

**RELAÇÃO SOLO-PLANTA: PROTOCOLOS DE FORNECIMENTO DE B (B-
ULEXITA) EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO INTENSIVOS**

MAYARA FÁVERO COTRIM

Supervisor: Prof Dr. Renato de Mello
Prado

Relatório de Pós-doutorado realizado
na Universidade Estadual Paulista “Júlio
de Mesquita Filho” (UNESP), Faculdade
de Ciências Agrárias e Veterinárias
(FCAV), Unidade (Campus de
Jaboticabal-SP)

Jaboticabal, SP

2025

RESUMO

Dada a importância do fornecimento de boro (B) as plantas, tornam-se necessários estudos a nível de campo para fomentar o manejo adequado na adubação suplementar de B a partir do emprego de doses crescentes de Ulexita em sistemas de produção intensivos cultivado com culturas anuais. As diferenças entre as espécies de plantas em relação à mobilidade do B o tornam elemento único entre os nutrientes. Foram avaliados os efeitos imediatos após a aplicação do micronutriente no cultivo do milho (safra 2024) e algodão (safra 2024/2025). O delineamento foi em blocos casualizados, onde foram executados dois experimentos a campo. Os tratamentos foram constituídos por cinco doses crescentes de 0 (controle), 3, 9, 27 e 81 kg ha⁻¹ de B na forma de Ulexita (10% de B) aplicados em pré-plantio com incorporação na camada superficial de 0-20cm de profundidade. Para a relação solo-planta foram avaliados o teor de B no solo, folha diagnose, flavonoides, trocas gasosas, aminoácidos e produtividade de grãos e de algodão em caroço. Nestes estudos estabelecemos protocolos de recomendação de B em plantas para solos argilosos e de textura média em culturas de interesse econômico em sistemas intensivos de uso do solo. Também foram comparados a possibilidade de existência de variabilidade de resposta do B entre as diferentes culturas em relação ao fornecimento via solo para correção do nutriente, dentro da relação solo-planta. Os resultados demonstraram novos níveis de B na relação solo-planta quando este foi fornecido via solo através da fonte Ulexita de liberação lenta. Foram estabelecidas doses ótimas e tóxicas para cada cultura e relacionados aos níveis fisiológicos e bioquímicos, assim como produtividade de grãos e de algodão em caroço.

Palavras-chave: nutrição de plantas, toxicidade de B, fisiologia vegetal

1. INTRODUÇÃO

O uso intensivo dos solos e cultivos sucessivos necessitam de atenção, pois solos com baixo teor de matéria orgânica, entre outros fatores, podem resultar em baixas produtividades. Dentre os micronutrientes mais estudados nas culturas de interesse econômico, destaca-se o boro (B). A aplicação de micronutrientes pode ser de grande relevância em solos intensivamente cultivados. As diferenças substanciais entre as espécies de plantas em relação à mobilidade do B tornam o elemento único entre os nutrientes. Em contraste com a deficiência de boro, a toxicidade do boro no solo é menos abundante e ocorre em áreas áridas e semiáridas. O excesso de boro no solo foi relatado na Austrália, EUA, Rússia, Turquia, México, Israel, Iraque, Egito, Síria, Marrocos, Jordânia, Líbia, Índia, Paquistão, Malásia, Peru, Chile, Hungria, Sérvia e Itália (NABLE et al., 1997; MILJKOVIĆ 1960; YAU et al., 1995; KOÇ, 2007; LAND et al., 2019), todavia em áreas brasileiras são escassos os estudos associados a toxicidade de B na relação solo-planta.

As plantas necessitam de B para várias etapas de seu desenvolvimento, dentre elas: crescimento, divisão celular e metabolismo do ácido nucléico, germinação do grão de pólen, crescimento do tubo polínico e além disso, síntese de proteínas e aminoácidos, e no transporte interno de açúcares amidos, como nitrogênio (N) e fósforo (P) (MASCARENHAS et al., 2014). O fornecimento de B pode ser realizada a partir da adubação via solo de manutenção ou de correção e ainda via foliar que deve ser utilizada apenas como complementar a aplicação no solo. Para garantir amplo efeito residual de B nos cultivos é importante o uso da adubação de correção especialmente de fontes de liberação lenta como a Ulexita.

No entanto, o conhecimento de doses ótimas de B na forma de Ulexita em programas de adubação de correção e a respectiva calibração para teores adequados no solo e na folha ainda não são conhecidos em Latossolo Vermelho especialmente de textura argilosa e de textura média em condições de campo. Embora houveram tentativas em estudos em campo com essa fonte em adubação de correção incorporado (até 10 kg de B ha⁻¹) em um Latossolo Amarelo do estado de Mato Grosso com a cultura da soja (Rosolem et al., 2008). Os autores concluíram que não conseguiram estabelecer os níveis críticos de

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo deste
relatório de pós-doc será
disponibilizado somente a partir de
09/03/2026.

deficiência no solo e na folha do B para soja e atribuíram ao fato que amostragem realizada na camada de 0-15cm não foi adequada indicando necessidade de estudos utilizando camadas mais profundas do solo.

As indicações de doses de B via solo é de 2 kg ha⁻¹ para aplicação no sulco de semeadura junto com a fertilização NPK a exemplo na cultura do milho para o estado de São Paulo e teores foliares adequados iguais 7-17 mg kg⁻¹ (Duarte et al., 2022). É possível que as doses ótimas de B possam ser mais elevadas que 2 kg ha⁻¹ devido a alguns motivos.: especialmente para adubação de correção de B incorporado no solo pois tem-se uma alta área de contato do nutriente favorecendo reações de adsorção especialmente em solos argilosos. Os fertilizantes de B de liberação lenta como ulexita minimiza a lixiviação e isso permite uso de doses mais elevadas sem haver perdas significativas do micronutriente. Um outro aspecto é que há dúvidas que a faixa adequada de B no solo e na folha seja tão estreita (CHAPMAN et al., 1997).

Portanto, em uma revisão feita por Yamada (2000) intitulada “Boro: será que estamos aplicando a dose suficiente para o adequado desenvolvimento das plantas?”. O autor conclui que as doses de boro atualmente aplicadas podem não fornecer a concentração adequada de B na solução do solo para o ótimo desenvolvimento das plantas, principalmente nos solos mais argilosos; são necessárias mais pesquisas para recomendação mais precisa da adubação boratada. No entanto, passaram mais de duas décadas e ainda permanecem dúvidas sobre a melhor dose de B especialmente com fontes mais sustentáveis de liberação lenta como a ulexita sem risco de contaminação do ambiente.

8. COMENTÁRIOS DO SUPERVISOR

9. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, P.E.P.; RESENDE, M.; Cultivo do milho. Embrapa Milho e Sorgo, sistemas de produção, 3 ed, 2007.

BRDAR-JOKANOVIĆ, MILKA. Boron toxicity and deficiency in agricultural plants. International journal of molecular sciences, v. 21, n. 4, p. 1424, 2020.

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

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

BEHERA, B.; KANCHETI, M.; RAZA, M.B.; SHIV, A.; MANGAL, V.; RATHOD, G.; ALTAF, M.A.; KUMAR, A.; AFTAB, T.; KUMAR, R.; TIWARI, R.K.; LAL, M.K.; SINGH, B. Mechanistic insight on boron-mediated toxicity in plant vis-a-vis its mitigation strategies: a review. Int J Phytoremediation. 25, 1, 9-26, 2023. doi: 10.1080/15226514.2022.2049694.

BOARETTO, R.M.; CANTARELLA, H.; MATTOS JUNIOR., D. Fertilizantes – composição e garantias mínimas. Instituto agrônomo, Campinas, p33-37, 2022, (Boletim 100)

BYERS, D.E.; MIKKELSEN, R.L.; COX, F.R. Greenhouse evaluation of four boron fertilizer materials. *Journal of Plant Nutrition*. V.24, n4/5, p 717-725, 2001.

CHOUDHARY, K.M.; JAT, H.S.; NANDAL, D.P.; BISHNOI, D.K.; SUTALIYA, J.M.; CHOUDHARY, M. Avaliação de alternativas ao sistema arroz-trigo nas planícies indo-gangéticas ocidentais: rendimentos de culturas, produtividade hídrica e rentabilidade económica. *Culturas de Campo Res.*, 218, pp. 1 - 10 , 2018 doi: 10.1016/j.fcr.2017.12.023

DAMETO, L.S.; MORAES, L.A.C.; KRZYZANOWSKI, F.C.; MOREIRA, A. Boron sources and rates on soybean seed physiological quality and root system volume. *Journal of Seed Science*, v.45, e202345019, 2023.

DAY, S.; AASIM, M. Role of boron in growth and development of plant: deficiency and toxicity perspective. In: Aftab, T., Hakeem, K.R. (eds) *Plant Micronutrients*. 1:435–453, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49856-6_19

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R.; CARMELLO, Q.A. DE C.; SANTOS, L.A.; SPERANDIO, M.V. Micronutrientes. In: FERNANDES, M.S.; SOUZA, S.R. DE; SANTOS, L.A. (eds) *Nutrição Mineral de Plantas*, 2 th. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, pp 491– 562, 2018.

FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. *Nutrição Mineral de Plantas*. 2 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018.

FAGERIA, N.K. Níveis adequados e tóxicos de boro na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.1, p.57-62, 2000.

FOLONI, J. S. S.; BARBOSA, A. M. DE.; CATUCHI, T. A.; CALONEGO, J. C.; TIRITAN, C. S.; DOMINATO, J. C.; CRESTE, J. E. Efeitos da gessagem e da adubação boratada sobre os componentes de produção da cultura do amendoim. *Scientia Agraria Paranaensis*, v. 15, n. 2, p. 202-208, 2016.

HAMURCU, M.; KHAN, M.K.; PANDEY, A.; AVŞAROĞLU, Z.Z.; ELBASAN, F.; GEZGIN, S. Boron stress exposes differential antioxidant responses in maize cultivars (*Zea mays* L.). *Journal of Elementology*, 25(4): 1291-1304, 2020. DOI: 10.5601/jelem.2020.25.3.1970.

HUA, T.; ZHANG, R.; SUN, H.; LIU, C. Alívio da toxicidade do boro em plantas: mecanismos e abordagens. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* , 51 (24), 2975–3015, 2020. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1807451>

KHAN, M.K.; PANDEY, A.; HAMURCU, M.; AVSAROGLU, Z.Z.; OZBEK, M.; OMAI, A.H.; ELBASAN, F.; OMAI, M.R.; GOKMEN, F.; TOPAL, A.; GEZGIN, S. Variability in physiological traits reveals boron toxicity tolerance in *Aegilops* species. *Front Plant Science*, v.12:736614, 2021. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.736614>

KHAN, M.K.; PANDEY, A.; HAMURCU, M.; GERM, M.; YILMAZ, F.G.; OZBEK, M.; AVSAROGLU, Z.Z.; TOPAL, A.; GEZGIN, S. Nutrient homeostasis of *aegilops* accessions differing in b tolerance level under boron toxic growth conditions. *Biology*, v.11, n.8, 1094, 2022. <https://doi.org/10.3390/biology11081094>

KHAN, M.K.; PANDEY, A.; HAMURCU, M.; RAJPAL, V.R.; VYHNANEK, T.; TOPAL, A.; RAINA, S.N.; GEZGIN, S. Insight into the boron toxicity stress-responsive genes in boron-tolerant *triticum dicoccum* shoots using rna sequencing. *Agronomy*, v.13, 3, 631, 2023. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030631>

KOÇ, C. Effects on environment and agriculture of geothermal wastewater and boron pollution in Great Menderes Basin. *Environ. Monit. Assess.* 2007;125:377–388. doi: 10.1007/s10661-006-9378-3.

KOHLI, S.K.; KAUR, H.; KHANNA, K. et al. Boro em plantas: absorção, deficiência e potencial biológico. *Plant Growth Regul* 100, 267–282, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10725-022-00844-7>

LANDI, M.; MARGARITOPOULOU, T.; PAPADAKIS, I.E.; ARANITI, F. Boron toxicity in higher plants: An update. *Planta*. 2019;250:1011–1032. doi: 10.1007/s00425-019-03220-4.

LIMA, J.C.P.S.; NASCIMENTO, C.W.A.; LIMA, J.G.C.; LIRA JUNIOR, M.A. Critical and toxic boron levels in corn plants and soils of Pernambuco, Brazil. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. 31(1):73-9. 2007. DOI: 10.1590/S0100-06832007000100008

LIU, C.; LU, W.; MA, Q.; MA, C. Efeito do silício no alívio da toxicidade do boro no crescimento do trigo, acúmulo de boro, atividades de fotossíntese e respostas oxidativas. *Journal of Plant Nutrition*, 40 (17), 2458–2467. 2017. Doi: 10.1080/01904167.2017.1380817

MALAVOLTA A, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MOREIRA, A.; CASTRO, C.; FAGERIA, N.K. Effects of boron application on yield, foliar boron concentration, and efficiency of soil boron extracting solutions in a Xanthic Ferralsol cultivated with banana in Central Amazon. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.42, n.18, p.2169-2178, 2011.

MILJKOVIĆ N. Ph.D. Thesis. University of Novi Sad, Faculty of Agriculture; Novi Sad, Serbia: 1960. Characteristics of Vojvodina Saline Soils and the Problem of Boron in Them. (In Serbian).

NABLE, R.O.; BAÑUELOS, G.S.; PAULL, J.G. Toxicidade do boro. Solo vegetal. 1997;193:181–198. doi: 10.1023/A:1004272227886.

NASSARAWA, I.S.; LI, Z.; XUE, L.; LI, H.; MUHAMMAD, U.; ZHU, S.; CHEN, J.; ZHAO, T. Nanopartículas de óxido de zinco e sulfato de zinco aliviam a toxicidade do boro em algodão (*Gossypium hirsutum* L.). *Plantas*, 13(9):1184. 2024. Doi: 10.3390/plants13091184

NAZ, T.; ALIHTAR, J.; IQBAL, M. M.; ANWAR-UL-HAQ, M.; MURTAZA, G.; NIAZI, N. K.; ATIQUE-UR-REHMAN, F. O.; ALI, M.; DELL, B. Assessment of gas exchange attributes, chlorophyll contents, ionic composition and antioxidant enzymes of bread wheat genotypes in boron toxic, saline and boron toxic-saline soils. *International Journal of Agriculture and Biology*, 21(6), 1271–1281, 2019. DOI: 10.17957/IJAB/15.1021

NEJAD, S.A.G.; ETESAMI, H. The Importance of Boron in Plant Nutrition. In: DESHMUKH, R.; TRIPATHI, D.K.; GUERRIERO, G. (eds) *Metalloids in Plants*, 1th. Wiley, pp 433–449, 2020.

PANDEY, A.; KHAN, M.K.; HAMURCU, M.; BRESTIC, M.; TOPAL, A.; GEZGIN, S. Insight into the Root Transcriptome of a Boron-Tolerant *Triticum zhukovskyi* Genotype Grown under Boron Toxicity. *Agronomy*. 2022; 12(10):2421. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102421>

PRADO, R.M. *Nutrição de plantas*. 2 ed. São Paulo: Editora Unesp, 2020.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. *Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

RAIJ, B. van. et al. (Ed.). *Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1996. 285 p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. p. 233-239. (Boletim Técnico, 100).

REID, R.J.; HAYES, J.E.; POST, A. et al. A critical analysis of the causes of boron toxicity

in plants. *Plant Cell Environ.* 27 (11): 1405–1414, 2004.

ROSOLEM, C.A.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; SILVA, N.M.; CARVALHO, L.H. Tabelas de recomendação de calagem do boletim 100. Cap. 3.1 Algodão. CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; MATTOS JUNIOR, D.; BOARETTO, R.M. van RAIJ, B. In: Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo, Instituto agrônomo, Campinas, p163, 2022.

ROSOLEM, C.A.; ZANCANARO, L.; BISCARO, T. Evaluating available boron and soybean response to boron in an oxisol from central-western Brazil. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:2375-2383, 2008.

SÁ, A.A.D.; ERNANI, P. R. Boron Leaching Decreases with Increases on Soil pH. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 40, 2016.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. (Ed.). Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

SCHERER, E.E. Níveis críticos de potássio para a soja em latossolo húmico de Santa Catarina. *Revista Brasileira Ciência Solo*, 22, 57-62, 1998.

SEEDA, M. A. A.; HELLAL, F.A., SAYED, S.A.A.E.L.; ELNOUR, E. A. A. Boron's Importance in Plant Development and Growth: A Review. *Egypt.J.Agron.* V39,N2, 159-166p, 2017.

SUN, A.; GOU, D.; DONG, Y.; XU, Q.; GUANGJIE, C. Extraction and Analysis of Available Boron Isotopes in Soil Using Multicollector Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.67, n.25, p. 7183-7189, 2019.

SOUZA, L.T. de; CARR, N.F.; LAVRES, J.; MAZZAFERA, P. e FAVARIN, J.L. Deficiência de boro afeta a hidrólise de ATP da membrana plasmática e a absorção de nutrientes no café: Consequências para o crescimento das plantas.

Journal of Plant Nutrition, 45 (14), 2123–2134, 2022.
<https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2043371>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. Artmed Editora. 2017.

VINUTHA, H.P.; POORNIMA, B.; SAGAR, B.M. Detecção de outliers usando técnica de intervalo interquartil de conjunto de dados de intrusão. Em: SATAPATHY, S., TAVARES, J., BHATEJA, V., MOHANTY, J. (eds) Information and Decision Sciences. Advances in Intelligent Systems and Computing, v701, 2018. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7563-6_53

WANG, X.; SONG, B.; WU, Z.; ZHAO, X.; SONG, X.; ADIL, M.F.; RIAZ, M.; LAL, M.K.; HUANG, W. Insights into physiological and molecular mechanisms underlying efficient utilization of boron in different boron efficient Beta vulgaris L. varieties, Plant Physiology and Biochemistry, V 197, 2023, 107619, ISSN 0981-9428, <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.02.049>.

YAMADA, T. Boro: será que estamos aplicando a dose suficiente para o adequado desenvolvimento das plantas. Informações Agronômicas, v. 90, p. 1-5, 2000.

YAU, S.K.; NACHIT, M.M.; RYAN, J.; HAMBLIN, J. Phenotypic variation in boron toxicity tolerance at seedling stage in durum wheat (*Triticum durum*) Euphytica. 1995;83:185–191. doi: 10.1007/BF01678128