B/Ca. Esta relação em campo é particularmente importante, pois o B e o Ca têm processos semelhantes de movimento na solução do solo para o sistema radicular e que dependem das condições de clima, solo e da espécie ou cultivar. Tem sido observado que a calagem pode induzir deficiência de B (Bataglia, 1988; Dechen, 1988; Gupta, 1993). A falta de interação com o P, K e Mg seria esperada em virtude dos mecanismos específicos de absorção e transporte que regulam o movimento do B nas plantas, e diferentes daqueles que regulam o movimento dos referidos nutrientes.

A absorção do B está fortemente correlacionada com o pH do meio, porém as plantas seletivamente preferem a forma molecular não dissociada, que predomina em pH abaixo de 7. Assim sendo, o B não compete com os nutrientes aniônicos como o fosfato nem

depende de energia da célula para entrar contra o potencial eletroquímico negativo predominante no interior dos vacúolos (Marschner, 1995). Estando na forma molecular (sem carga), sua absorção e transporte se dão principalmente pelo fluxo da transpiração, mais facilmente do que para o Ca²⁺, que sofre competição dos cátions monovalentes, como o K⁺, nas membranas das células das raízes (Marschner, 1995).

Uma vez detectada variação entre cultivares de soja com relação aos níveis críticos para deficiência e toxidez de B, fica evidente a importância do conhecimento da resposta de cada cultivar quanto à nutrição com esse nutriente. O sucesso do cultivo, entre outros fatores, vai depender da correta recomendação de cultivares e do adequado manejo da planta e do nutriente no campo, para a maximização da produção de grãos, de acordo com a baixa ou alta ocorrência de B no solo.

O IAC-1 foi o cultivar que requereu mais cuidado, por estar restrito a uma faixa mais estreita de

suficiência de B, sendo mais susceptível à sua falta (mais exigente, apesar dos maiores teores nas folhas) e pouco tolerante ao excesso. Por outro lado, os cultivares IAC-8 e o IAC-15 foram os mais eficientes na absorção de B, retirando maiores quantidades de B da solução nutritiva, mesmo de soluções diluídas, o que pode trazer vantagens em condições de campo. O cv. IAC-17 apresentou a maior tolerância ao excesso de B.

CONCLUSÕES

1. Os cultivares apresentaram diferenças na susceptibilidade à deficiência e toxidez de B. O IAC-1 foi o cultivar mais susceptível à deficiência e toxidez, enquanto o IAC-17 foi aparentemente o mais tolerante.

2. Os teores limites de B nas folhas de soja dependeram do cultivar: estiveram entre 25 e 30 mg kg⁻¹ para a deficiência e teor ligeiramente inferior a 83 mg kg⁻¹ para a toxidez.

3. Os cultivares IAC-8 e IAC-15 apresentaram maior eficiência de absorção de B.

4. Os teores de P, K, Ca e Mg nas folhas não mostraram interação com B e não variaram entre as doses de 0,05 a 2,0 mg L⁻¹ de B.

LITERATURA CITADA

- BATAGLIA, O.C. Micronutrientes: disponibilidade e interações. In: BORKERT, C.C. & LANTMANN, A.F., eds. Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Londrina, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Instituto Agrônomo do Paraná/Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988. p.121-132.
- BROWN, P.H. & SHELPS, B.J. Boron mobility in plants. *Plant Soil*, 193:85-101, 1997.
- DATTA, S.P.; KUMAR, A.; SINGH, R.P.; SINGH, K.P. & SARKAR, A.K. Critical limit of available boron for soybean in acid sedentary soils of Chotanagpur Region. *J. Ind Soc. Soil Sci.*, 42:93-96, 1994.
- DECHEN, A.R. Mecanismos de absorção e de translocação de nutrientes. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, Jaboticabal, 1988. Anais. Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 1988. v.1. p.133-168.
- DECHEN, A.R.; FURLANI, A.M.C. & FURLANI, P.R. Tolerância e adaptação de plantas aos estresses nutricionais. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E. & CARVALHO, J.G., eds. Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Lavras, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Universidade Federal de Lavras, 1999. p.337-361.
- DELL, B. & HUANG, L.B. Physiological response of plants to low boron. *Plant Soil*, 193:103-120, 1997.
- EL BASSAM, N. A concept of selection for 'low input' wheat varieties. *Euphytica*, 100:95-100, 1998.
- FEHR, W.R. & CAVINESS, C.E. Stages of soybean development. Ames, Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11p.
- FURLANI, A.M.C. & FURLANI, P.R. Composição e pH de soluções nutritivas para estudos fisiológicos e seleção de plantas em condições nutricionais adversas. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1988. 34p. (Boletim Técnico, 121)
- FURLANI, A.M.C. & CASTRO, C.E.F. Plantas ornamentais e flores. In: FERREIRA, M.E.; ABREU, C.A. & RAIJ, B. van, eds. Micronutrientes e Elementos Tóxicos na Agricultura. Jaboticabal, CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.533-552.
- GALRÃO, E.Z. Effect of micronutrients and liming on the yield of soybeans grown in a lowland meadow soil. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:381-384, 1990.
- GRAHAM, M.J.; HEAVNER, C.D.; NICKELL, C.D. & WIDHOLM, J.M. Response of soybean genotypes to boron, zinc and manganese deficiency in tissue culture. *Plant Soil*, 150:307-310, 1993.
- GUPTA, U.C. Deficiency, sufficiency, and toxicity levels of boron in crops. In: GUPTA, U.C., ed. Boron and its role in crop production. Boca Raton, CRC Press, 1993. p.137-145.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. New York, Academic Press, 1995. 889p.
- MASCARENHAS, H.A.A.; MIRANDA, M.A.C.; BATAGLIA, O.C.; PEREIRA, J.C.V.N.A. & TANAKA, R.T. Deficiência de boro em soja. *Bragantia*, 47:325-331, 1988.
- MILLS, H.A. & BENTON-JONES Jr., J. Plant analysis handbook II. 2.ed. Athens, MicroMacro Publishing, 1996. 422p.
- RAHMAN, M.H.H.; ARIMA, Y.; WATANABE, K. & SEKIMOTO, H. Adequate range of boron nutrition is more restricted for root nodule development than for plant growth in young soybean plants. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 45:287-296, 1999.
- RERKASEM, B. & JAMJOD, S. Genotypic variation in plant response to low boron and implications for plant breeding. *Plant Soil*, 193:169-180, 1997.
- RERKASEM, B.; BELL, R.W.; LODKAEW, S. & LONERAGAN, J.F. Relationship of seed boron concentration to germination and growth of soybean (*Glycine max*). *Nutr. Cycling Agroecos.*, 48:217-223, 1997.
- YAMAGISHI, M. & YAMAMOTO, Y. Effects of boron on nodule development and symbiotic nitrogen-fixation in soybean plants. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 40:265-274, 1994.

