

Fertilização boratada aumenta produtividade da soja em solo argiloso

Eduardo César Medeiros Saldanha¹

Resumo – A maioria dos cultivos de importância agrícola tem mostrado respostas a aplicação de boro (B), em diferentes regiões e ambientes de produção do Brasil, certamente como resposta às baixas reservas deste nutriente nos solos. Objetivou-se com o estudo avaliar os efeitos de doses de boro sobre os aspectos nutricionais e produtivos da cultura da soja. O experimento foi conduzido na safra 2022/2023 no município de Santa Carmem – MT em Latossolo Vermelho-Amarelo, de textura argilosa. Utilizaram-se seis tratamentos com quatro repetições, dispostos em blocos ao acaso. Os tratamentos consistiram em 0,0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 3,0 kg ha⁻¹ de B, foi utilizado o tetraborato de sódio pentahidratado como fonte fertilizante. A aplicação de 2,0 kg ha⁻¹ de B propiciou maior produtividade de soja cujo percentual de incremento foi de 10,6% em comparação ao tratamento controle (acréscimo de 8,3 sacos ha⁻¹). Este resultado certamente está associado ao baixo teor de B no solo e ao favorecimento do pegamento de flores após o seu fornecimento.

Termos para indexação: Micronutrientes; Adubação corretiva; Nutrição de plantas.

Borate fertilization increases soybean productivity in clay soil

Abstract – Most crops of agricultural importance have shown responses to the application of boron (B) in different regions and production environments in Brazil, certainly in response to the low reserves of this nutrient in the soil. The objective of the study was to evaluate the effects of boron doses on the nutritional and productive aspects of soybean crops. The experiment was conducted in the 2022/2023 harvest in the municipality of Santa Carmem – MT in a Red-Yellow Oxisol, with a clayey texture. Six treatments with four replications were used, arranged in randomized blocks. Treatments consisted of 0.0; 0.5; 1.0; 1.5; 2.0 and 3.0 kg ha⁻¹ of B, sodium tetraborate pentahydrate was used as a fertilizer source. The application of 2.0 kg ha⁻¹ of B provided greater soybean productivity, with a percentage increase of 10.6% compared to the control treatment (an increase of 8.3 bags ha⁻¹). This result is certainly associated with the low B content in the soil and the favored flower setting after supply.

Index terms: Micronutrients; Corrective fertilization; Plant nutrition.

O Boro é requerido para o crescimento e desenvolvimento de todas as plantas, sendo a nutrição adequada com este nutriente fundamental para assegurar maior produção e qualidade das colheitas. A deficiência de B resulta em alterações bioquímicas, anatômicas e fisiológicas nas plantas. Desta forma, o nutriente tem sido objeto de investigações ao longo das últimas décadas. O B garante a adequada formação da estru-

tura vascular, possibilitando o fluxo de água, nutrientes e compostos orgânicos nas plantas (MESQUITA et al., 2016). A formação do tubo polínico, a germinação e a viabilidade dos grãos de pólen são também severamente afetadas em situações de baixo suprimento, resultando em polinização e fecundação incompletas e posterior abortamento floral. O fornecimento de B nesta fase aumenta a retenção de flores e o desen-

volvimento de frutos e sementes.

A disponibilidade deste micronutriente depende de fatores como pH, material de origem, teor de matéria orgânica e material de origem do solo (GUPTA, 1993). Ocorrem reações de adsorção que controlam a concentração de B na solução do solo, definindo, assim, o potencial do nutriente disponível e que pode ser absorvido pelas plantas, influenciando, ainda, a sua mobilida-

Recebido em 26/12/2023. Aceito para publicação em 09/04/2024.

Editor de seção: João Frederico Mangrich dos Passos

¹Engenheiro-agrônomo, Dr., Rio Tinto/Desenvolvimento Técnico, Rua Aspigueta Navarro, 120, Caruaru, PE, CEP 55014-706, e-mail: eduardo.saldanha@riotin.com

Doi: <https://doi.org/10.52945/rac.v37i1.1798>

de no perfil do solo (GOLDBERG et al, 1993). Os hidróxidos de ferro, alumínio e manganês normalmente apresentam alta capacidade de adsorção do B, sendo os picos de adsorção máxima encontrados em valores de pH 7 a 8, enquanto a caulinita se caracteriza por uma baixa capacidade de adsorção deste nutriente (GOLDBERG, 1999). Assim, em solos de textura argilosa, podem ocorrer redução na disponibilidade de B, em razão dos fenômenos de adsorção química, sendo a forma não dissociada de ácido bórico (H_3BO_3) de ocorrência predominantemente em solos de regiões tropicais.

Objetivou-se com o estudo avaliar os efeitos de doses de B sobre os aspectos nutricionais e produtivos da cultura da soja, no estado do Mato Grosso. O experimento foi conduzido na safra 2022/2023, no município de Santa Carmem – MT, em Latossolo Vermelho-Amarelo. O volume total de precipitação pluviométrica durante a condução do experimento foi de 1.189mm, e temperatura média de 27°C. A caracterização química do solo para a camada de 0-20cm, realizada antes da instalação do experimento, mostrou os seguintes resultados: pH ($CaCl_2$) = 4,9 ; Matéria orgânica = 19,6g dm^{-3} ; P = 9,6g dm^{-3} ; K = 34,5g dm^{-3} ; Ca = 2,1cmol_c dm^{-3} ; Mg = 0,6cmol_c dm^{-3} ; Al = 0,0cmol_c dm^{-3} ; H+Al = 3,4cmol_c dm^{-3} ; S = 16g dm^{-3} ; B = 0,16g dm^{-3} ; Cu = 1,5g dm^{-3} ; Fe = 37g dm^{-3} ; Mn = 2,0g dm^{-3} ; Zn = 5,1g dm^{-3} ; CTC a pH 7,0 = 6,1cmol_c dm^{-3} ; V = 44,9 % e m = 0,0%. A análise granulométrica mostrou os seguintes resultados: areia = 510g kg^{-1} ; silte = 82g kg^{-1} e argila = 408g kg^{-1} . As determinações laboratoriais foram realizadas conforme Embra-pa, 1997. De acordo com as classes de interpretação da fertilidade do solo, o teor de B do solo se enquadra na clas-

se de disponibilidade considerada baixa (SOUZA & LOBATO, 2004).

A semeadura foi realizada diretamente sobre os restos culturais do milho cultivado em segunda safra em 2022. Utilizou-se o cultivar BMX Bônus IPRO. Empregaram-se seis tratamentos com quatro repetições, dispostos em blocos ao acaso. Cada parcela foi constituída por 8 linhas (0,5m entre linhas x 0,10m entre plantas) de 9,0m de comprimento. Os tratamentos consistiram em 0,0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 3,0kg ha^{-1} de B e foi utilizado o tetraborato de sódio pentahidratado (15% de B) como fonte fertilizante. As aplicações foram feitas a lanço no momento da semeadura. De acordo com o teor de B encontrado no solo utilizado no experimento, a dose recomendada, conforme a indicação oficial, seria de 2kg ha^{-1} de B, sendo esta dose parcelada e aplicada no sulco de semeadura, em três ciclos de cultivos (SOUZA & LOBATO, 2004).

No estágio de desenvolvimento R2 (florescimento pleno: maioria dos racemos com flores abertas) foram coletados 12 trifólios por parcela. Adotou-se, como folha índice, o terceiro trifólio completamente expandido com pecíolo, a partir do ápice da planta (haste principal). As folhas coletadas foram lavadas por três vezes em água deionizada e acondicionadas em sacos de papéis pré-identificados e secadas em estufa de circulação forçada de ar a 60°C por 48 horas. Em seguida, determinou-se o teor de B, segundo método descrito por Bataglia et al. (1983). Na colheita delimitou-se um ponto amostral no centro de cada parcela, constituído por três linhas adjacentes com 4,0m de comprimento. Em seguida, a produtividade foi obtida a partir da trilha mecânica e pesagem dos grãos, a qual foi convertida para kg ha^{-1} e corrigida para 13% de umidade.

Após a colheita da soja foram coletadas amostras de solo aleatoriamente oito amostras simples nas entrelinhas de semeadura em cada parcela na camada de 0 - 20cm para compor uma amostra composta por parcela. As amostras foram secadas à sombra, destorroadas e peneiradas. Realizou-se o quarteamento das amostras e foram coletadas subamostras para determinar os teores de B disponível. Na extração do B disponível, foi utilizada água fervente, sendo a dosagem feita com azometina-H (BATAGLIA & RAIJ, 1990). O peso de mil grãos (PMG) foi determinado por ocasião da colheita, pesando uma subamostra de 100 grãos por parcela, a qual foi submetida à pesagem em balança de precisão (0,01g). Os resultados foram extrapolados para mil grãos e o peso corrigido para 13% de umidade. A produtividade foi determinada na colheita, delimitando-se um ponto amostral no centro de cada parcela, constituído por três linhas adjacentes com 4,0m de comprimento. Em seguida, a produtividade foi obtida a partir da trilha mecânica e pesagem dos grãos, a qual foi convertida para kg ha^{-1} e corrigida para 13% de umidade.

A adubação de semeadura foi realizada utilizando 400kg ha^{-1} da mistura de grânulos PK 00.18.18 (+ 9,8% de Ca e 4,9% de S) aplicado a lanço em pré-semeadura. Para a adubação de cobertura utilizaram-se 80kg ha^{-1} de cloreto de potássio, aplicado a lanço em superfície aos 30 dias após a emergência das plantas.

O cálculo da eficiência agronômica foi realizado de acordo com as equações propostas por Fageria et al., 1997: **Eficiência Agronômica (EA)** = $(PG_{cf} - PG_{sf}) / (QN_a)$, onde

PG_{cf} = Produção de grãos com fertilizante (com boro); PG_{sf} = Produção de grãos sem fertilizante (sem boro); QN_a

= Quantidade do nutriente aplicado (boro).

Os resultados foram submetidos à análise de variância, as médias de doses de boro foram analisadas por regressão polinomial, ajustando-se modelos de equações significativas pelo teste F.

A aplicação de 2,0kg ha⁻¹ de boro via Granubor propiciou maior produtividade de soja - 5.199 kg ha⁻¹ – (Tabela 1), cujo percentual de incremento foi de 10,6% em comparação ao tratamento controle (acréscimo de 8,3 sacos ha⁻¹). Este resultado pode estar associado ao baixo teor de B no solo e ao favorecimento do pegamento de flores após o seu fornecimento. Resultados semelhantes, obtidos por Mesquita et al. 2007, verificaram incrementos na produtividade do cultivo de batata, em Latossolo Vermelho com baixo teor de B. As aplicações de B resultaram em incrementos dos teores foliares de B, sendo os maiores teores obtidos com a dose de 3kg ha⁻¹ de B. Resultados de aumento dos teores foliares por meio da aplicação de B ao solo também foram observados no cultivo de amendoim, avaliando o tetraborato de sódio (CORDEIRO et al., 2024). Observou-se que o intervalo dos teores foliares de B observados em todos os tratamentos – 25 a 33,6mg kg⁻¹ de B – apresentaram valores dentro do intervalo da faixa de suficiência, considerada adequada, que é de 21 a 55mg kg⁻¹ de B (SOUZA & LOBATO, 2004; CANTARELLA et al., 2022), sendo os menores valores observados nos tratamentos 0 e 0,5kg ha⁻¹ de B. Não houve efeito significativo para a variável PMG.

Observa-se na Figura 1 a relação entre as doses de B, a produtividade da soja e o teor de B no solo. Os teores médios de B no solo variaram de 0,17 a 0,36mg dm⁻³ (Tabela 1 e Figura 1), as doses aplicadas aumentaram linear-

mente os teores do nutriente no solo, apresentando efeito residual e acumulativo de B. Diferentes pesquisadores também verificaram esses resultados (PRADO et al., 2006; PEGORARO et al., 2008; TRAUTMANN et al., 2008). Importante destacar que os teores de B verificados no solo, após a aplicação das doses, se mantiverem abaixo do nível crítico de 0,5mg dm⁻³ de B considerado para este micronutriente (SOUZA & LOBATO, 2004).

A maior eficiência agronômica do uso do B (kg de grãos produzidos por kg de B aplicado) foi verificada com a utilização de 1,5kg ha⁻¹ do nutriente, diminuindo de valor com a elevação das doses aplicadas. Na dose de maior eficiência agronômica, um quilo de boro aplicado ao solo produziu 327kg de grãos de soja (Figura 2).

De acordo com os resultados deste estudo, verificou-se que a dose 2,0kg ha⁻¹ de B, utilizando o tetraborato de sódio como fonte, resultou na maior produtividade produtiva e a dose 1,5kg ha⁻¹ como sendo a de maior eficiência agronômica.

Agradecimentos

Ao Dr. Claudinei Kappes, da Nema-bio Laboratório e Pesquisa Agronômica

Referências

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: IAC, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).

BATAGLIA, O.C.; RAIJ, B.V. Eficiência de extratores na determinação de boro em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.25-31, 1990.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; MATOS JR. D.; BOARETTO, R.M.; RAIJ, B.V. **Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Instituto Agronômico. Campinas. 2022. 489p.

CORDEIRO, C.F.S; GALDI, L.V.; SILVA, G.R.A.; CUSTODIO, C.C. ECHER, F.R. Boron nutrition improves peanuts yield and seed quality in a low B sandy soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.48, 2024.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FAGERIA, N.K; BALIGAR, V.C.; JONES, C.A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. 2. Ed. New York: Marcel Dekker, 1997. 656p.

GUPTA, U.C. **Boron and its role in crop production**. Charlottetown, CRC Press, 1993. 237p.

GOLDBERG, S.; FORSTER, H.S.; HEICK, E.L. Boron adsorption mechanisms on oxides, clay minerals and soils inferred from ionic strength effects. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.57, p.704-708, 1993.

GOLDBERG, S. Reanalysis of boron adsorption on soils and soil minerals using the constant capacitance model. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.63, p.823-829, 1999.

LIU, G. D., DONG, X. C., LIU, L. C., WU, L. S., PENG, S. A., AND JIANG, C. C. Boron deficiency is correlated with changes in cell wall structure that lead to growth defects in the leaves of navel orange plants. **Scientia Horticulturae**, v.176, p. 54–62, 2014.

Tabela 1. Resumo da análise de variância (teste F) e comparação de médias de peso de mil grãos (PMG), produtividade, teores de boro na folha e no solo em função da aplicação de doses de boro na cultura da soja

Table 1. Summary of the analysis of variance (F test) and comparison of average thousand grain weight (PMG), productivity, boron content in the leaf and soil as a function of the application of boron doses in soybean crops

Tratamento	Dose B kg ha ⁻¹	PMG g	Produtividade kg ha ⁻¹	B foliar mg kg ⁻¹	B no solo Mg dm ⁻³
1	0,0	190,7	4701	25,0	0,17
2	0,5	192,3	4713	26,9	0,18
3	1,0	191,0	4914	28,1	0,23
4	1,5	189,8	5192	28,2	0,27
5	2,0	191,3	5199	30,5	0,29
6	3,0	190,4	4823	33,6	0,36
Teste F P > F		ns	*	o	**
CV (%)		2,69	4,28	12,24	10,47

Legenda: CV – coeficiente de variação.

PMG: Peso de mil grãos

Teste F: ns – não significativo; **, * e ° – significativo a 1%, a 5% e a 10% de probabilidade, respectivamente

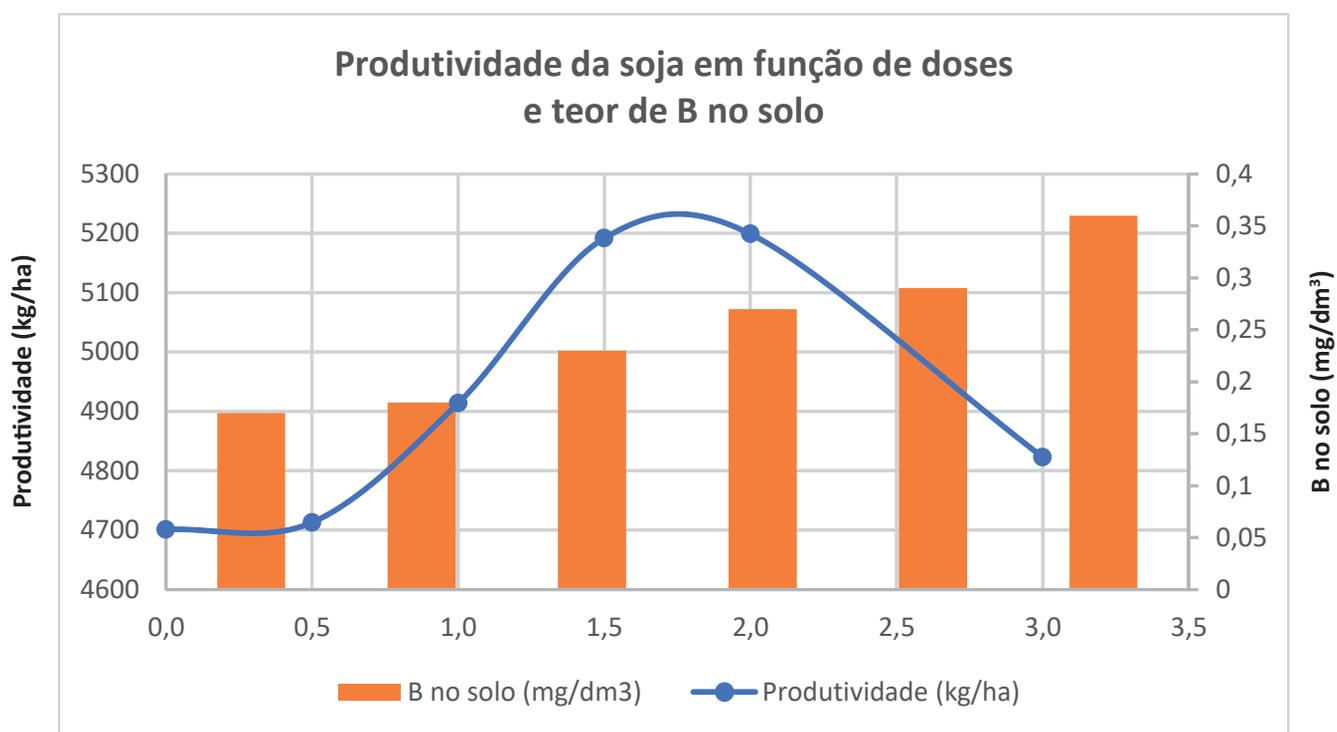


Figura 1. Produtividade de soja em função de doses e do teor de B no solo em Santa Carmem, MT, na safra 2022/2023

Figure 1. Soybean productivity as a function of doses and B content in the soil in Santa Carmem, MT, on the 2022/2023 season

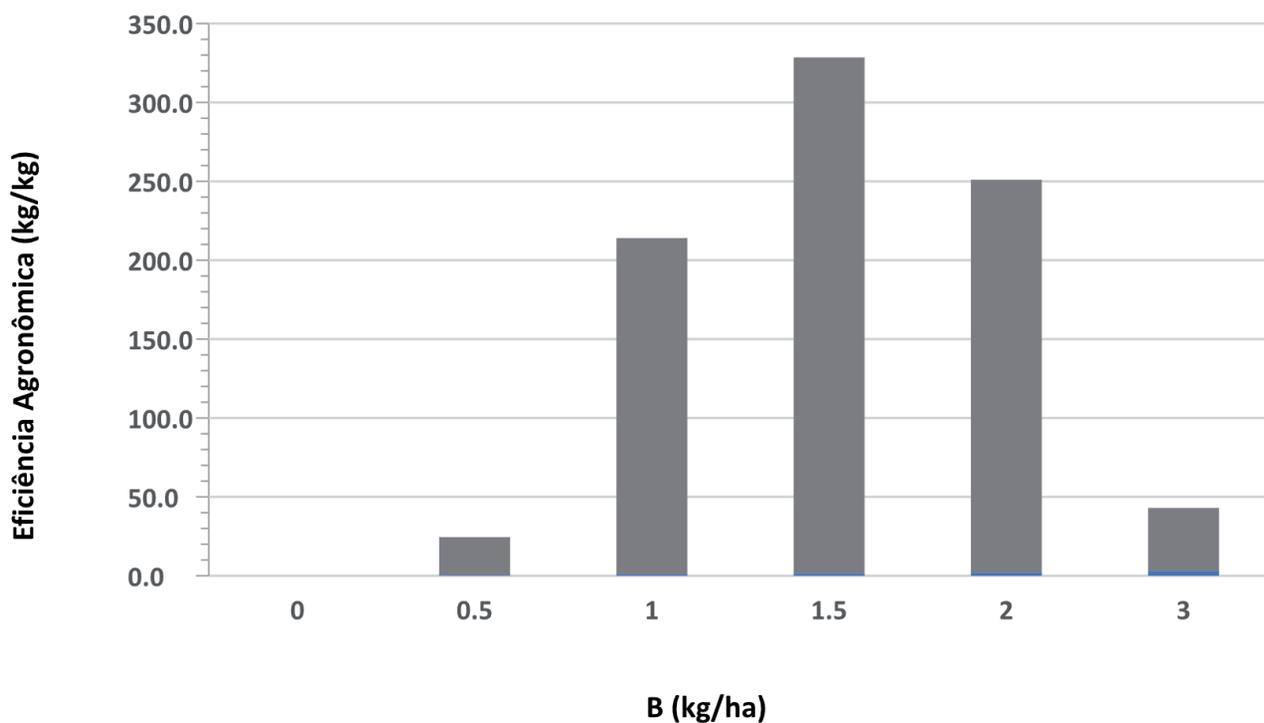


Figura 2. Eficiência agronômica em função da aplicação de doses de boro aplicado a lanço no momento da semeadura da cultura da soja em Santa Carmem, MT, na safra 2022/2023

Figure 2. Agronomic efficiency depending on the application of boron doses via Granubor broadcast at the time of soybean sowing in Santa Carmem, MT, on the 2022/2023 season

MESQUITA, H.A.; ALVARENGA, M.A.R.; PAULA, M.B.; CARVALHO, J.G.; NÓBREGA, J.C.A. Produção e qualidade da batata em resposta ao boro. **Ciência Agro-técnica**, v.31, n.2, p.385 – 392, 2007.

MESQUITA, G.L.; ZAMBROSI, F.C.B.; TANAKA, F.A.O.; BOARETTO, R.M.; QUAGGIO, J.A.; RIBEIRO, R.V.; MATTOS JÚNIOR, D. Anatomical and Physiological responses of citrus trees to varying boron availability are dependent on rootstock. **Frontier in Plant Science**, v.17, article 24, 2016.

PRADO, R.M.; NATALE, W. & ROZANE, D.E. Níveis críticos de boro no solo e na planta para cultivo de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Brasileira de**

Fruticultura, v.28, p.305-309, 2006.

PEGORARO, R.F.; SANTOS NETO, J.A.; SILVA, I.R.; FONTES, R.L.F.; FARIA, A.F. & MOREIRA, F.F. Crescimento de soja em solos em resposta a doses de boro, calagem e textura do solo. **Ciência Agrotécnica**, v.32, p.1092- 1098, 2008.

RIAZ, M.; YAN, L.; WU, X.; HUSSAIN, S.; AZIZ, O.; WANG, Y.; IMRAN, M.; JIANG, C. Boron alleviates the aluminum toxicity in trifoliolate orange by regulating antioxidant defense system and reducing root cell injury. **Journal of Environmental Management.**, v.208, n.15, p.149-158, 2018. Disponível <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479717311702>.

SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. EMBRAPA Informações Tecnológicas. 2. Ed. Brasília, 2004, 416 p.

TRAUTMANN, R.R.; LANA, M.C.; GUIMARÃES, V.F.; GONÇALVES, A.C.; STEINER, F. Potencial de água no solo e adubação com boro no crescimento e absorção do nutriente pela cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.240-251, 2014.

WILL, S.; EICHERT, T.; MULLER, T.; ROMHELD, V. Boron foliar fertilization of soybean and lychee: Effects of side of application and formulation adjuvants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.175, p.180-188, 2012.