

Scientific Electronic Archives

Issue ID: Sci. Elec. Arch. Vol. 13 (5)

May 2021

DOI: <http://dx.doi.org/10.36560/14520211244>

Article link: <https://sea.ufr.edu.br/SEA/article/view/1244>



Influência da adubação bórica na cultura do feijoeiro

Influence of boric fertilization on the bean culture

Corresponding author

Níbia Sales Damasceno Corioletti

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

nibiaagro2011@gmail.com

Sidinei Corioletti

Engenheiro Agrônomo

Valéria Lima da Silva

Universidade Estadual de Goiás - Campus São Luís de Montes Belos

Resumo: A cultura do feijão em nosso país além de participar de maneira expressiva no cenário econômico que engloba a cadeia do agronegócio, exerce uma função cultural bastante intensificada por ser um dos símbolos básicos da alimentação da população e importante fonte de proteína. O Brasil destaca-se no ranking mundial como um dos principais países produtores e consumidores de feijão (*Phaseolus vulgaris* L). Esta cultura pode ter sua produtividade limitada pelo baixo teor de Boro (B) encontrada em parte dos solos brasileiros cultivados, onde os níveis adequados deste nutriente varia de 1,0 a 1,2 mg dm⁻³. Com isso, pode existir a necessidade de se fazer a adubação para superar a limitação na produtividade por deficiência de Boro no solo e na planta. As plantas absorvem B na forma de ácido bórico. Ao longo dos anos o nível tecnológico empregado na produção do feijão vêm aumentando significativamente, neste sentido diversas pesquisas tem sido direcionadas para práticas de manejo que gerem rentabilidade e produtividade dessa cultura. Essa revisão tem por objetivo discorrer sobre a relevância da adubação bórica na cultura do feijoeiro e identificar em quais estádios de desenvolvimento essa adubação seria crucial para o ciclo da planta, assim como levantar a resposta à adubação bórica das principais variáveis agrônomicas estudadas.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., toxicidade de boro, nutrição de plantas, micronutriente

Abstract: The culture of beans in our country, in addition to participating significantly in the economic scenario that encompasses the agribusiness chain, has a very intensified cultural function because it is one of the basic symbols of the population's diet and an important source of protein. Brazil stands out in the world ranking as one of the main bean producing and consuming countries (*Phaseolus vulgaris* L). This crop may have its productivity limited by the low content of Boron (B), found in part of the cultivated Brazilian soils, where the adequate levels of this nutrient varies from 1.0 to 1.2 mg dm⁻³. With this, there may be a need for fertilization to overcome the limitation in productivity due to boron deficiency in the soil and in the plant. Plants absorb B in the form of boric acid. Over the years, the technological level used in the production of elongated beans, in this sense, several researches have been directed to management practices that generate profitability and productivity of this crop. This review aims to discuss an export of boric fertilization in common bean culture and to identify at what stages of development this fertilization would be crucial for the plant cycle, as well as to raise the response to boric fertilization of the main agronomic variables studied.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L., boron toxicity, plant nutrition, micronutrient

Contextualização e análise

Os países que lideram a produção mundial de feijão, por ordem decrescente são: Myanmar, Índia, Brasil, Estados Unidos, México e Tanzânia, representando respectivamente 59,4% do total

produzido no mundo, ou 15,8 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2017). No entanto o consumo de feijão em países mais desenvolvidos se dá em pequenas quantidades, os principais produtores mundiais também são os maiores consumidores,

consequentemente o produto é mais comercializado no mercado interno desses países para suprir a demanda da população, por isso gera poucos excedentes exportáveis (CONAB, 2017).

No estado de Mato Grosso a produção total dessa leguminosa atingiu 398,2 mil toneladas na safra 2016/2017, em uma área plantada de 291,3 mil ha e uma produtividade média de 1.367 kg ha⁻¹ (CONAB, 2018). O feijão é uma planta exigente em termos nutricionais, muito sensível a fatores climáticos extremos, doenças e pragas. Cerca de 60% da produção do mundo é afetada pela estiagem, que é compreendida como o segundo fator que provoca mais redução de produtividade na cultura do feijoeiro, uma vez que a própria arquitetura da planta é deficiente por possuir um sistema radicular limitado. Já o primeiro fator é a suscetibilidade da cultura a doenças (TORRES et al., 2014). As plantas que apresentam níveis adequados de B são menos suscetíveis ao estresse abiótico (WASAYA et al., 2017).

As características de solo, clima e planta onde a cultura do feijão é cultivada fazem com que o boro (B) seja um dos elementos que podem limitar a produção da cultura no Brasil. As plantas necessitam do boro para que o seu crescimento ocorra normalmente, pois a ausência ou toxicidade deste nutriente nos vegetais desencadeia vários danos em seus processos fisiológicos como: divisão celular, absorção de cálcio, translocação de açúcar, metabolismo de carboidratos e crescimento do tubo polínico. Um dos fatores mais relevantes para o controle da disponibilidade de boro no solo é a acidez do solo, onde o pH elevado pode ocasionar menor disponibilidade de B (EL-DAHSHOURI et al., 2018). A disponibilidade de boro também sofre influência de outros fatores como a atividade da microbiota do solo (SOARES et al., 2008), o teor de matéria orgânica (AZEVEDO et al., 2001; SOARES et al., 2008), a interação entre nutrientes e a demanda nutricional das espécies de plantas (HELLAL et al., 2017).

O B é predominantemente encontrado na solução do solo na forma H₃BO₃, que é absorvida com maior frequência. Geralmente apenas uma fração do B aplicado no solo permanece na solução do solo, disponível para as plantas absorverem, consequentemente a outra fração sofre o processo de lixiviação. Alguns atributos do solo como a granulometria e a composição mineralógica podem afetar a disponibilidade de B, neste sentido os solos arenosos são mais suscetíveis a lixiviação do que os argilosos (SÁ et al., 2016).

Entretanto o B está relacionado ao processo de assimilação de nitrogênio pelas plantas, por isso a sua aplicação no solo é justificada (OUZONIDOU et al., 2013). Além de otimizar a síntese de proteínas e ácidos nucleicos, metabolismo de carboidratos e aumento da atividade fotossintética. A mobilidade do elemento B no solo ocorre de forma elevada, o contato com a raiz é feito através do fluxo de massa. O processo de transporte pelo xilema é facilitado pelo fluxo transpiratório e a redistribuição do

nutriente é limitada no floema, sendo o elemento considerado pouco móvel, o que permite um maior acúmulo de B na parede celular (FLORES et al., 2018).

Em diversos casos onde ocorre sintomas aparentes de deficiência de potássio (K) nas culturas, pode estar correlacionada com a deficiência de B, devido a absorção de K aumentar com a presença de B (POWER & WOODS, 1997). Contudo a deficiência de B pode ser comumente confundida com as de outros nutrientes principalmente com a de K e fósforo (P) (YAMADA, 2000). Entre as mais diversificadas funções do B, duas se encontram muito bem definidas como a síntese de compostos da parede celular e a manutenção da integridade das membranas plasmáticas (CARMAK & ROMHELD, 1998). E com sua deficiência não ocorre o crescimento de novas raízes e de brotações (WIMMER et al., 2013).

O seu comportamento no solo e na planta depende muito da concentração em que o elemento se encontra. Se aplicado em excesso, o B pode promover o acúmulo de sais ou teores tóxicos na solução do solo, afetando diretamente o crescimento e acarretando em baixas produtividades. Existe uma estreita faixa entre a demanda para o suprimento nutricional e os teores tóxicos, por isso, é imprescindível um adequado manejo da adubação (FLORES et al., 2017). Para tanto, o objetivo dessa revisão é destacar o papel indispensável do micronutriente boro na cultura do feijão, explorando o seu comportamento no solo, na planta e a adubação bórica.

Boro no Solo

As principais reservas de B em todo o mundo estão localizadas em países como Estados Unidos especificamente na Califórnia, Rússia, Austrália, Argentina, China e Turquia que detém sozinha 73% da reserva global de boro (PRINCI et al., 2018).

No solo o B atua como um ânion, sua quimissorção aumenta com a acidez do solo. Em solos cujo pH está abaixo de 7,0, o boro na forma de H₃BO₃ é altamente suscetível a lixiviação (SÁ et al., 2016). O ácido bórico é considerado como muito fraco e atua como ácido de Lewis, que para a formação do ânion borato necessita aceitar um hidróxido (GOLDBERG, 1997). O pH é um fator primordial que influencia diretamente os processos de adsorção e lixiviação de B (FOLONI et al., 2016); seguido por outros fatores como a textura do solo, a umidade do solo, os óxidos de Fe e Al, o teor de argila, a presença de carbonatos de cálcio, minerais de argila e matéria orgânica que se relacionam com a disponibilidade de B (GOLDBERG, 1992; GOLDBERG et al., 2008; ARORA & CHAHAL, 2010).

A principal origem mineral do B no solo é a turmalina [Na (Al, Fe, Li, Mg, Mn)₃ Al₆ Si₆ O₁₈ (BO₃)₃ (OH, F)₄], a qual pode liberar o elemento através do processo de desagregação e intemperismo, que ocorre de forma lenta (ROSOLEM, 2015). Outros minerais comuns que contêm boro são: o bórax Na₂

[B405(OH)4] *, o kernite de bórax hidratado $\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, a colemanite mineral pouco solúvel $\text{Ca}_2[\text{B}_3\text{O}_4(\text{OH})_3] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e a ulexita $\text{NaCa}[\text{B}_5\text{O}_6(\text{OH})_6] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (CHESWORTH, 1991).

Com isso, o B na forma orgânica é importante para o controle da disponibilidade do elemento (SANTOS, 2017). Quando comparado a outros elementos no solo, o comportamento químico do B na matéria orgânica é simples, pois não sofre reações de oxirredução ou volatilização em solos (GOLDBERG, 1997). A quantidade de B no solo pode então estar relacionada com a mineralização da matéria orgânica, que ocorre em menor intensidade em períodos mais secos, podendo reduzir sua absorção pelas plantas (SANTOS, 2017). Olson e Berger (1947) relataram que após a remoção da matéria orgânica do solo, ocorreu uma redução na capacidade dos solos fixarem o boro (SARKAR et al., 2013).

Steiner & Lana (2013), analisando alguns solos no Paraná, confirmaram que a adsorção de B era dependente e crescente em função do pH, que também foi afetado pelas propriedades do solo, como a argila, o teor de óxido de alumínio e a matéria orgânica.

Como grande parte do B presente no solo é advindo da mineralização da matéria orgânica, os maiores níveis do nutriente se encontram na camada superficial do solo (MALAVOLTA, 1980). Entretanto, uma determinada quantidade do boro aplicada no solo sofre lixiviação, através da chuva ou por meio da água de irrigação, que são fatores que reduzem de forma drástica os níveis do elemento no solo. Situação que ainda pode ser agravada em solos com textura arenosa. Por isso nos programas de fertilização para oferta adequada de B, esses fatores devem ser considerados (BARBOSA et al., 2016; SILVA et al., 2016).

Nos solos argilosos ocorre o inverso, o boro é facilmente retido em parte devido a capacidade de formar complexos estáveis com o micronutriente (KOT, 2008). Souza et al (2011), verificaram que com o aumento de doses crescentes de boro aplicados ao solo, ocorreu maior concentração do nutriente na solução do solo, resultando em maior absorção e acúmulo de boro pela cultura.

Boro na Planta

O boro é capaz de atravessar membranas por meio de transporte passivo ou absorção sem gasto direto de energia. A absorção do ácido bórico acontece por três mecanismos diferentes: (i) absorção passiva por meio da bicamada lipídica: por muito tempo foi considerada como a única via de absorção de B, trata-se do principal processo de absorção de boro sob oferta adequada ou elevada, no entanto torna-se restrita para a molécula de ácido bórico não carregada; (ii) absorção ativa por canal (MIP): pertencente à superfamílias das principais proteínas intrínsecas; e (iii) por sistema de transporte de elevada afinidade dependente de energia: induzido em decorrência a baixos teores de boro

(TANAKA & FUJIWARA, 2007; WIMMER et al., 2013).

Os elementos minerais boro (B) e cálcio (Ca), são considerados os dois nutrientes mais importantes para auxiliar ou apoiar a integridade estrutural e função das membranas plasmáticas de plantas saudáveis. Devido a capacidade que esses nutrientes possuem de interagirem com os polissacarídeos pécticos na matriz da parede celular e desta forma contribuem para a manutenção da integridade e resistência da parede celular (SINGH et al., 2012).

O papel do B na integridade da membrana plasmática foi provado por Carkmark et al. (1995), que compararam folhas normais de girassol com folhas que apresentavam sintomas de deficiência em B. Os autores observaram que as folhas deficientes possuíam perda de sacarose 45 vezes maior, 35 vezes maior para o potássio e 7 vezes maior para os compostos fenólicos e aminoácidos do que nas folhas que apresentavam níveis adequados de B. A deficiência de B, então, aumenta a liberação de sacarose e aminoácidos que são substratos para patógenos e pragas, causando alterações no mecanismo de autodefesa da planta tornando-a mais vulnerável (YAMADA, 2000).

A participação do boro é crucial para manter a forma reduzida de ascobartol na interface da parede/membrana celular, estimulando a NADH oxidase, ambas as formas são mencionadas e relacionadas aos processos de crescimento das plantas (HELLAL et al., 2017). Em solos afetados por problemas de salinidade, a presença de B e Ca contribui para estimular os mecanismos de tolerância da planta exposta a situação de estresse, aumentando o seu crescimento (ROESSNER et al., 2006).

O rhamnogalacturonan II (RG II), é um polissacarídeo péctico, responsável por originar um resíduo de piose que se liga covalentemente a boratos de ésteres com ligações cisdiol. A composição é essencial para manter a estabilidade da parede celular e a extensão normal da folha. Desempenhando papéis importantes no que se refere a adesão celular e o fortalecimento físico da parede celular (ULUISIK et al., 2018). Em outras palavras, esse complexo de RGII é necessário para manter as propriedades físicas e mecânicas da parede celular (RYDEN et al., 2003), sendo crucial para o desenvolvimento celular durante o processo de crescimento (DE CNODDER et al., 2005).

O BOR1, é um transportador de efluxo de boro, que é transferido da membrana plasmática para o vacúolo, quando as plantas são expostas a níveis elevados de B. E sob essas condições o BOR1 é degradado no vacúolo por endocitose (BELLALOUÏ et al., 2013). Porém em casos de deficiência de boro, o BOR1 é extremamente necessário para translocar o boro presente nas raízes para as brotações (HELLAL et al., 2017).

Outros processos fisiológicos de plantas que o boro participa são: transporte de açúcares,

metabolismo de carboidratos, metabolismo de RNA, metabolismo de IAA, metabolismo fenólico, metabolismo de ascorbato e lignificação (FLORES et al., 2017). Porém, os mecanismos dessas funções ainda são desconhecidos amplamente (ULUISIK et al., 2018).

Adubação bórica, crescimento e produtividade da cultura do feijoeiro

O boro promove a estimulação das características de crescimento e rendimento de várias culturas (MAHADULE et al., 2018). Shekhawat (2012), após a condução de um experimento com feijão mangu ou feijão moyashi (*Vigna radiata*) em duas estações primavera-chuvosa de 2005 e 2006, concluiu que a aplicação via solo de B (bórax 11,3% de boro) a 1,50 kg ha⁻¹ e de S (“Cosavet”, um pó marrom dispersivo em água contendo 80% de enxofre elementar, pode ser usado como fungicida ou acaricida de contato, fabricado e comercializado pela Sulper Mills Limited, Mumbai) a 50 kg ha⁻¹ proporcionou um aumento significativo no número de ramos e altura das plantas. Já Islam et al., (2018), avaliando os efeitos de zinco e boro nos componentes de crescimento e rendimento do feijão, observaram que a maior altura de plantas após 50% do florescimento, foi obtida com doses de 1,0 kg ha⁻¹ de B.

O incremento no rendimento de grãos do feijão comum através da adubação bórica é atribuído pelas funções que o elemento mineral desempenha na planta, como na germinação de grãos de polén, crescimento do tubo polínico e formação de sementes (MARCHNER, 2012; FAGERIA et al., 2015). Assim, uma oferta adequada deste nutriente pode trazer melhorias no balanço nutricional da cultura do feijão comum e influenciar diretamente no rendimento dos grãos.

Devi et al. (2017), em seu estudo sobre a influência da peletização de sementes no desempenho de culturas e rendimento de sementes de Feijão Francês cv. Arka Anoop realizado na Índia, puderam constatar que as sementes que foram peletizadas com ZnSO₄ (3g kg⁻¹) boráx como fonte de B (3g kg⁻¹) mais Capton (2.5g kg⁻¹) e Imidacloprid (2.5g kg⁻¹) após o plantio no solo, apresentaram uma emergência de campo até os 20 (DAS) mais alta (92,00%), superioridade no crescimento e número de flores quando comparada a testemunha. Os autores explicaram esse resultado pela melhora dos processos metabólicos e fisiológicos das plantas com o metabolismo de carboidratos e o aumento da divisão celular, além do maior crescimento das plantas, que refletiu em uma maior atividade fotossintética, dessincronizando uma maior síntese de hormônios envolvidos no processo de florescimento e o papel ativo do boro em várias funções fisiológicas e processos bioquímicos das plantas

Flores et al., (2017) conduziram um estudo para avaliar os efeitos da fertilização de boro na nutrição e produção de feijões comuns. As doses de

B utilizadas foram (0, 1, 2, 4 e 6 kg ha⁻¹) com quatro repetições, tendo como fonte o ácido bórico (17% de B) aplicado via solo sob ambiente de casa de vegetação, onde as doses de boro foram aplicadas na superfície do solo e incorporadas a 10 cm de profundidade na emergência das plântulas. Observaram que os níveis de boro nas folhas do feijoeiro são linearmente melhorados após a aplicação de doses crescentes de B. A maior produção de matéria seca foi observada na dose de 4,8 kg ha⁻¹. Quando o nível de boro no solo é menor que (0,5 mg kg⁻¹), doses inferiores a 4,9 kg ha⁻¹ promovem o aumento da produção de matéria seca de 56% em relação ao controle. A determinação do estado nutricional para boro foi efetuado no início do florescimento, 60 dias após a germinação (DAG) e aos 90 (DAG). No entanto, na última data foi medida a massa seca da parte aérea e das raízes dos feijões comuns.

Um experimento realizado por Andhra Pradesh, em feijão francês cv. Arka Komal, com diferentes níveis de boro tendo como fonte o boráx à (2,5 e 5,0 ppm), aplicados individualmente ou em combinação por meio da pulverização foliar, em duas fases de (20 e 40 DAS), revelou que o tratamento com 2,5 ppm de B sobressaiu em relação aos demais e promoveu uma maior altura de plantas (35 cm), maior número de folhas por planta (14,6), maior número de ramos por planta (4,3), comprimento da raiz (20,4 cm), área foliar (941,2 cm²), índice de área foliar (0,60) e produção de matéria seca (62,8 g por planta) (PADMA et al., 1989; MAHADULE et al., 2018).

Coetizer et al., (1990), observaram que após a aplicação de B via solo na concentração de até 0,5 mg dm³, influenciou positivamente aumentando o comprimento e o número de vagens do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*).

Salih et al., (2013), realizaram um experimento em casa de vegetação utilizando vasos, durante dois anos 2011 avaliando o crescimento e 2012 investigando os efeitos das aplicações foliares com Fe, B e Zn sobre a concentração de nutrientes e a proteína da semente do feijão caupi (*Vigna unguiculata*). Três concentrações com solução de micronutrientes foram aplicadas (0, 1, 2 ppm). Onde o B, Fe e o Zn eram pulverizados a cada 15 dias. Os parâmetros analisados foram os valores de cada nutriente e % em proteína, também foram avaliados os valores para, P, K, Ca, Mg, Na e Cl. Os resultados mostraram que o efeito de diferentes tratamentos na concentração de nutrientes e proteína de sementes foram significativos.

Souza et al., (2011), Em seu estudo sobre a Calagem e a adubação boratada na produção do feijoeiro (cv. BRS Talismã), avaliaram os efeitos da aplicação de calcário e o boro nos atributos químicos de um Latossolo, estado nutricional e produtividade da cultura do feijoeiro. As doses de calcário empregadas foram crescentes, a saturação por bases considerada foi igual a 70%, correspondendo às doses: 0, 6; 1,2 (v = 70%); 1,8 e 2,4 t ha⁻¹.

Respectivamente o calcário aplicado possuía poder relativo de neutralização (PRNT), poder de neutralização (PN) e reatividade (RE) de 131; 137 e 95%. As doses de B (boro) utilizadas foram: (0; 0,6; 1,2; 1,8; e 2,4 mg dm⁻³, tendo como o ácido bórico (H₃BO₃) p.a (17% B). No estágio de florescimento foi avaliado o estado nutricional das plantas e, aos 90 dias foram avaliadas a fertilidade do solo e a produção de grãos. Onde no solo obtiveram melhorias nos atributos do pH, SB, V e na Concentração de Ca, Mg e B com a utilização da adubação boratada. Os autores observaram que a interação da calagem com a adubação boratada proporcionou um maior acúmulo de Ca, Mg e B nas plantas. Demonstrando que o feijoeiro é uma cultura bastante responsiva a calagem e a adubação boratada, os mais elevados índices de produção foram atingidos com a utilização da dose de 1,8 kg ha⁻¹ de boro com doses crescentes de calcário.

Deficiência por Boro

Em todo o mundo a deficiência por boro é considerada como um dos principais problemas que limitam a produção, e é mais grave do que a deficiência dos demais micronutrientes nas culturas agrícolas (KOBAYASHI et al., 2017; WU et al., 2017).

A deficiência de B pode prejudicar a absorção de água e de outros nutrientes, devido a inibição do crescimento de raízes e brotações. Causando danos estruturais ao xilema, por limitar o transporte de água para outros órgãos da planta, ao mesmo tempo a perda hídrica é compensada por barreiras, que afetam a superfície foliar ocasionando a redução da fotossíntese. Plantas deficientes em boro apresentam uma transpiração reduzida, e em condições de seca a resposta dos estômatos é prejudicada (WIMMER et al., 2013). Entretanto a inibição do alongamento radicular, pode ser associada ao resultado da perturbação da estrutura da parede celular devido a fraca reticulação dos polissacarídeos pécticos rhamnogalacturonan II (RG II) na composição da parede celular (RIAZ et al., 2018).

MIWA et al., (2013), observaram que a reticulação reduzida de RG II por borato, inibiu o crescimento da raiz de *Arabidopsis* e da abóbora. A privação por boro influencia no desempenho de vários genes que atuam na parede celular, além de afetar na porosidade e extensibilidade da parede celular. Martín-Rejano et al., (2011), relataram que a deficiência por boro afeta a divisão celular e promove redução no alongamento radicular.

A carência de boro também induz a acumulação de alguns aminoácidos, e promove a redução do nitrogênio (N) na forma de proteína, devido ao papel que o micronutriente exerce na síntese de ácidos nucléicos e proteínas. (FLORES et al., 2017b). Silva et al., (2015), também puderam observar a redução nos teores de nitrogênio após a aplicação de doses crescentes de boro. Contudo as plantas deficientes em boro apresentam aumento na atividade da RNAase, que é uma enzima

responsável por hidrolisar o RNA e possuem menor síntese de uracila a partir do ácido orótico. Visto que o boro participa do metabolismo do RNA e está relacionado a síntese do uracil, que é considerado como um dos componentes do RNA (FLORES et al., 2018b).

A formação anormal da parede celular, as alterações da polimerização do citoesqueleto e as alterações da membrana plasmática, são sintomas da desordem nutricional provocados por boro que podem ser observados em órgãos em expansão (ULUISIK et al., 2018). No entanto, a morte do meristema apical, é o sinal mais evidente de deficiência de B, já que os sintomas se acentuam-se nas regiões mais jovens das plantas, e está relacionada com a função estrutural que o elemento desempenha na parede celular através do fortalecimento de seus componentes. Os danos nos tecidos vasculares limitam a translocação do nutriente, e isso explica a redução na produção de botões florais, e o abortamento de flores em plantas deficientes em boro (WIMMER et al., 2013).

Com a deficiência de boro, mais íons irão se aderir aos hidrocarbonetos nos locais intercelulares, e isso inibe a degradação da pectina, tendo como consequência redução na expansão da parede celular e alongamento do sistema radicular. E a degradação da pectina é importante para o afrouxamento e expansão da parede celular (RIAZ et al., 2018b).

Alguns macronutrientes como magnésio (Mg), potássio (K) e Cálcio (Ca) podem sofrer declínio em suas concentrações mediante a uma deficiência por boro. Por outro lado a carência por boro induz a acumulação de compostos fenólicos e teor de nitrato na raiz (SINGH et al., 2012).

A maioria dos efeitos negativos relacionados a ausência de B pode ser o resultado de alterações na estrutura da parede celular e de funções alteradas, já que o boro desempenha um papel estrutural bastante complexo na manutenção da arquitetura da parede celular (RIAZ et al., 2018). E essas mudanças são respostas específicas das plantas mediante a privação do elemento (DONG et al., 2018).

Toxicidade por Boro

A toxicidade causada por boro, como regra geral ocorre quando os solos possuem concentrações superiores a 12 mg kg⁻¹ de B (HALL, 2010), bem como em áreas onde a precipitação anual é menor que 550 mm (MCDONALD et al., 2010).

O acúmulo de boro no solo, frequentemente acontece devido a adição de fertilizantes com elevados índices salinos aliado ao manejo inadequado da água da irrigação, contendo quantidades de B superiores as exigências nutricionais requeridas para determinadas culturas (NABLE et al., 1997).

Os principais sintomas de toxicidade de boro ocorrem em folhas mais velhas e pode ser

caracterizado por clorose marginal ou de ponta (BONILLA et al., 1997). Em plantas dicotiledôneas que têm venação reticulada, os sintomas de toxicidade por boro normalmente acontece ao redor das margens das folhas (ROESSNE et al., 2006). As três principais causas da toxicidade por B são: (i) a interação do elemento B com compostos de hidróxidos na posição de cis; (ii) adaptação da estrutura da célula; (iii) confusão metabólica com ATP e adaptação e avanço celular (HELLAL et al., 2017). Em diferentes culturas a toxicidade por boro tem sido avaliada através da percepção da queima e necrose de folhas (SUTTON et al., 2007).

O emprego de doses excessivas de boro tende a reduzir os níveis fotossintéticos das plantas (CHEN et al., 2012). Como consequência causa interferência nas atividades enzimáticas, afetando a síntese de cloroplastos e a capacidade de transporte de elétrons (SIMON, 2013; FLORES et al., 2017). A toxicidade por B é considerada como um distúrbio significativo que prejudica o rendimento e a qualidade das culturas (MUNTEAN, 2009). Afetando vários processos fisiológicos entre os quais estão a inibição da divisão celular e do alongamento da raiz, a ruptura da parede celular e estresse oxidativo (PRINCI et al., 2016). Robertson et al., (1975) constatou que o nível tóxico de boro no solo para a cultura do feijão é acima de 2 mg kg⁻¹ de B.

Mascarenhas, (1998), em seu trabalho sobre a resposta do feijoeiro a doses de boro em cultivo de inverno e de primavera, pode verificar que os sintomas de toxicidade de B foram detectados em doses superiores a 4 e 8 kg ha⁻¹ tanto no ensaio de inverno quanto no de primavera.

Samet et al. (2013), realizaram um experimento para estudar os efeitos conjuntos de três níveis de K (0, 200 e 400 mg kg⁻¹ de K₂SO₄) e quatro níveis de B (0, 5, 10 e 20 mg kg⁻¹ H₃B₃O₃) em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e determinaram que em todos os tratamentos as massas secas de brotações e raízes foram afetados negativamente pelo aumento das doses de boro. Quando utilizado em concentrações elevadas o boro pode inibir o crescimento das plantas (ALI et al., 2013).

Flores et al. (2018b), verificaram que a cultivar de feijão Esplendor demonstrou elevada capacidade de absorção de boro, podendo atingir até 175 mg kg⁻¹. Porém os níveis elevados de absorção do elemento, ocasionaram fitotoxicidade e reduziram a produção da matéria seca em torno de 30%. Onde a eficiência do uso de boro pela planta foi reduzida em até 75%. Os efeitos fitotóxicos de B resultam em clorose e redução da coloração ou pigmentação verde das folhas (ZANÃO et al., 2014). Elevadas doses de boro podem afetar a assimilação do N pelas plantas, pois prejudica a produção de nódulos nas raízes e a absorção de nutrientes e água (SILVA, et al., 2015). Outros estudos direcionados através da avaliação de doses de boro em solos tropicais também observaram redução da matéria seca depois da aplicação de doses altas de B (TRAUTMANN et al., 2014).

No entanto, os mecanismos relacionados a toxicidade ocasionada por boro ainda não estão bem claros (REID et al., 2004). Porém, a ribose pode ser a provável candidata para os efeitos relacionados com a toxicidade, devido a capacidade que B possui de ligar-se a múltiplos grupos hidroxílicos na configuração cis. Nozawa et al., (2006) & Reid (2010), trabalhando com diversas proteínas e TFs que podem dificultar a ligação de boro em *Arabidopsis*. Os autores sugeriram que o B pode afetar os processos de transcrição e tradução do RNA, caso ocorra a ligação a hidroxilos cis em moléculas de ribose, que são expostas durante o processamento ou na transferência do RNA.

Aplicação Foliar

A adubação foliar é uma ferramenta complementar bastante utilizada nas fabáceas principalmente no feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) para corrigir a deficiência de B e resultar em ganhos de produtividade (SILVA et al., 2016). Castagnel e Silva (2009), realizaram um experimento em casa de vegetação, com o objetivo de avaliar a resposta da cultura do feijoeiro, cv. IAPAR 81, a adubação foliar com boro. Os tratamentos via foliar foram constituídos em três doses de B: 0, 30 e 60 g ha⁻¹, em diferentes épocas de aplicação sendo uma em R5 (estádio de pré-floração) e outra em R6 (na floração). E verificaram o efeito positivo do boro sobre a produtividade, devido ao aumento no número de vagens por planta e grãos por vagem (DA SILVEIRA et al., 2015).

A aplicação de boro via foliar, quando comparada aos métodos convencionais de adubação em cobertura, apresenta algumas vantagens como o melhor aproveitamento dos nutrientes pela planta, respostas mais rápidas e corrige com maior eficiência as deficiências já existentes na cultura (COSTA et al., 2014). Silva et al (2006), constataram que a aplicação foliar de boro na cultura do feijão, pode melhorar a qualidade das sementes. Lima et al. (2013) observaram, que os maiores índices de germinação, foram obtidos através de sementes de feijão comum originadas de plantas fertilizadas com ácido bórico. Reis et al., (2008), constataram que a aplicação foliar de Boro na cultura do feijoeiro, em R1, influenciou na retenção das vagens, e contribuiu de forma significativa na produtividade do mesmo.

A aplicação foliar de B na cultura do feijoeiro é importante para que o desenvolvimento das flores e vagens não seja comprometido e ocorra normalmente. Uma possível deficiência desse elemento em tais estádios, resultaria não somente em sintomas visuais de anormalidade como também apresentaria alterações nas funções normais no processo de formação dos grãos (KONNO, 2012). Em trabalhos relacionados com a influência da adubação bórica na cultura do feijoeiro, provenientes de diferentes regiões do Brasil, alguns autores observaram que a deficiência de B promove uma redução na absorção e translocação de Ca nos

vegetais, além de tornar reduzidos os teores de Ca na área foliar (YAMAUCHI et al., 1986; PENALOSA et al., 1987; FAGERIA, 2001).

Conclusão

A partir da revisão das literaturas acima, sobre a importância de fontes de boro no solo e na planta principalmente sobre sua participação em processos metabólicos e fisiológicos dos vegetais, a absorção do boro é essencial para permitir o crescimento e o rendimento de grãos de muitas culturas, pois auxilia na transferência de nutrientes e açúcares presentes nas folhas para os órgãos reprodutivos. Ressaltando que o feijão necessita de suprimento adequado de B, durante os estádios da floração e desenvolvimento de sementes. Seja por meio de aplicações foliares ou por aplicação no solo. O boro exerce função na composição da parede celular e manutenção da membrana plasmática, participa da divisão celular, promove a alongação celular, atua no metabolismo e redistribuição de carboidratos, no arranjo e atividades das membranas, na germinação do grão de pólen e no crescimento do tubo polínico. Embora os micronutrientes sejam relevantes ainda existe escassez de estudos direcionados ao tema e o boro se comparado a outros nutrientes têm sido pouco estudado.

Referências

- ALI, M. A.; TARIQ, N. H.; AHMED, N.; ABID, M.; RAHIM, A. (2013) Response of wheat (*Triticum aestivum* L.) to soil applied boron and zinc fertilizers under irrigated conditions. *Park. J. Agri. Agril, Engg., Vet. Sa.* 29 (2), 114-125.
- AZEVEDO, W. R.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L. A. Adsorção de boro em solos de várzea do Sul de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, n. 7, p. 957-964, 2001.
- BELLALOU, N.; HU, Y.; MENGISTU, A.; KASSEM, M. A.; ABEL, C. A. (2013) Effects of foliar boron application on seed composition, cell wall boron, and seed 15 N and 13 isotopes in water – stressed soybean plants. *Frontiers in Plant Nutrition*.
- BONILLA, I.; MORGOLD-VILLAS-ENOR, C.; CAMPOS, M. E.; S'ANCHES, N.; P'EREZ, H. et al. (1997) The aberrant cell walls of boron deficient bean root nodules have no covalently bound hydroxyproline proline-rich proteins. *Plant Physiol.* In press
- CARMAK, I.; ROMHELD, V. Boron deficiency – induced impairments of cellular functions in plants. In: DELL, B.; ROWN, P. H.; BELL, R. W. (eds.). *Boron in soil and plants: review.* Symposium, Chiang Mai, reprinted *Plant and Soil*, v. 193, n. 1-2, p. 71-83, 1997.
- CHEN, L. S.; HAN, S.; QI, Y. P.; YANG, L. T. 2012. Boron stress and tolerance in citrus. *Afrt. J. Biotechnol.* 11, 5961-5969.
- CHESWORTH, W., 1991. Geochemistry of micronutrients. In: Mortvedt, J.J., Luxmoore, R.J. (Eds.), *Micronutrients in Agriculture*, pp. 1–30.
- COETZER LA, ROBERTSE PL, STOFBERG E, HALTZAUSEN CS, BARNARD RO. The effect of boron non replication in tomato and bean (*Phaseolus vulgaris*). *South African Journal of Plant and Soil.* 1990; 7: 212-217.
- CONAB – Companhia Nacional do Abastecimento, Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/.../safra/graos/...safra...graos/.../21088_8ca248b277426bb39...>_Acesso em: 03 de julho de 2018.
- CONAB. Companhia Nacional do Abastecimento. *Perspectivas para a agropecuária.* Vol. 5, safra 2017/2018, Produtos de Verão. Brasília: 2017. Disponível em: https://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_09_06_09_30_08_perspectivas_da_agropecuaria_bx.pdf. Acesso em: 02 jan. 2018a.
- COSTA, L. F. D. S.; CUNHA, A. H. N.; FERREIRA, E. D. M.; BRASIL, E. P. F.; FERREIRA, E. P. D. B. Aplicação de boro em feijoeiro e aspectos microbiológicos do solo. (2014). *Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.
- DA SILVEIRA, P. M.; MESQUITA, M. A. M.; DA CUNHA, P. C. R. Adubação foliar do Feijoeiro: Revisão de Literatura. *Documentos*, n. 307, 2015.
- DE CNOODER, T. D.; VISSENBERG, K.; STRAETEN, D. V D.; VERBELEN, J. P.; 2005. Regulation of cell length in the Arabidopsis thaliana root by the ethylene precursor 1-aminocyclopropane – 1 – carboxylic acid: a matter of apoplastic reactions. *New Phytol.* 168 (3), 541-550.
- DEVI, K. Chaya; BALAKRISHNA, P.; CHANDRAPRAKASH, J. Influence of Seed Pelleting on Crop Performance and Seed Yield in French Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Arka Anoop. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, v. 6, n. 3, p. 1710-1715, 2017.
- DONG, X.; LU, X.; WU, X.; LIU, G.; YIAN, L.; MUHAMMAD, R.; et al., 2018. Changes in chemical composition and structure of root cell wall of citrus rootstock seedlings in response to boron deficiency by FTIR spectroscopy. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 93 (2), 150-158.
- EL-DAHSHOURI, M. F.; HAMOUDA, H. A.; ANANY, T. G. Improving seed production of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants as a response for

- Calcium and Boron. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, v. 19, n. 5, p. 211-219, 2018.
- FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B.; CARVALHO, M. C. S. 2015. *Nutrição mineral do feijoeiro*. Embrapa, Brasília, 394 p. 2015.
- FAGERIA, V. D. *Nutrient interactions in crop plants*. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.24, p.1269-1290, 2001.
- FAOSTAT. (2017). *Colheitas (Crops)*. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 02 jan. 2019.
- FLORES, R. A.; SILVA, R. G.; CUNHA, P. P.; DAMIN, V.; ABDALA, K. O.; ARRUDA, E. M.; RODRIGUES, R. A.; MARANHÃO, D. D.C. 2017. Economic viability of *Phaseolus vulgaris* (BRS Estilo) production in irrigated system in a function of application leaf boron. *Acta Agric. Scand. B*. 67, 697-704.
- FLORES, R. A. SILVA, T.V.; DAMIN, V.; MARQUES CARVALHO, R. D. C.; PEREIRA, D. R. M.; SOUZA JUNIOR, J. P. D. Common Bean Productivity Following Diverse Boron Applications on Soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 49, n. 6, p. 725-734, 2018b.
- FLORES, R. A.; RODRIGUES, R. A.; CUNHA, P. P. DA.; DAMIN, V.; ARRUDA, E. M. ABDALA, K. DE. O.; DONEGÁ, M. C. Grain yield of *Phaseolus vulgaris* in a function of application of boron in soil. *Journal of soil science and plant nutrition*, v. 18, n. 1, p. 144-156, 2018.
- FLORES, R. A.; SILVA – JUNIOR, A. R.; DAMIN, V.; ARRUDA, E. M., PRADO, E. R.; ARAÚJO, C. E. Nutrition and production of *Phaseolus vulgaris* (BRS Estilo) following boron application on soil. *Communications in soil science and plant analysis*, v. 48, n. 12, p. 1409-1416, 2017.
- 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.
- GOLDBERG, S. Reactions of boron with soils. *Plant and soil*. v.193, p.35-48, 1997.
- HALL, D.; 2010. Boron. Department of Agriculture and Food Western Australia 1–2.
- HELLAL, F. A.; EL-SAYED, S. A. A.; EL-NOUR, E. A. A. Boron's Importance in Plant Development and Growth: A Review. 2017.
- ISLAM, M. F.; NAHAR, S.; RAHMAN, A.; MD, S.; MAINUDDIN, M. M. Effect of zinc and boron on the yield and yield components of French bean. *International Journal of Natural and Social Sciences*, 2018; 5:59-63.
- KOBAYASHI, M.; MIYAMOTO, M.; MATOH, T.; KITAJIMA, S.; HANANO, S.; SUMERTA, I. N.; et al, 2017. Mechanism underlying rapid responses to boron deprivation in *Arabidopsis* roots. *Soil Sci. Plant Nutr.* 64 (1), 1-10.
- KONNO, Santiago. Physiological study on the mechanisms of seed production of soybean plant. *Proc. Crop.Sci. Soc.* p.236-248. 2012
- KOT, S, F. 2008. Boron sources, speciation and its potential impact on health. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.*8(1), 3-28.
- LIMA, M. L.; CARDOSO, F. R.; A. H. A.; GALANTE, A. H.; TEIXEIRA, G. C. S.; TEIXEIRA, I. R.; ALVES, S. M. F. Sources and doses of boron on quality of seeds from common bean and castor in intercropping. *Revista Caatinga*, v. 26, n. 4, p. 31-38, 2013.
- MAHADULE, P. A.; SALE, R. B.; Effect of foliar sprays of boron on growth, yield, nutrient uptake and quality of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Entisol: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, v. 7, n. 5, p. 74-78, 2018.
- MALAVOLTA, E. *Elementos de Nutrição Mineral de Plantas*. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1980. 251p
- MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T.; NOGUEIRA, S. S. S.; CARMELLO, Q. A. C.; AMBROSANO, E. J. Resposta do feijoeiro a doses de boro em cultivo de inverno e de primavera. *Bragantia*, Campinas, v. 57, n. 2, p. 387-392, 1998.
- MARSCHNER, H. 2012. *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press, London, 672 p.
- MARTÍN-REJANO, E. M.; CAMACHO-CRISTÓBAL, J. J.; HERRERA-RODRÍGUEZ, M. B.; REXACH, J.; NAVARRO-GOCHICOA, M. T.; GONZÁLEZ-FONTES, A.; 2011. Auxin and ethylene are involved in the responses of root system architecture to low boron supply in *Arabidopsis* seedlings. *Physiol. Plant.* 142 (2), 170-178.
- MIWA, K.; WAKUTA, S.; TAKADA, S.; IDE, K.; TAKANO, J.; NAITO, S.; et al., 2013. Roles of BOR2, a boron exporter, in cross-linking of rhamnogalacturonan II and root elongation under boron limitation in *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 163, 1699-1709.
- MUNTEAN, D. W.; 2009. Boron, the Overlooked Essential Element. *Soil and Plant Laboratory Inc.*, Bellevue, WA 98009. P. O Box 1648.

- MCDONALD, G. K.; EGLINTON, J. K.; BARR, A. R.; 2010. Assessment of the agronomic value of QTL on chromosomes 2H and 4H linked to tolerance to boron toxicity in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plant Soil* 326 (1-2), 275-290.
- NABLE, R. O.; BAÑUELOS, G. S.; PAULL, J. G. (1997) Boron toxicity. *Plant Soil*, 193, 181-198.
- OLSON, R. V.; BERGER, K. C.; 1947. Boron fixation as influenced by pH, organic matter content and other factors. *Soil Sci. AM. Proc.* 11, 216-220.
- OUZONIDOU, G.; PASCHALIDIS, C.; PETROPOULOS, D.; KORIKI, A.; ZAMANIDES, P.; PETRIDES, A. 2013. Interaction of soil moisture and excesso of boron and nitrogen on lettuce growth and quality. *Hort. Sci.* 40, 119-125.
- PRINCI, M. P.; LUPINI, A.; ARANITI, F.; LONGO, C.; MAUCERI, A.; SUNSERI, F.; ABENAVOLI, M. R. Boron toxicity and tolerance in plants: recent advances and future perspectives. In: *Plant metal interaction*. Elsevier, 2016. p. 115-147.
- PENALOSA, J. M.; ZORNOZA, P.; CARPENA, O. Estudios de las deficiencias de boro y manganeso en plantas de tomate. *Anales de Edafología y Agrobiología*, Madrid. v.56, p.749-58, 1987.
- PADMA, M.; REDDY, S. A.; BABU, R. S. Effect of foliar sprays of molybdenum (Mo) and boron (B) on vegetative growth and dry matter production of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Res. APAU*, v. 17, n. 1, p. 87-89, 1989.
- REIS, C, J. et al. Doses e Modos de Aplicação de Boro na Produção e Qualidade Fisiológica de Sementes de Feijão em Solo de Cerrado. *Revista Ceres*, São Paulo, p. 258-264, jul/ago, 2008.
- REID, R.J.; HAYES, J. E.; POST, A.; STANGOULIS, J. C. R.; GRAHAM, R. D. 2004. A critical analysis of the causes of boron toxicity in plants. *Plant Cell Environ.* 25, 1405-1414.
- RIAZ, M.; YAN, L.; WU, X.; HUSSAIN, S.; AZIZ, O.; JIANG, C. Boron deprivation induced inhibition of root elongation is provoked by oxidative damage, root injuries and changes in cell wall structure. *Environmental and Experimental Botany*, v. 156, p. 74-85, 2018.
- ROESSNER, U.; PATTERSON, J. H.; FORBES, M. G.; FINCHER, G. B.; LANGRIDGE, P.; BACIC, A. (2006). An investigation of boron toxicity in barley using metabolomics. *Plant Physiol.* 142, 1087-1101.
- ROBERTSON, L.S.; KNEZEK, B.D.; BELO, J. A survey of Michigan soils as related to possible boron toxicities. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.6, n.3, p.359-373, 1975.
- ROSOLEM, C. Adubação foliar do feijoeiro caupi. Fontes e doses de cálcio. *Científica*, v.19, p.80-87, 2015.
- RYDEN, P.; SUGIMOTO-SHIRASU, K.; SMITH, A. C.; FINDLAY, K.; REITER, W. D.; MCCANN, M. C.; 2003. Tensile properties of Arabidopsis cell walls depend on both a xyloglucan cross-linked microfibrillar network and rhamnogalacturonam II – borate complexes. *Plant Physiol.* 132 (2), 1033-1040.
- SÁ, A. A. D.; ERNANI, P. R. Boron Leaching Decreases with Increases on Soil pH. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 40, 2016.
- SALIH, HEMN OTHMAN. Effect of foliar fertilization of Fe, B and Zn on nutrient concentration and seed protein of cowpea “*Vigna Unguiculata*”. *IOSRJ. Agricultural Veterinary. Science.* 2013; 6:42-46.
- SANTOS, E. R. F. D. Distribuição dos teores de boro em dois solos de diferentes texturas em função da aplicação localizada de ácido bórico. 2017. 23f. Monografia apresentada para obtenção do título de bacharel em engenharia florestal à Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá. 2017.
- SARKAR, D.; DE, D. K.; DAS, R.; MANDAL, B. Removal of organic matter and oxides of iron and manganese from soil influences boron adsorption in soil. *Geoderma*, v. 214, p. 213-216, 2014.
- SHEKHAWAT, K.; SHIVAY, YS .; Residual effect of nitrogen sources sulfur and boron levels on mungbean (*Vigna radiata*) and sunflower (*Helianthus annuus*) Mungbean system. *Archives of Agronomy and soil Science.* 2012: 58: 765-776.
- SILVA, M. R., T. S. ASSMANN, T. N. MARTIN, T. S. Caldas. 2015. White clover roots production and nodulation submitted to boron levels. *Bioscience Journal.* 31:65-72.
- SILVA, S. L. O. Absorção e mobilidade floemática de boro (10B) em caupi. 2016. 32 f. Tese de doutorado apresentada a Universidade Estadual Paulista – Unesp, Campus de Jaboticabal, São Paulo, para obtenção do título de doutora em Agronomia (Produção Vegetal).
- SILVA, T. R. B.; SORATTO, R. P.; BISCARO, T.; LEMOS, B. Boron and calcium foliar application on common bean. *Científica (Jaboticabal)*, v. 34, n. 1, p. 46-52, 2006.
- SIMÓN, I .; DÍAS-LOPES, L.; GIMENO, V.; NIEVES, M.; PEREIRA, W. E.; MARTÍNEZ, V.; LIDON, V.; GARCÍA-SÁNCHEZ, F. 2013. Efectes of boron excess in nutriente solution on growth, mineral

- nutrition, and physiological parameters of *Jatropha curcas* seedlings. *J. Plant Soil Sci.* 176, 165-174.
- SINGH, D. P.; BELOY, J.; MCINERNEY, J. K.; DAY, L. Impact of boron, calcium and genetic factors on vitamin C, carotenoids, phenolic acids, anthocyanins and antioxidant capacity of carrots (*Daucus carota*). *Food chemistry*, v. 132, n. 3, p. 1161-1170, 2012.
- STEINER, F.; LANA, M. C. 2013. Effect of pH on boron adsorption in some soils of Paraná, Brazil. *Chilean Agric. Res.* 73 (2), 181-186.
- SOARES, M. R.; CASAGRANDE, J. C.; ALLEONI, R. F. (2008). Adsorção de boro em solos ácidos em função da variação do pH. *Rev. Bras. Cienc. Solo.* v. 32, n. 1, p. 111-120, 2008.
- SOUZA, H. A. D.; NATALE, W.; ROZANE, D. E.; HERNANDES, A.; ROMUALDO, L. M. Calagem e adubação boratada na produção de feijoeiro. *Revista Ciência Agronômica*, p. 249-257, 2011.
- SUTTON, T.; BAUMANN, U.; HAYES, J.; COLLINS, N.C.; SHI, B. J.; SCHNURBUSCH, T.; HAY, A.; MAYO, G.; PALLOTTA, M.; TESTER, M.; LANGRIDGE, P. 2007. Boron-toxicity tolerance in barley arising from efflux transporter amplification. *Science* 318, 1446-1449.
- TANAKA, M.; FUJIWARA, T. (2007). Physiological roles and transport mechanisms of boron: perspectives from plants. *Eur. J. Physiol.* (DOI 10.1007/s00424-007-0370-8).
- TORRES, H. R.; NETO, A. R. DOS. S.; RIBEIRO, P. R. C. DE. C.; RIBEIRO, J. J. Produtividade do feijão *Phaseolus vulgaris* L. com aplicações crescentes de molibdênio associadas ao cobalto via foliar. 2014. Disponíveis em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2014a/AGRARIAS/PRODUTIVIDADE%20DO%20FEIJAO.pdf>> Acesso em 03. jan. 2019.
- TRAUTMANN, R. R., LANA, M. C., GUIMARAES, V. F., GONÇALVES, JR., A.C., STEINER, F. 2014. Soil water potential and boron fertilization in growth and uptake of the nutrient for the soybean crop. *Revista Brasileira de Ciência do Solo.* 38, 240-251.
- ULUISIK, I.; KARAKAYA, H. C.; KOC, A. The importance of boron in biological systems. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, v. 45, p. 156-162, 2018.
- WASAYA, A.; SHABIR, M. S.; HUSSAIN, M.; ANSAR, M.; AZIZ, A.; HASSAN, W.; AHMAD, I. 2017. Foliar application of zinc and boron improved the productivity and net returns of maize grown under rain fed conditions of Postwar plateau. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 17, 33-45.
- WIMMER, M. A.; EICHERT, T. Mechanisms for boron deficiency-mediated changes in plant water relations. *Plant Science*, v. 203, p. 25-32, 2013.
- WU, X.; RIAZ, M.; YIAN, L.; DU, C.; LIU, Y.; JIANG, C.; 2017. Boron deficiency in trifoliolate orange induces changes in pectin compositions and architecture of components in root cell walls. *Front. Plant Sci.* 8.
- YAMADA, T. Boro: será que estamos aplicando a dose suficiente para o adequado desenvolvimento das plantas. *Informações Agronômicas*, v. 90, p. 1-5, 2000.
- YAMAUCHI, T.; HARA, T.; SONIDA, Y. Distribution of calcium and boron in the pectin fraction of tomato leaf cell wall. *Plant and Cell Physiology*, Rockville, v.27, p.729- 732, 1986.
- ZANÃO JÚNIOR, L. A., M. P. CARVALHO-ZANÃO, R. L. F. Fontes, J. A. S. Grossi. 2014. Production and quality of roses as affected by boron fertilization. *Revista Brasileira de Ciência do Solo.* 38:524-531.