

## CAPÍTULO 3

# A ESSENCIALIDADE DO BORO NA NUTRIÇÃO DO GIRASSOL E DE ANIMAIS

*Data de submissão 07/03/2023*

*Data de aceite: 03/04/2023*

### **Níbia Sales Damasceno Corioletti**

Universidade Estadual de Goiás – UEG –  
São Luís de Montes Belos-GO  
<http://lattes.cnpq.br/1946912026519162>

### **José Henrique da Silva Taveira**

Universidade Federal de Lavras – UFLA  
– Lavras-MG e Universidade Estadual de  
Goiás – UEG – Santa Helena de Goiás-  
GO  
<http://lattes.cnpq.br/1359434613878518>

### **Luciane Cristina Roswalka**

Universidade Federal de Lavras – UFLA  
– Lavras-MG e Universidade do Estado  
de Mato Grosso – UNEMAT – Nova  
Xavantina - MT  
<http://lattes.cnpq.br/5207564077071838>

### **Patrick Bezerra Fernandes**

Universidade Federal de Mato Grosso  
do Sul – UFMS- e Faculdade Unibrás do  
Pará – Ourilândia do Norte – PA  
<http://lattes.cnpq.br/6556460979927382>

### **Sidinei Corioletti**

Universidade do Estado de Mato Grosso –  
UNEMAT – Nova Xavantina – MT  
<http://lattes.cnpq.br/3809678492567994>

### **Robson Lopes Cardoso**

Universidade Estadual de Goiás – UEG-  
São Luís de Montes Belos – GO  
<http://lattes.cnpq.br/2587137837247549>

### **Claudia Peixoto Bueno**

Universidade Federal de Goiás- UFG –  
Goiânia-GO e Universidade Estadual de  
Goiás – UEG-  
São Luís de Montes Belos – GO  
<http://lattes.cnpq.br/0790654390056879>

### **Pedro Rogério Giongo**

Universidade de São Paulo USP/ESALQ  
e Universidade Estadual de Goiás –UEG-  
Santa Helena de Goiás – GO  
<http://lattes.cnpq.br/7722106627371401>

### **Danilo Corrêa Baião**

Universidade Estadual de Goiás- UEG- São  
Luís de Montes Belos – GO  
<http://lattes.cnpq.br/1227904241487342>

**RESUMO:** O girassol é uma planta anual produtora de grãos e forragem, frequentemente utilizada na alimentação animal em diversos países e que encontra-se em franco crescimento no Brasil. Constitui-se em uma das culturas mais sensíveis a privação do nutriente boro (B),

sendo o nutriente requerido em todas as etapas de desenvolvimento, principalmente, durante o estágio reprodutivo onde a demanda por B ocorre de maneira mais acentuada. Ao longo dos anos o B também tem sido relatado como micronutriente essencial para os animais. Concentrações de B dentro da faixa ideal, são benéficas para que processos metabólicos, fisiológicos e biológicos sejam desempenhados de forma eficiente. Nesta revisão de literatura, aborda-se sobre a dinâmica de funções, mecanismos de transporte e absorção de B, bem como a interação de boro no solo, resposta do girassol a aplicação de boro, deficiência, toxicidade, relação de boro com a salinidade, uso do girassol na alimentação animal e relação boro e nutrição animal.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Helianthus annuus* L., deficiência, fitotoxicidade.

## THE ESSENTIALITY OF BORON IN SUNFLOWER AND ANIMAL NUTRITION

**ABSTRACT:** Sunflower is an annual plant that produces grains and forage, widely used in animal feed in several countries and which is growing rapidly in Brazil. It constitutes one of the most sensitive cultures to B deprivation, being the nutrient required in all stages of development, mainly, during the reproductive stage where the demand for B occurs in a more accentuated way. Over the years boron has also been reported as an essential micronutrient for animals. Boron concentrations within the optimal range are rewarded so that metabolic, physiological and biological processes are efficiently marketed. This literature review addresses the dynamics of functions, control of B transport and absorption, as well as the interaction of boron in the soil, sunflower response to boron application, deficiency, toxicity, boron relationship with salinity, Use of sunflower in animal feed and relationship between boron and animal nutrition.

**KEYWORDS:** *Helianthus annuus* L., deficiency, phytotoxicity.

## 1 | INTRODUÇÃO

No Brasil, o girassol (*Helianthus annuus* L.) ocupa área de 39,3 mil hectares com produção de 40,8 mil toneladas, aproximadamente. Na safra 2021/2022, a maior região produtora está localizada na região Centro-Oeste, e apresentou produção de 36,4 milhões de toneladas, com média de produtividade de 998 kg ha<sup>-1</sup>, em 36,5 mil hectares de área plantada (CONAB, 2022).

O girassol, é uma cultura oleaginosa e, tornou-se conhecido mundialmente devido a qualidade nutricional do óleo (KOSTOVA, 2010), e quantidade tendo se apresentado como a quarta maior fonte de óleo vegetal comestível, juntamente com a soja (*Glycine max*), a palma forrageira (*Opuntia cochenillifer*) e a canola (*Brassica napu*) (FERNÁNDEZ-MARTINEZ et al., 2008).

Vale ressaltar que o valor da cultura se encontra além da produção de óleo vegetal comestível, pois vem sendo utilizado na nutrição humana (óleo, sementes e farinha das sementes) e animal (farelo e silagem; sementes para pássaros), para a produção de biodiesel, medicamentos e cosméticos, na apicultura, na floricultura e no paisagismo como planta ornamental e como adubação verde. Na alimentação animal, utilizado principalmente

na forma de farelo (MAHERI-SIS et al., 2011) e como forrageira para a produção de silagem (NURK et al., 2016), apresentando teores de proteína bruta e extrato etéreo superiores aos encontrados no milho, com produção de matéria seca entre 19 a 25% (MAFAHER et al., 2010).

Dentre os fatores que podem afetar o rendimento da cultura, atenção deve ser dada a nutrição, especialmente com boro (B) e o nitrogênio (N) considerados como elementos minerais essenciais para o crescimento do girassol (ALVES et al., 2017). O fornecimento de doses adequadas de B proporcionam o aumento da produção de aquênios, nos índices da extração do óleo, da atividade fotossintética e na viabilidade do grão de pólen (ALVES et al., 2017), sendo verificada a produção limitada pela baixa disponibilidade de B no solo (NETO et al., 2014).

A essencialidade do B vem sendo relatada também na nutrição animal influenciando o desenvolvimento e ou sanidade de frangos de corte (JIN et al., 2014) ovinos (SIZMAZ et al., 2017), ruminantes (KABU; CIVELEK, 2012; KABU; AKOSMAN, 2013; KABU et al., 2013), suínos (ARMSTRONG et al., 2000; ARMSTRONG; SPEARS, 2001; ARMSTRONG et al., 2002), e peixes (ROWE; ECKHERT 1999), sendo recomendada a suplementação dietética deste.

Diante do exposto, a presente revisão teve por objetivo a busca e compilação de informações sobre a resposta do girassol e animais ao suprimento nutricional de boro.

## 2 | REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Funções e mecanismos para absorção e transporte de boro

O B foi associado a vários processos fisiológicos e metabólicos que ocorrem nos vegetais desempenhando funções como metabolismo de N (nitrogênio) e P (fósforo), translocação de açúcares, metabolismo de carboidratos e absorção de ânions e cátions (AL-AMERY; HAMZA; FULLER, 2011); desenvolvimento do tubo polínico (DECHEN; NANCHTIGALL, 2006; BERTI et al., 2019); crescimento do grão de pólen (ASAD et al., 2001; BERTI et al., 2019); e, manutenção da estabilidade da parede celular, crescimento dos meristemas e na permeabilidade das membranas celulares, de forma que sua deficiência compromete fortemente o crescimento das plantas (LIMA et al., 2013).

O desenvolvimento do pólen e do tubo polínico está diretamente relacionado com a fecundação da flor, exercendo um papel importante nos processos de carboidratos, açúcares, RNA, DNA, paredes celulares, divisão celular e desenvolvimento de tecidos, além da qualidade do néctar com a finalidade de atrair insetos para a polinização (BERTI et al., 2019). A maior taxa de absorção de nutrientes pelo girassol foi observada logo após a formação do botão floral e se estendendo até o florescimento, fases de consumo de água elevado, de modo que tanto os nutrientes presentes no solo quanto o volume de água dentro do sistema devem suceder de forma equilibrada (CASTRO et al., 2006).

A absorção de B pelas plantas, ocorre a partir de três mecanismos distintos caracterizados pelo transporte passivo através da membrana plasmática por difusão simples, não envolvendo gastos metabólicos, que só acontece mediante a presença de altas quantidades do micronutriente na solução do solo; pelo transporte facilitado pelo canal de proteínas intrínsecas similar à nodulina 26 (NIPs b); e pelo transporte ativo de B por um transportador de alta qualidade de ácido bórico (BOR1) ativado em casos de baixa disponibilidade de B (GONZÁLEZ-FONTES et al., 2014; KHADEN; LAJAYER; GHORBANPOUR, 2020 ).

Logo após absorção pelas raízes, o B transportado pelo xilema à longa distância (NACHIANGMAI et al., 2004), torna-se imóvel quando atinge a parte aérea, propiciando o aparecimento dos primeiros sintomas de deficiência geralmente nos órgãos mais jovens das plantas (HARMANKAYA et al., 2008).

Cabe enfatizar que a deficiência de B pode ocasionar reduções na absorção de outros elementos e conseqüente instabilidade nas paredes celulares e estruturação das plantas. A deficiência de B conseqüentemente ocasiona a diminuição do teor de cálcio (Ca) na folha das plantas, afetando sua absorção e translocação (FAGERIA, 2001). O boro e o cálcio se demonstraram como elementos que exercem função importante na membrana plasmática, pela manutenção da integridade estrutural, promovendo resistência à parede celular, por meio da interação com polissacarídeos pécticos na matriz da parede celular, como foi verificado em plantas de cenoura (SINGH et al., 2012).

O ramnogalacturonan II (RGII), um polissacarídeo péctico complexo que segundo indícios encontra-se localizado nas paredes celulares primárias (BROWN; HENING, 1997; MATOH; KOBAYASHI, 1998), possui sequência glicosil, com dímero covalentemente reticulado através de um diéster de borato (MACDOUGAL; RING, 2003; O'NEILL et al., 2004). Supostamente, também ligado de forma covalente com homo-galacturonan (HG) na parede celular primária, pois, os dois se apresentaram em estruturas compostas por resíduos de  $\gamma$ -D-GalA ligados em 1,4 (ISHII; MATSUNAGA, 2001; REUHS et al., 2004). A interação de B com o RG II foi essencial para a reticulação das paredes celulares, pois, o complexo B RG-II forneceu expansão e estrutura às paredes celulares primárias e secundárias de *Arabidopsis* (RYDEN et al., 2003; KOHORN et al., 2006). Portanto, pequenas alterações estruturais nesse complexo pode prejudicar a estabilidade nas paredes celulares das plantas (GOLDBACH; WIMMER 2007).

A diminuição da reticulação de RG-II em células de tabaco cultivadas em suspensão com deficiência de B promoveu formação de paredes primárias inchadas (MATOH et al., 2000), possivelmente devido a responsabilidade da molécula de RG-II de criar elos de conexão para cadeias de polissacarídeos de pectina por meio da ligação B-diéster. Quando a concentração de B nessas regiões de ligação foram insuficientes, geralmente, as paredes celulares apresentaram baixo potencial de retenção de pectina (KOBAYASHI et al., 1997). E essa deficiência de B afetou os poros da parede celular, aumentando-os

de tamanho, induzindo a morte celular ao realizar etapa de alongamento (FLEISCHER; O'NEILL; EHWALD, 1999).

Na cultura do rabanete, aproximadamente 0,80% do boro existente na parede celular foi proveniente do RGII monomérico (KOBAYASHI et al., 1996).

Nos sistemas biológicos, BOR1 foi o primeiro transportador de efluxo de boro detectado, atuando sob condições de baixa disponibilidade de B e transportando-o do sistema radicular para a parte aérea de *Arabidopsis* (TAKANO et al., 2002). Nakagawa et al. (2007) sugeriram ou observaram que em plantas de arroz o gene Os BOR1 foi importante para captação eficiente de B pelas raízes e deslocamento no xilema.

Algumas proteínas do tipo aquaporina como NIP5;1 em condições de privação de B, promoveram o transporte de ácido bórico na membrana plasmática de *Arabidopsis* (TAKANO et al., 2006). Essas proteínas agiram como canais multifuncionais facilitando o fluxo passivo de moléculas de pequeno porte não carregadas, ou seja, neutras, como a água, o glicerol e a ureia (WALLACE et al., 2006), sendo localizadas nas células corticais, epidérmicas e endodérmicas da raiz. A proteína NIP6;1 foi relatada como um possível canal de ácido bórico envolvido no transporte preferencial de B do xilema para o floema, em tecidos jovens em crescimento de *Arabidopsis* (TANAKA et al., 2008). A NIP7;1 foi relacionada ao processo de microsporogênese (LI et al., 2011). Contudo, há evidências de colaboração de BOR1 com NIP5;1 e NIP6;1 (MIWA et al., 2013; CHORMOVA et al., 2014).

Diversas enzimas como glicose-6-fosfato desidrogenase, polifenoloxidase, fenilalanina amônia liase, ribonuclease e  $\gamma$ -glicosidase, comumente conectadas as paredes celulares e membranas, também apresentaram-se demasiadamente ativas quando liberadas sob condições de privação de B. No entanto, essa ação perante o cenário de deficiência de B, pode ocasionar consequências extremamente sérias nos processos metabólicos das plantas, acentuando a concentração fenólica e esgotando o RNA (SHKOLNIK, 1984; BLEVINS; LUKASZEWSKI, 1998).

Ademais, vale ressaltar que o boro também pode ser transportado via floema em quantidade suficiente para atender a demanda das plantas, como observado em maçãs, citros, nectarinas e *Arabidopsis* (WU et al., 2019). A mobilidade ocorreu devido a formação de complexos B-diol, fundamentais para remobilizar os nutrientes entre os tecidos vegetais (HU et al., 1997). Em citros, a fração translocada foi dependente do nível de B na planta e da síntese dos compostos resultantes da fotossíntese (DU et al., 2020).

## 2.2 Boro no solo

A turmalina é a principal fonte de B encontrada na maioria dos solos bem drenados, entretanto está fonte não se encontra prontamente disponível para as plantas (GUPTA, 1979). Durante o processo de intemperismo natural das rochas, o ácido bórico consiste na forma mais frequente de B liberada e assimilada pelas raízes das plantas (BARIYA; BAGTHARIA; PATEL, 2014), sendo portanto, a mais lixiviada em função de sua elevada

solubilidade (YAN et al., 2006; OZTURK et al., 2010).

Dentre os fatores que afetaram a disponibilidade de B no solo e na planta, destaca-se o pH do solo (GUPTA, 1993), que recomenda estar entre 5,5 e 7,5 para melhor ocorrer a absorção do nutriente (CAMACHO-CRISTÓBAL et al., 2008). Outros fatores, como teor de matéria orgânica (LIMA et al., 2007), textura do solo (ACUNÁ, 2005), umidade do solo (MATTIELLO et al., 2009), calagem (SALTALI et al., 2005) e água de irrigação em ecossistemas tropicais pode limitar a disponibilidade do elemento no solo e reduzir seu aproveitamento pelas plantas (FLORES et al., 2017).

A movimentação do B se dá por meio de fluxo de massa quando refere-se a transferência do solo até as raízes das plantas. Considerado um micronutriente altamente solúvel, em de solos com baixa fertilidade, o B foi naturalmente lixiviado e absorvido por óxidos de ferro, alumínio, manganês e matéria orgânica (BENTO et al, 2020).

Nos solos brasileiros, o micronutriente B ainda é tido como um fator limitante nas áreas agricultáveis, devido ao baixo teor natural do elemento no solo. Portanto sua correção é imprescindível para maximizar a produtividade nas diversas regiões do país (SANTINI et al., 2015). Cruz et al. (1987) observaram que em Latossolo Vermelho de textura média no Brasil, a elevação do pH de 4,2 a 5,6 promoveu alteração significativa na quantidade de B adsorvido. Estudos conduzidos na cultura do girassol (NETO et al., 2014) e em outras como o eucalipto (MATTIELLO et al., 2009), comprovaram a dependência de aplicação de B aos solos brasileiros.

### 2.3 Resposta do girassol a aplicação de boro

De modo geral, a cultura do girassol se apresenta muito responsiva a aplicação de B (SHORROCKS, 1997). O micronutriente é requerido nos estádios vegetativo e reprodutivo, se apresenta como imprescindível no florescimento e na formação da semente (AL-AMERY et al., 2011).

Mekki (2015) analisando o efeito da aplicação foliar de boro no rendimento e qualidade de algumas cultivares de girassol, relatou que a aplicação de B na dose de 600 ppm propiciou maior peso de sementes planta<sup>-1</sup> (g), diâmetro de cabeça (cm), número de sementes cabeça<sup>-1</sup>, peso de 1000 sementes (g), porcentagem de óleo e rendimento de óleo planta<sup>-1</sup> das cultivares Sakha-53 e Giza-102. Amery et al. (2011) e Tahir (2014) também obtiveram resultados no rendimento de sementes de girassol em relação a testemunha, após o aumento linear das doses de B nas concentrações de 200 mg L<sup>-1</sup> e 250 mg L<sup>-1</sup>.

Leandro et al. (2020) avaliando o desempenho agrônomico dos genótipos de girassol BRS 321 e BRS 323, submetidos a diferentes doses de adubação boratada (ácido bórico), na safra 2015/2016, observaram que nas variáveis altura de planta, diâmetro de caule, número de folhas, peso de 1000 sementes, produtividade de grãos e teor de óleo e produtividade, as respostas dos genótipos BRS 321 e 323 às doses de B se diferiram entre si. As melhores respostas de desenvolvimento vegetativo foi observada no genótipo

BRS 321 na dose inferior a  $1 \text{ kg ha}^{-1}$ , enquanto o maior rendimento de óleo e grãos para o mesmo genótipo foi alcançado na dose de  $4 \text{ kg ha}^{-1}$ . Contudo, para o genótipo BRS 323 foi constatado que as doses de B não surtiram efeito nas variáveis vegetativas, porém, obteve-se maior teor de óleo ao aplicar a dose de  $4 \text{ kg ha}^{-1}$ . Além disso, independente das doses de boro o genótipo BRS 323 demonstrou-se superior ao 321 em relação a produtividade de grãos e óleo. Indicando que a absorção do micronutriente possivelmente foi afetada pela diferença nas interações entre os genótipos da mesma espécie.

Oliveira Neto et al. (1999) constataram trabalhando com cinco doses de boro (0,0, 2,0, 4,0, 6,0, 8,0  $\text{kg ha}^{-1}$ ) em seis diferentes profundidades (0 a 5,5; 5 a 10; 10 a 15; 15 a 20; 20 a 30; 30 a 40 cm) em Latossolo Vermelho eutroférico, no município de Londrina, Paraná, Brasil que a adubação boratada em solos que apresentavam teor médio de matéria orgânica e textura argilosa pesada, com níveis de B acima de  $0,22 \text{ mg dm}^{-3}$  não surtiram efeito nos componentes de rendimento do girassol. Entretanto, a concentração do elemento B no solo obteve aumento em todas as aplicações, quando comparado aos níveis anteriores.

Cakmak et al. (1995) demonstraram o papel relevante de B na integridade da membrana plasmática em folhas de girassol. Na comparação, as folhas deficientes em B, o efluxo de K foi 35 vezes maior, seguido pelo de sacarose 45 vezes maior, e de fenólicos e aminoácidos 7 vezes maior que em folhas normais. Os autores postularam que os distúrbios nutricionais de B, além de promoverem a redução da eficácia da fertilização potássica, contribuíram para maior liberação de sacarose e aminoácidos que são compostos atrativos para patógenos e pragas. Corroborando com os resultados de Cakmak et al. (1995), Power e Woods (1997) constataram que a absorção de K foi influenciada pela presença de B, dado ao fato que na ausência de B a absorção de K praticamente não ocorreu e em níveis ideais de B a absorção de K aumentou. Além disso, verificaram que a deficiência de B pode ocasionar efeitos deletérios que desencadearam a deficiência de P, por essa razão diversas ocorrências de privação de B foram comumente confundidas ou relatadas como deficiência de P.

## 2.4 Deficiência

A cultura do girassol foi relatada como umas das mais sensíveis ao excesso e a deficiência por B (ASAD et al., 2003; TASSI et al., 2017).

Como principais sintomas da deficiência de boro no girassol foram relatados o aparecimento de manchas foliares na pré-floração e no início do florescimento, seguido pela necrose dos tecidos das regiões afetadas, que posteriormente provoca uma morte celular nos órgãos atingidos como a parte superior do caule e folhas, comprometendo o desenvolvimento do capítulo em floração (LIMA et al., 2013).

A deficiência de B, prejudicou o funcionamento das membranas dos cloroplastos, afetou o transporte de elétrons nos tilacóides, e resultou em uma fotoinibição (GOLDBACH

et al., 2007). Conseqüentemente, o crescimento do sistema radicular tornou-se reduzido, e as folhas jovens ficaram com aparência enrugada provocando diminuição na área foliar, que acarretou em abortamento floral através da queda do capítulo, causando perdas na produção (NETO et al., 2014).

A deficiência de boro afetou os processos vegetativos e reprodutivos DO GIRASSOL, por meio da morte dos meristemas, inibição da expansão celular, do estresse oxidativo e da redução da fertilidade (EL-SHINTHNAWY EL-SHINTINAWY, 1999 OU 2000).

Acredita-se que quando ocorre a oxidação do fenol, aumento da atividade da enzima polifenoloxidase e dos compostos fenólicos, há um forte indício fisiológico da deficiência de boro em espécies vegetais, principalmente nas culturas mais vulneráveis como o girassol (ÇAKMAK e ROMHELD, 1997; ALKAN TORUN et al., 2018).

Grande parte desses compostos fenólicos são fitotóxicos para o sistema radicular e órgãos jovens das plantas, independentemente da quantidade, uma vez que 1 mol foi capaz de desencadear efeitos deletérios (VAUGHAN; ORD, 1990). Marschner (1995) relatou que em extratos de folhas de girassol deficientes em B, a ação de polifenoloxidase aumentou de forma significativa por consequência da severidade dos sintomas decorrentes da deficiência, especialmente, sob condições de elevada intensidade de luz. Corroborando com Marschner (1995), Cakmak et al. (1995) demonstraram que em plantas de girassol o fenômeno de escurecimento dos tecidos foliares por deficiência de B foram mais atenuados mediante a aumento de alta intensidade da luz.

No Brasil, a deficiência por boro foi observada predominantemente nos solos do Cerrado, e a escassez deste elemento pode reduzir a produção do girassol em 60% (EMBRAPA CERRADO, 2002), comprometendo gravemente a produção de aquênios, constituindo-se em um fator limitante para atingir altas produtividades (CASTRO et al., 2006). Contudo, visando elevar ao máximo a potencialidade genética das cultivares, tornou-se estritamente necessária a verificação da verdadeira demanda de B (CAPONE et al., 2016).

As características físico-químicas do solo também podem interferir no manejo de adubação com B, observando-se que em solos de textura arenosa, um dos principais entraves foi a lixiviação (ROSOLEM; BÍSCARO, 2007). Por outro lado, nos solos argilosos com elevados teores de óxido de ferro e alumínio, a adsorção limitou o uso eficiente de B (FERREYRA; SILVA et al., 1999).

Yu et al. (2002) observaram que a privação de B durante uma hora em plantas de tabaco, praticamente, inibiu a atividade do canal de água ZmPiP convertido por GFP (proteína verde fluorescente) nas extremidades do sistema radicular.

Redondo-Nieto et al. (2001) e Camacho-Cristóbal et al (2008), a deficiência de boro provocou alterações no nível de expressão de genes pertencentes ao metabolismo de nitrogênio.

Ao longo dos anos, diversas estratégias ou técnicas vêm sendo utilizadas com a



finalidade de melhorar a absorção e disponibilidade de B para as plantas, destacando-se, a enxertia, a aplicação de nanofertilizantes, inoculação com microrganismos micorrízicos e rizobactérias, bem como métodos para alterar características radiculares (SHIREEN et al., 2018).

Recentemente descobriu-se que a aplicação do Potássio (K), além de atenuar o efeito inibitório decorrente do excesso de B nas plantas, diminuiu também a quantidade de folhas e proporcionou o equilíbrio de outros nutrientes (POGORZELSKI et al., 2020).

## 2.5 Fitotoxicidade

Os efeitos da fitotoxicidade de B foram encontrados em solos cujo teor se encontrava superior a  $1 \text{ mg kg}^{-1}$  (SCOTT & EATON, 1940). Concentrações excessivas de boro no solo ocasionaram estresse oxidativo na cultura do girassol (GIANSOLDATI et al., 2012; TASSI et al., 2011).

Para que o B atinja a sua finalidade, é necessário que se use quantidades pequenas. O B for utilizado de forma excessiva na couve-flor causou o derramamento do conteúdo celular e a peroxidação lipídica (degradação oxidativa dos lipídios), influenciando negativamente também as enzimas que assimilam o nitrogênio (FERNANDES et al., 2021).

Em plantas vasculares, a toxicidade de B provocou alterações nos níveis de clorofila e taxa fotossintética nas folhas, redução na divisão celular radicular, distúrbios metabólicos, diminuição dos teores de lignina e suberina (NABLE; BAÑUELOS; PAULL, 1997; REID, 2007). Krudnak et al. (2013) relataram que níveis de B acima de  $11,3 \text{ kg ha}^{-1}$  afetaram negativamente a sua absorção, a viabilidade polínica e a formação de sementes das variedades “S473” e “Pacific 77” de girassol.

Marcondes et al. (2019) avaliando a “disponibilidade de boro e características do girassol influenciadas pela adubação boratada” observaram que a aplicação de  $4,0 \text{ kg ha}^{-1}$  de B provocou toxicidade às plantas de girassol híbrido Aguará 4 acarretando em efeitos negativos de diâmetro de caule e massa seca da parte aérea.

Portanto, a toxicidade de boro é mais turbulenta de administrar em sistemas de produção agrícola do que sua ausência, que pode ser corrigida por meio da fertilização (TAKANO et al., 2008).

Hossain et al. (2005) e Turan, Taban e Taban (2009) estudaram a interação de B com outros nutrientes como Ca, S, Al, Si e Zn, objetivando o desenvolvimento de corretivos que promovessem o reestabelecimento de solos contaminados e mitigação de efeitos tóxicos ocasionados por B nas plantas.

## 2.6 Relação boro salinidade

A inibição do crescimento, é uma das principais respostas peculiares das plantas frente ao estresse salino (GHOULAM et al., 2002). A salinidade, afeta negativamente diversos processos de ordem fisiológica e bioquímica, foi relatado por Park et al. (2009) que elevadas concentrações do íon sódio comprometeu o processo fotossintético, em função

de causar a degradação da enzima clorofilase em plantas de (*Brassica napus L.*).

El-Kader et al. (2006) observaram limitação no crescimento do girassol em relação aos parâmetros de altura de planta, diâmetro do caule, número de folhas, índice de área foliar e diâmetro do disco, em solos com diferentes níveis de salinidade. Resultados semelhantes foram obtidos por Santos et al., (1999).

De acordo com um estudo realizado na Turquia por Alkan Torun et al. (2018) sobre “a determinação do efeito de aplicações de boro em danos de sal em girassol”, verificaram que a produção de matéria seca da parte verde dos genótipos de girassol Sycadix e Imeria diminui com a aplicação de 50 mm de NaCl em todas as condições de doses de B e aumentaram o rendimento em relação ao controle. Este sintoma do estresse salino é frequentemente associado a redução da integridade da membrana e deterioração de sua permeabilidade, que são gravemente prejudicadas pelas condições salinas (MAHAJAN; TUTEJA, 2005). Estudos como de Zahra et al. (2010) e Tuhra (2014) também evidenciaram a redução do rendimento da matéria seca da parte verde em consequência de doses de cloreto de sódio.

Os girassóis podem tolerar a salinidade e crescer, em solos que possuem índices salinos baixos e médios. Adotando diferentes estratégias para contornar os efeitos da salinidade (SKORIC, 2012). E dentre essas estratégias, uma opção que vem sendo constantemente adotada é o manejo de nutrientes. Em condições de estresse, os nutrientes vegetais ajudam as culturas a melhorar seu desempenho, rendimento e tolerância, por meio da ativação de diversos mecanismos vegetais, entre os quais destacam-se, o aumento da atividade fotossintética, redução na absorção de metais pesados, proteção estrutural de proteínas, reparo do DNA, ativação de genes relacionados a defesa contra o estresse, biossíntese de enzimas antioxidantes, osmoprotetores entre outros (KUMARI et al., 2022).

Zhen et al. (2019) revelaram que o excesso de B aliado a outros fatores estressores como a salinidade e a seca diminuiu drasticamente a biomassa vegetal de *Puccinellia tenuiflora*. No entanto, a aplicação conjunta e separada de nutrientes como N e P demonstrou ajudar as plantas a superar os sintomas de toxicidade de B, devido forçar a fotossíntese e diminuir a relação  $K^+/Na^+$ . Reduzindo assim a concentração de B tanto na parte aérea quanto na raiz e aumentando significativamente a produção de matéria seca. Os achados desse estudo propuseram que os fertilizantes N e P podem ser utilizados para mitigar os efeitos da toxicidade de B em *P. tenuiflora* quando submetida a condições de estresse simultâneo com sal e seca tornando-se uma alternativa ambientalmente econômica para remediação de solos contaminados com B.

Surpreendentemente, estudos desenvolvidos em solos salinos demonstraram que o aumento do suprimento de B e Ca gerou maior tolerância a presença de NaCl pelas culturas, bem como influenciou de forma positiva a produção e o rendimento perante tais condições (EL-HAMDAOUI et al., 2003; BONILLA et al., 2004).

## 2.7 Uso do girassol na alimentação animal

O girassol é empregado na alimentação animal, principalmente, na forma de farelo (MAHERI-SIS et al., 2011) e como forrageira para a produção de silagem (NURK et al., 2016). Possui, teor de proteína bruta e extrato etéreo em quantidade superior às encontradas no milho, apresentando ainda produção de matéria seca entre 19 a 25% (MAFAHER et al., 2010).

Musharaf (1991) em experimento sobre “efeito de níveis graduados de farelo e semente de girassol em dietas para frangos de corte”, observou que o farelo de semente de girassol rico em fibras pode ser incluído na dieta até 250 g kg<sup>-1</sup>, desde que seja suplementado com os aminoácidos metionina e lisina. Furlan et al. (2002), recomendaram que em rações isoenergéticas e isoaminoacídicas para metionina, cistina e lisina digestíveis objetivando a alimentação de frangos de corte, a proteína do farelo de soja pode ser substituída pela proteína do farelo de girassol em até 30%.

Silva et al. (2002) revelaram que a inclusão de 21% de farelo de girassol na ração de suínos em crescimento e terminação não afetou o desempenho e qualidade da carcaça. Já, Louvandini et al. (2007) verificaram que para ovinos Santa Inês em terminação a substituição de 100 e de 50% do farelo de soja pelo de girassol no concentrado promoveu redução no ritmo de crescimento e características de carcaça.

Sharma et al. (1986) realizaram experimento com bezerros da raça holandesa e sugeriram que 10% de sementes de girassol inteira ou 12 a 18% de sementes de canola podem ser introduzidas na dieta inicial desses animais.

Nos últimos anos a cultura do girassol vêm ganhando destaque e sendo introduzida nos sistemas de rotação e sucessão de culturas como opção viável para produção de forragem (SOUZA; ARIAS; GOBETTI, 2018). Cruvinel et al. (2017) analisando o “perfil fermentativo e valor nutricional da silagem de girassol com cultivares de *Urochloa brizantha* na safrinha” observaram que a silagem de girassol propiciou maior valor de pH, lignina e extrato etéreo (EE), no entanto, apresentaram menor teor de matéria seca (MS) e digestibilidade *in vitro* de matéria seca (DIVMS). Entretanto, os mesmos autores verificaram que as silagens com adição de cultivares de *Urochloa brizantha* demonstraram melhorar o padrão fermentativo e teor nutricional das silagens, agregando maior concentração de proteína bruta e menor teor de fibra em detergente ácido (FDA) e lignina. Assim sendo, recomendaram sua utilização para processos de ensilagem com girassol.

Tomich et al. (2004) realizaram experimento com treze cultivares híbridas de girassol (AS243, AS603, Contiflor 3, M737, M742, V200, Cargill 11, Contiflor 7, DK180, M734, M738, Rumbosol 90 e Rumbosol 91) amostradas como forragem original e ensiladas em silos de laboratório, após 56 dias de fermentação os silos foram abertos, as silagens retiradas e homogeneizadas individualmente. Em seguida após análises bromatológicas subsequentes foi observado que as silagens possuíam elevado valor de pH, teores altos

de FDA, lignina e DIVMS média em torno de 49,8%. Os resultados demonstraram a necessidade de associação com outros alimentos volumosos, devido a elevada presença de EE, que se apresenta como um fator limitante para a utilização de silagens desses materiais na dieta de bovinos e não recomendaram seu emprego de forma isolada, ou seja, como único volumoso.

## 2.8 Relação boro e nutrição animal

Em relação a influência do nutriente B na saúde animal, estudos mostraram que a suplementação dietética de boro em suínos, aves e roedores propiciou resistência óssea (HUNT; NIELSEN, 1988; ARMSTRONG et al., 2002; GALLARDO-WILLIAMS et al., 2003; GHANIZADEH et al., 2014). Além disso, também há evidências que o ácido bórico possa desempenhar papel protetor, impedindo danos oxidativos ao DNA, em casos de contaminação por aflatoxina B1 (GUINDON; BEDARD; MASSEY, 2007; TURKEZ et al., 2010).

A disponibilidade limitada de B em animais, afeta o metabolismo mineral, absorção de carboidratos, consumo de energia, desenvolvimento embrionário e inúmeras atividades enzimáticas (ULUISIK; KARAKAYA; KOC, 2018). Foi relatado também, que elevadas quantidades de B pode prejudicar o desenvolvimento de órgãos do sistema imunológico de aves e roedores (HU et al., 2014).

Rowe e Eckhert (1999) constataram que para o peixe-zebra (*Danio rerio*) o boro é decisivo (essencial) durante a fase inicial de desenvolvimento, uma vez que sua deficiência pode comprometer o processo de acasalamento.

Por outro lado, em ruminantes e suínos foi evidenciado que o boro desempenha papel importante no processo reprodutivo (ARMSTRONG et al., 2002; KABU; CIVELEK, 2012; KABU; AKOSMAN, 2013; KABU et al., 2013).

Há também estudos que demonstraram que o boro possa estar relacionado à produção de hormônios esteroides, intervindo no metabolismo de cálcio, magnésio, vitamina D e micronutrientes (PALACIOS, 2006; NIELSEN, 2014).

Descobriu-se também, que B induziu o crescimento embrionário em trutas (ECKERT, 1998).

## 3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O suprimento adequado de boro tanto via solo como fertilização é essencial para assegurar um crescimento e desenvolvimento ótimo para a cultura do girassol. O boro desempenha papel importante na integridade das paredes celulares, manutenção da membrana plasmática, divisão celular, crescimento de tecidos meristemáticos, germinação do grão de pólen, fotossíntese, metabolismo antioxidante, metabolismo ou incorporação de cálcio na parede celular, metabolismo de nitrogênio, metabolismo de ácidos nucleicos e

atividade das enzimas. Portanto, a deficiência de B prejudica diversos processos fisiológicos e metabólicos, levando a alterações no rendimento e qualidade de plantas de girassol.

Por outro lado, a toxicidade de B também é vista como um fator relevante e requer atenção especial, dada a circunstância que a faixa entre deficiência e toxicidade é muito estreita. Solos ricos em B podem se tornar tóxicos, mesmo que em menor predominância do que nos solos deficientes, caso a aplicação de B ocorra de forma desordenada. Já, em regiões áridas do mundo, teores tóxicos de B vêm sendo relacionados a problemas de salinidade, devido ao acúmulo excessivo do nutriente na solução do solo por meio das águas de irrigação.

No que tange a nutrição animal e seus benefícios, mais estudos necessitam ser realizados para melhor investigar a influência da suplementação com boro, uma vez que a literatura é limitada e ainda existem grandes lacunas sobre a necessidade dietética de cada espécie em seus diversos estágios de ciclo de produção.

## REFERÊNCIAS

ABD EL-KADER, A. A.; MOHAMEDIN, A. A. M.; AHMED, M. K. A. Growth and yield of sunflower as affected by different salt affected soils. **International Journal of Agriculture & Biology** v. 8, p. 583-587, 2006.

ACUÑA, A. M. Los suelos como fuente de boro para las plantas. **Revista UDO Agrícola**, Oriente – Venezuela, v.5, n.1, p.10-26, 2005.

AL-AMERY, M. M.; HAMZA, J. H.; FULLER, M. P. Effect of boron foliar application on reproductive growth of sunflower (*Helianthus annuus* L.). **International Journal of Agronomy**, v.2011, p.1-5, 2011.

ALKAN TORUN, A.; DUMUŞ, E.; ERDEM, H.; TOLAY, İ. Ayrıççeğinde tuz zararını üzerine bor uygulamalarının etkisinin belirlenmesi. **Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi**, v. 6, n. 12, p. 1781-1788, 2018.

ALVES, L. S., STARK, E. M. L. M., ZONTA, E., FERNANDES, M. S., SANTOS, A. M. D.; SOUZA, S. R. Different nitrogen and boron levels influence the grain production and oil content of a sunflower cultivar. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 39, n. 1, p. 59- 66, 2017.

ARMSTRONG, T. A.; FLOWERS, W. L., SPEARS, J. W., & NIELSENT, F. H. Long-term effects of boron supplementation on reproductive characteristics and bone mechanical properties in gilts. **Journal of animal science**, v. 80, n. 1, p. 154-161, 2002.

ARMSTRONG, T. A.; SPEARS, J. W. Effect of dietary boron on growth performance, calcium and phosphorus metabolism, and bone mechanical properties in growing barrows. **Journal of animal science**, v. 79, n. 12, p. 3120-3127, 2001.

ARMSTRONG, TODD A.; SPEARS, J. W.; CRENSHAW, T. D.; NIELSEN, F. Boron supplementation of a semipurified diet for weanling pigs improves feed efficiency and bone strength characteristics and alters plasma lipid metabolites. **The Journal of nutrition**, v. 130, n. 10, p. 2575-2581, 2000.

- ASAD, A.; BLAMEY, F. P. C.; EDWARDS, D. G. Dry matter production and boron concentrations of vegetative and reproductive tissues of canola and sunflower plants grown in nutrient solution. **Plant and soil**, v. 243, n. 2, p. 243-252, 2002.
- BARIYA, H.; BAGTHARIA, S.; PATEL, A. Boron: A promising nutrient for increasing growth and yield of plants. In: **Nutrient use efficiency in plants**. Springer, Cham, 2014. p. 153-170.
- BARRANCO, W. T.; KIM, D. H.; STELLA JR, S. L.; ECKHERT, C. D. Boric acid inhibits stored Ca<sup>2+</sup> release in DU-145 prostate cancer cells. **Cell biology and toxicology**, v. 25, n. 4, p. 309-320, 2009.
- BENTO, K. F.; CARNIEL, E.; RAIUMUNDO, B. C.; ROCHA, R. R.; SCHONINGER, E. L. Availability of boron in clayey and sandy soil due to the application of different borated sources in soybean cultivation. **Scientific Electronic Archives**, v. 13, n. 11, p. 51-55, 2020.
- BERTI, M. P. S.; SÁ, M. E.; BENETT, C. G. S.; ROCHA, E. C.; BERTI, C. L. F. Doses e épocas de aplicação de boro na qualidade de sementes de soja. **Cultura Agronômica**, Ilha Solteira, v. 28, n.2, p.123-137, 2019.
- BLEVINS, D. G.; LUKASZEWSKI, K. M. Boron in plant structure and function. **Annual review of plant biology**, v. 49, n. 1, p. 481-500, 1998.
- BONILLA, I.; EL-HAMDAOUI, A.; BOLAÑOS, L. Boron and calcium increase *Pisum sativum* seed germination and seedling development under salt stress. **Plant and soil**, v. 267, n. 1, p. 97-107, 2004.
- BOZKURT, M.; KÜÇÜKYILMAZ, K. An evaluation on the potential role of boron in poultry nutrition. Part I: Production performance. **World's Poultry Science Journal**, v. 71, n. 2, p. 327-338, 2015.
- BROWN, P. H.; HU, H. Does boron play only a structural role in the growing tissues of higher plants?. In: **Plant nutrition for sustainable food production and environment**. Springer, Dordrecht, 1997. p. 63-67.
- CAKMAK, I.; KURZ, H.; MARSCHNER, H. Short-term effects of boron, germanium and high light intensity on membrane permeability in boron deficient leaves of sunflower. **Physiologia Plantarum**, v. 95, n. 1, p. 11-18, 1995.
- CAKMAK, I.; RÖMHELD, V. Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants. **Plant and Soil**, v. 193, n. 1, p. 71-83, 1997.
- CAMACHO-CRISTÓBAL, J. J.; HERRERA-RODRÍGUEZ, M. B.; BEATO, V. M.; REXACH, J.; NAVARRO-GOCHICOA, M. T.; MALDONADO, J. M.; GONZÁLEZ-FONTES, A. The expression of several cell wall-related genes in *Arabidopsis* roots is down-regulated under boron deficiency. **Environmental and Experimental Botany**, v. 63, n. 1-3, p. 351-358, 2008.
- CAPONE, A.; DORIO, A. S.; MENEGON, M. Z.; FIDELIS, R. R.; BARROS, H. B. Efeito de épocas de semeadura de girassol na safrinha, em sucessão à soja no Cerrado Tocantinense. **Revista Ceres**, v. 59, n. 1, p. 102-109, 2016.
- CASTRO, C.; FARIAS, J. B. R. **Ecofisiologia do girassol**. In: LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHNTI, A. M.; CASTRO, C. Girassol no Brasil. 1 ed. Londrina: **EMBRAPA Soja**, 2005. Cap. 9, p. 317-365.

CASTRO, C.; MOREIRA, A.; DE OLIVEIRA, R. F.; DECHEN, A. R. Boro e estresse hídrico na produção do girassol. **Embrapa Soja-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2006. pg. 2014-220.

CHORMOVA, D.; MESSENGER, D. J.; FRY, S. C. Boron bridging of rhamnogalacturonan-II, monitored by gel electrophoresis, occurs during polysaccharide synthesis and secretion but not post-secretion. **The Plant Journal**, v. 77, n. 4, p. 534-546, 2014.

CONAB. **Boletim da safra de grãos/Tabela de dados – Produção e balanço de oferta e demanda de grãos**. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/gaos/boletim-da-safra-de-gaos?limitstart=0>> Acesso 28. ago. 2022.

CRUVINEL, W. S.; COSTA, K. A. D. P.; TEIXEIRA, D. A. A.; DA SILVA, J. T.; EPIFANIO, P. S.; COSTA, P. H. C. P.; FERNANDES, P. B. Fermentation profile and nutritional value of sunflower silage with *Urochloa brizantha* cultivars in the off-season. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 18, p. 249-259, 2017.

CRUZ, M. C. P.; NAKAMURA, A. M.; FERREIRA, M. E. Adsorção de boro pelo solo: efeito da concentração e o pH. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 22, p. 621-626, 1987.

DANNEL, F.; PFEFFER, H.; RÖMHELD, V. Compartmentation of boron in roots and leaves of sunflower as affected by boron supply. **Journal of Plant Physiology**, v. 153, n. 5-6, p. 615-622, 1998.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. F. (ed) *Nutrição de Plantas*. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 327-354, 2006.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. **Micronutrientes**. In: FERNANDES, M. F. (ed). *Nutrição Mineral de Plantas*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.327-354, 2006.

DU, W.; PAN, Z. Y.; HUSSAIN, S. B.; HAN, Z. X.; PENG, S. A.; LIU, Y. Z. Foliar supplied boron can be transported to roots as a boron-sucrose complex via phloem in citrus trees. **Frontiers in plant science**, v. 11, p. 250, 2020.

EATON, S. V. Effects of boron deficiency and excess on plants. **Plant physiology**, v. 15, n. 1, p. 95, 1940.

ECKHERT, C. D. Boron stimulates embryonic trout growth. **The Journal of nutrition**, v. 128, n. 12, p. 2488-2493, 1998.

EL-HAMDAOUI, A.; REDONDO-NIETO, M.; RIVILLA, R.; BONILLA, I.; BOLANOS, L. Effects of boron and calcium nutrition on the establishment of the *Rhizobium leguminosarum*–pea (*Pisum sativum*) symbiosis and nodule development under salt stress. **Plant, Cell & Environment**, v. 26, n. 7, p. 1003-1011, 2003.

EL-SHINTHAWY, F. Structural and functional damage caused by boron deficiency in sunflower leaves. **Photosynthetica**, v. 36, n. 4, p. 565-573, 1999.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Girassol como Alternativa para o Sistema de Produção do Cerrado*, Brasília: **Embrapa Cerrado**. 2002.

FAGERIA, V. D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, Abingdon, v. 24, p. 1269-1290, 2001.

FERNANDES, S. O.; ZANUZO, M. R.; BONETTI, J. A.; LANGE, A.; MACHADO, R. A. F. Adubação de nitrogênio e boro na cultura da couve-flor. Scientific Electronic Archives Issue ID:Sci. Elec. Arch. Vol. 14. February 2021.

FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, J. M.; VELASCO, L.; PÉREZ-VICH, B. Progress in the genetic modification of sunflower oil quality. In: **Proceedings of the 16th International Sunflower Conference**. 2004. p. 1-14.

FERREYRA, H. F. F.; SILVA, F. R. Frações de Boro e índices de disponibilidade em solos do estado do Ceara. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 227-236, 1999.

FLEISCHER, A.; O'NEILL, M. A.; EHWALD, R. The pore size of non-graminaceous plant cell walls is rapidly decreased by borate ester cross-linking of the pectic polysaccharide rhamnogalacturonan II. **Plant physiology**, v. 121, n. 3, p. 829-838, 1999.

FLORES, R. A.; SILVA, R. G. D.; CUNHA, P. P. D.; DAMIN, V.; ABDALA, K. D. O.; ARRUDA, E. M.; RODRIGUES, R. A.; MARANHÃO, D. D. C. Economic viability of *Phaseolus vulgaris* (BRS Estilo) production in irrigated system in a function of application of leaf boron. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science**, v. 67, n. 8, p. 697-704, 2017.

FORT, D. J.; PROPST, T. L.; STOVER, E. L.; STRONG, P. L.; MURRAY, F. J. Adverse reproductive and developmental effects in *Xenopus* from insufficient boron. **Biological trace element research**, v. 66, n. 1, p. 237-259, 1998.

FURLAN, A. C.; MANTOVANI, C.; MURAKAMI, A. E.; MOREIRA, I.; SCAPINELLO, C.; MARTINS, E. N. Utilização do farelo de girassol na alimentação de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, p. 158-164, 2001.

FURLANI, A. M. C.; TANAKA, R. T.; TARALLO, M.; VERDIAL M. F.; MASCARENHAS, H. A. A. Exigência a boro em cultivares de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:929-937, 2001.

FURLANI, A. M. C.; ÚNGARO, M. R. G.; QUAGGIO, J. A. Comportamento diferencial de genótipos de girassol: Eficiência na absorção e uso de boro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 187-194, 1990.

GALLARDO-WILLIAMS, M.; MARONPOT, R. R.; TURNER, C. H.; JOHNSON, C. S.; HARRIS, M. W.; JAYO, M. J.; CHAPIN, R. E. Effects of boric acid supplementation on bone histomorphometry, metabolism, and biomechanical properties in aged female F-344 rats. **Biological trace element research**, v. 93, n. 1, p. 155-169, 2003.

GHANIZADEH, G.; BABAEI, M., NAGHII, M. R., MOFID, M., TORKAMAN, G., & HEDAYATI, M. The effect of supplementation of calcium, vitamin D, boron, and increased fluoride intake on bone mechanical properties and metabolic hormones in rat. **Toxicology and industrial health**, v. 30, n. 3, p. 211-217, 2014.

GHOULAM, C.; FOURSAY, A.; FARES, K. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. **Environmental and experimental Botany**, v. 47, n. 1, p. 39-50, 2002.



GIANSOLDATI, V.; TASSI, E.; MORELLI, E.; GABELLIERI, E.; PEDRON, F.; BARBAFIERI, M. 2012. Nitrogen fertilizer improve boron phytoextraction by *Brassica juncea* grown in contaminated sediments and alleviates plant stress. **Chemosphere**, v. 87, n. 10, p. 1119-1125, 2012.

GOLDBACH, H. E.; HUANG, L.; WIMMER, M. A. Boron functions in plants and animals: recent advances in boron research and open questions. **Advances in plant and animal boron nutrition**, p. 3-25, 2007.

GOLDBACH, H. E.; WIMMER, M. A. Boron in plants and animals: is there a role beyond cell-wall structure?. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 170, n. 1, p. 39-48, 2007.

GOLDBERG, S.; GLAUBIG, R. A. Boron adsorption on aluminum and iron oxide minerals. **Soil Science Society of America Journal**, v. 49, n. 6, p. 1374-1379, 1985.

GUINDON, K. A.; BEDARD, L. L.; MASSEY, T. E. Elevation of 8-hydroxydeoxyguanosine in DNA from isolated mouse lung cells following in vivo treatment with aflatoxin B1. **Toxicological Sciences**, v. 98, n. 1, p. 57-62, 2007.

GUPTA, U.C. Boron and its role in crop production. Boca Raton: CRC Press, 1993. 236p.

HARMANKAYA, M.; ÖNDER, M.; HAMURCU, M.; CEYHAN, E.; GEZGIN, S. Response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars to foliar and soil applied boron and boron-deficient calcareous soils. **African Journal of Biotechnology**, Lagos, v. 7, n. 18, p. 3275-3282, 2008.

HU, H.; PENN, S. G.; LEBRILLA, C. B.; BROWN, P. H. Isolation and characterization of soluble boron complexes in higher plants (the mechanism of phloem mobility of boron). **Plant Physiology**, v. 113, n. 2, p. 649-655, 1997.

HU, Q.; LI, S.; QIAO, E.; TANG, Z.; JIN, E.; JIN, G.; GU, Y. Effects of boron on structure and antioxidative activities of spleen in rats. **Biological trace element research**, v. 158, n. 1, p. 73-80, 2014.

HUNT, C. D. Dietary boron: evidence for essentiality and homeostatic control in humans and animals. In: **Advances in plant and animal boron nutrition**. Springer, Dordrecht, p. 251-267. 2007.

HUNT, C. D.; NIELSEN, F. H. Dietary boron affects bone calcification in magnesium and cholecalciferol deficient chicks. In: **Trace Elements in Man and Animals 6**. Springer, Boston, MA, 1988. p. 275-276.

HUNT, Curtiss D. Dietary boron: progress in establishing essential roles in human physiology. **Journal of trace elements in medicine and biology**, v. 26, n. 2-3, p. 157-160, 2012.

ISHII, T.; MATSUNAGA, T. Pectic polysaccharide rhamnogalacturonan II is covalently linked to homogalacturonan. **Phytochemistry**, v. 57, n. 6, p. 969-974, 2001.

JIN, E.; GU, Y.; WANG, J.; JIN, G.; LI, S. Effect of supplementation of drinking water with different levels of boron on performance and immune organ parameters of broilers. **Italian Journal of Animal Science**, v. 13, n. 2, p. 3152, 2014.

KABU, M.; AKOSMAN, M. S. Biological effects of boron. **Reviews of environmental contamination and toxicology**, p. 57-75, 2013.

KABU, M.; BIRDANE, F. M.; CIVELEK, T.; UYARLAR, C. Effects of boron administration on serum Ca, Mg and P for peripartum cows. **Archives Animal Breeding**. 56, 733–741. 2013.

KABU, M.; CIVELEK, T. Effects of propylene glycol, methionine and sodium borate on metabolic profile in dairy cattle during periparturient period. **Revue de Medecine Veterinaire**, v. 163, n. 8, p. 419, 2012.

KABU, M.; UYARLAR, C. The effects of borax on milk yield and selected metabolic parameters in Austrian Simmental (Fleckvieh) cows. **Vet Med**, v. 60, n. 4, p. 175-180, 2015.

KOBAYASHI, M.; MATOH, T.; AZUMA, J. I. Two chains of rhamnogalacturonan II are cross-linked by borate-diol ester bonds in higher plant cell walls. **Plant Physiology**, v. 110, n. 3, p. 1017-1020, 1996.

KOBAYASHI, M.; OHNO, K.; MATOH, T. Boron nutrition of cultured tobacco BY-2 cells. II. Characterization of the boron-polysaccharide complex. **Plant and cell physiology**, v. 38, n. 6, p. 676-683, 1997.

KOHORN, B. D.; KOBAYASHI, M., JOHANSEN, S., FRIEDMAN, H. P., FISCHER, A., & BYERS, N. Wall-associated kinase 1 (WAK1) is crosslinked in endomembranes, and transport to the cell surface requires correct cell-wall synthesis. **Journal of cell science**, v. 119, n. 11, p. 2282-2290, 2006.

KOSTOVA, B. Prospect for development of sunflower production in Bulgaria. **Trakia journal of sciences**, v. 8, n. Suppl 3, p. 215, 2010.

KRUDNAK, A.; WONPRASAI, S.; MACHIKOWA, T. Boron affects pollen viability and seed set in sunflowers. **African Journal of Agricultural Research**, v. 8, n. 2, p. 162- 166, 2013.

KUMARI, V. V.; BANERJEE, P.; VERMA, V. C.; SUKUMARAN, S.; CHANDRAN, M. A. S.; GOPINATH, K. A.; VENKATESH, G.; YADAV, S. K.; SINGH, V. K.; AWASTHI, N. K. Plant Nutrition: An Effective Way to Alleviate Abiotic Stress in Agricultural Crops. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 15, p. 8519, 2022.

LEANDRO, R. I.; Menezes, C. W. G.; Gomes Filho, A.; Gomes, P. L.; Pacheco, D. D.; CARVALHO, C. G. P Sunflower subjected to boron doses in the semi-arid from Northern Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 3, p. 1-7, 2020.

LI, T.; CHOI, W. G.; WALLACE, I. S.; BAUDRY, J.; ROBERTS, D. M. Arabidopsis thaliana NIP7; 1: an anther-specific boric acid transporter of the aquaporin superfamily regulated by an unusual tyrosine in helix 2 of the transport pore. **Biochemistry**, v. 50, n. 31, p. 6633-6641, 2011.

LIMA, A. D.; VIANA, T. V. A.; AZEVEDO, B. M.; MARINHO, A. B.; DUARTE, J. M. L. Adubação borácica na cultura do girassol. **Revista Agro@ambiente On-line**, Boa Vista, v. 7, n. 3, p.269-276, 2013.

LIMA, J. C. P. S.; NASCIMENTO, C. W. A. D.; LIMA, J. G. D. C.; LIRA JUNIOR, M. D. A. Critical and toxic boron levels in corn plants and soils of Pernambuco, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 73-79, 2007.

- LOOMIS, W. D.; DURST, R. W. Chemistry and biology of boron. **BioFactors (Oxford, England)**, v. 3, n. 4, p. 229-239, 1992.
- LOUVANDINI, H.; NUNES, G. A.; GARCIA, J. A. S.; MCMANUS, C.; COSTA, D. M.; ARAÚJO, S. C. D. Desempenho, características de carcaça e constituintes corporais de ovinos Santa Inês alimentados com farelo de girassol em substituição ao farelo de soja na dieta. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 603-609, 2007.
- MACDOUGALL, A. J.; RING, S. G. The hydration behaviour of pectin networks and plant cell walls. In: **Advances in pectin and pectinase research**. Springer, Dordrecht, 2003. p. 123-135.
- MAFAKHER, E.; MESKARBASHEE, M.; HASSIBI, P.; MASHAYEKHI, M. R. Study of chemical composition and quality characteristics of corn, sunflower and corn sunflower mixture silages. **Asian Journal of Animal and Veterinary Advances**, v. 5, n. 2, p. 175-179, 2010.
- MAHAJAN, S.; TUTEJA, N. Cold, salinity and drought stresses: an overview. **Archives of biochemistry and biophysics**, v. 444, n. 2, p. 139-158, 2005.
- MAHERI-SIS, N.; BARADARAN-HASANZADEH, A. R.; SALAMATDOUST, R.; KHOSRAVIFAR, O.; AGAJANZADEH-GOLSHANI, A.; DOLGARI-SHARAF, J. Effect of microwave irradiation on nutritive value of sunflower meal for ruminants using in vitro gas production technique. **The Journal of Animal & Plant Sciences**, v. 21, n. 2, p. 126-131, 2011.
- MARCONDES, D. R. P.; MELO, S. P.; ALVES, L. V. F. V.; MORAES, M. F. Disponibilidade de boro e características do girassol influenciadas pela adubação boratada. **Revista Agrária Acadêmica**, v. 2, n. 4, p.52-62, 2019.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MARSCHNER, Horst (Ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. Academic press, 2011.
- MATOH, T.; KOBAYASHI, M. Boron and calcium, essential inorganic constituents of pectic polysaccharides in higher plant cell walls. **Journal of Plant Research**, v. 111, n. 1, p. 179-190, 1998.
- MATOH, T.; TAKASAKI, M.; KOBAYASHI, M.; TAKABE, K. Boron nutrition of cultured tobacco BY-2 cells. III. Characterization of the boron-rhamnogalacturonan II complex in cells acclimated to low levels of boron. **Plant and cell physiology**, v. 41, n. 3, p. 363-366, 2000.
- MATTIELLO, E. M.; RUIZ, H. A.; SILVA, I. R. D.; BARROS, N. F. D.; NEVES, J. C. L.; BEHLING, M. Transporte de boro no solo e sua absorção por eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1281-1290, 2009.
- MEKKI, B. E. Effect of boron foliar application on yield and quality of some sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars. **Journal of Agricultural Science Technology**, v. 5, p. 5.309-316, 2015.
- MIWA, K.; WAKUTA, S.; TAKADA, S.; IDE, K.; TAKANO, J.; NAITO, S.; OMORI, H.; MATSUNAGA, T.; FUJIWARA, T. Roles of BOR2, a boron exporter, in cross linking of rhamnogalacturonan II and root elongation under boron limitation in Arabidopsis. **Plant physiology**, v. 163, n. 4, p. 1699-1709, 2013.

- MUSHARAF, N. A. Effect of graded levels of sunflower meal in broiler diets. **Animal Feed Science and Technology**, v.33, n.1-2, p.129-137, 1991.
- NABLE, R. O.; BAÑUELOS, G. S.; PAULL, J. G. Boron toxicity. **Plant and soil**, v. 193, n. 1, p. 181-198, 1997.
- NACHIANGMAI, D., DELL, B., BELL, R., HUANG, L.; RERKASEM, B. Enhanced boron transport into the ear of wheat as a mechanism for boron efficiency. **Plant and Soil**, v.264, n.1-2, p.141-147, 2004.
- NAKAGAWA, Y.; HANAOKA, H.; KOBAYASHI, M.; MIYOSHI, K.; MIWA, K.; FUJIWARA, T. Cell-type specificity of the expression of Os BOR1, a rice efflux boron transporter gene, is regulated in response to boron availability for efficient boron uptake and xylem loading. **The Plant Cell**, v. 19, n. 8, p. 2624-2635, 2007.
- NETO, M. E.; FRAGA, V. S.; DIAS, B. O.; SOUTO, J. S. Efeito de doses de boro no crescimento vegetativo de girassol em diferentes classes de solos. **Ceres**, v. 61, n. 3, 2014.
- NETO, M. E.; SILVA FRAGA, V.; PEREIRA, W. E.; OLIVEIRA DIAS, B.; SOUTO, J. S. Níveis críticos de boro para a cultura do girassol em solos com texturas contrastantes. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 1, p. 100-108, 2014.
- NURK, L.; LUTZ B.; MICHAEL, W. Degradation of Fibre and Non-fibre Fractions During Anaerobic Digestion in Silages of Maize, Sunflower and Sorghum-Sudangrass of Different Maturities. **BioEnergy Research**, p. 1-11, 2016.
- OLIVEIRA NETO, V. D.; DA SILVA, M. A. G.; CASTRO, C. D.; MOREIRA, A. Influência de boro no rendimento do girassol. **EMBRAPA SOJA**, 2007.
- O'NEIL, M. A.; WARRENFELTZ, D.; KATES, K.; PELLERIN, P.; DOCO, T.; DARVILL, A. G.; ALBERSHEIM, P. Rhamnogalacturonan-II, a pectic polysaccharide in the walls of growing plant cell, forms a dimer that is covalently cross-linked by a borate ester. **Journal of Biological Chemistry**, v. 271, n. 37, p. 22923-22930, 1996.
- O'NEILL, M. A.; EBERHARD, S.; ALBERSHEIM, P.; DARVILL, A. G. Requirement of borate cross-linking of cell wall rhamnogalacturonan II for Arabidopsis growth. **Science**, v. 294, n. 5543, p. 846-849, 2001.
- O'NEILL, M. A.; ISHII, T.; ALBERSHEIM, P.; DARVILL, A. G. Rhamnogalacturonan II: structure and function of a borate cross-linked cell wall pectic polysaccharide. **Annual review of plant biology**, v. 55, p. 109, 2004.
- O'NEILL, M.; ISHII, T.; ALBERSHEIM, P.; DARVILL, A. G. Rhamnogalacturonan II: structure and function of a borate cross-linked cell wall pectic polysaccharide. **Annual review of plant biology**, v. 55, p. 109, 2004.
- OZTURK, M.; SAKCALI, S.; GUCEL, S.; TOMBULOGLU, H. Boron and plants. In: **Plant adaptation and phytoremediation**. Springer, Dordrecht, 2010. p. 275-311.
- PALACIOS, C. The role of nutrients in bone health, from A to Z. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 46, n. 8, p. 621-628, 2006.

PARVAIZ, A.; STYAWATI, S. Salt stress and phyto-biochemical responses of plants-a review. **Plant Soil and Environment**, v. 54, n. 3, p. 89, 2008.

POGORZELSKI, D. Q.; PINHEIRO, D. T.; QUEIROZ, V.; ALEXANDRE, J. C.; FARIA, A. F.; MARTINEZ, H. E. P. The retranslocation of boron is influenced by the nutritional status of cherry tomato plants. **Biosci. Journal**, Uberlândia, v. 36, n. 3, p. 761-767, May/June 2020.

REDONDO-NIETO, M.; RIVILLA, R.; EL-HAMDAOUI, A.; BONILLA, I.; BOLAÑOS, L. Research Note: Boron deficiency affects early infection events in the pea-Rhizobium symbiotic interaction. **Functional Plant Biology**, v. 28, n. 8, p. 819-823, 2001.

REID, R. J.; HAYES, J. E.; POST, A.; STANGOULIS, J. C. R.; GRAHAM, R. D. A critical analysis of the causes of boron toxicity in plants. **Plant, Cell & Environment**, v. 27, n. 11, p. 1405-1414, 2004.

REID, R. Update on boron toxicity and tolerance in plants. **Advances in plant and animal boron nutrition**, v. 1, p. 83-90, 2007.

REUHS, B. L.; GLENN, J.; STEPHENS, S. B.; KIM, J. S.; CHRISTIE, D. B.; GLUSHKA, J. G.; ZABLACKIS, E.; ALBERSHEIM, P.; DARVILL, A. G.; O'NEILL, M. A. L-Galactose replaces L-fucose in the pectic polysaccharide rhamnogalacturonan II synthesized by the L-fucose-deficient mur1 Arabidopsis mutant. **Planta**, v. 219, n. 1, p. 147-157, 2004.

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

ROWE, R. I.; ECKHERT, C. D. Boron is required for zebrafish embryogenesis. **Journal of experimental biology**, v. 202, n. 12, p. 1649-1654, 1999.

RUIZ, M.; QUIÑONES, A.; MARTÍNEZ-ALCÁNTARA, B.; ALEZA, P.; MORILLON, R.; NAVARRO, L.; PRIMOMILLO, E.; MARTÍNEZ-CUENCA, M. 2016. Tetraploidy Enhances Boron-Excess Tolerance in Carrizo Citrange (*Citrus sinensis* L. Osb. × *Poncirus trifoliata* L. Raf.). **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 701, 2016.

RYDEN, P.; SUGIMOTO-SHIRASU, K.; SMITH, A. C.; FINDLAY, K.; REITER, W. D.; MCCANN, M. C. Tensile properties of Arabidopsis cell walls depend on both a xyloglucan cross-linked microfibrillar network and rhamnogalacturonan II-borate complexes. **Plant physiology**, v. 132, n. 2, p. 1033-1040, 2003.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Fisiologia das plantas**. São Paulo: Cengage Learning, 2012. 774 p.

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

SANTINI, J. M. K.; BUZZETTI, S.; GALINDO, F. S.; NOGUEIRA, L. M.; FILHO, M. C.M.; ALVES, C. J. **Adução boratada na cultura da soja em área de cerrado**. XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2015, Natal -RN.

SANTOS, C. L V.; CALDEIRA, G. Comparative responses of Helianthus annuus plants and calli exposed to NaCl: I. Growth rate and osmotic regulation in intact plants and calli. **Journal of Plant Physiology**, v. 155, n. 6, p. 769-777, 1999.

- SHAHBA, Z.; BAGHIZADEH, A.; YOSEFI, M. The salicylic acid effect on the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) germination, growth and photosynthetic pigment under salinity stress (NaCl). **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, v. 6, n. 3, p. 4-16, 2010.
- SHARMA, H. R.; WHITE, B.; INGALLS, J. R. Utilization of whole rape (canola) seed and sunflower seeds as sources of energy and protein in calf starter diets. **Animal Feed Science and Technology**, v. 15, n. 2, p. 101-112, 1986.
- SHIREEN, F.; NAWAZ, M. A.; CHEN, C.; ZHANG, Q.; ZHENG, Z.; SOHAIL, H.; SUN, J.; CAO, H.; HUANG, Y.; BIE, Z. Boron: functions and approaches to enhance its availability in plants for sustainable agriculture. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 7, p. 1856, 2018.
- SHKOLNIK, M. Y. Trace Elements in Plants. New York: **Elsevier**, 1984.
- SHORROCKS, V. M. The occurrence and correction of boron deficiency. **Plant and soil**, v. 193, n. 1, p. 121-148, 1997.
- SILVA, C.A.; PINHEIRO, J.W.; FONSECA, N.A.N.; CABRERA, L.; NOVO, V. C. C.; SILVA, M. A. A. D.; HOSHI, E. H. Farelo de girassol na alimentação de suínos em crescimento e terminação: digestibilidade, desempenho e efeitos na qualidade de carcaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.2, p.982-990, 2002.
- 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.
- SIZMAZ, Ö. Z. G. E.; KOKSAL, B.; YILDIZ, GÜLTEKİN. Rumen microbial fermentation, protozoan abundance and boron availability in yearling rams fed diets with different boron concentrations. **Journal of Animal and Feed Sciences**, v. 26, n. 1, 2017.
- SKORIC´, D. The Genetics of Sunflower. In: Kovacevic, Z.; Škoric´, D.; Sakac, Z. (Eds.), Sunflower Genetics and Breeding-International Monogram. **Serbian Academy of Sciences**, Serbia, pp. 1–125, 2012.
- SOUSA, A.V.; DE CÓRDOVA GOBETTI, S. T. Silagem de girassol como alternativa forrageira. **Ciência Veterinária UniFil**, v. 1, n. 2, 2018.
- SOUZA, A.; OLIVEIRA, M. F.; CASTIGLIONI, V. B. R. The boron on sunflower crop. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 25, n. 1, p. 27-34, 2004.
- STANGOULIS, J. C. R.; REID, R. J.; BROWN, P. H.; GRAHAM, R. D. Kinetic analysis of boron transport in Chara. **Planta**, v. 213, n. 1, p. 142-146, 2001.
- TAHIR, M. A.; AZIZ, T.; ASHRAF, M.; KANWAL, S.; MAQSOOD, M. A Beneficial effects of silicon in wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. **Pakistan Journal of Botany (Pakistan)**, 2006.
- TAHIR, M. A.; AZIZ, T.; RAHMATULLAH, W. A. Silicon-induced growth and yield enhancement in two wheat genotypes differing in salinity tolerance. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 42, n. 4, p. 395-407, 2011.

TAHIR, M.; ASHRAF, S.; IBRAHIM, M. Effect of Foliar Application of Boron on Yield and Quality of Sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Crop & Environment**, v. 4, n. 1, p. 23-27, 2013.

TAKANO, J.; MIWA, K.; FUJIWARA, T. Boron transport mechanisms: collaboration of channels and transporters. **Trends in plant science**, v. 13, n. 8, p. 451-457, 2008.

TAKANO, J.; MIWA, K.; YUAN, L.; VON WIRÉN, N.; FUJIWARA, T. Endocytosis and degradation of BOR1, a boron transporter of *Arabidopsis thaliana*, regulated by boron availability. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 102, n. 34, p. 12276-12281, 2005.

TAKANO, J.; NOGUCHI, K.; YASUMORI, M.; KOBAYASHI, M.; GAJDOS, Z.; MIWA, K.; HAYASHI, T.; YONEYAMA, T.; FUJIWARA, T. Arabidopsis boron transporter for xylem loading. **Nature**, v. 420, n. 6913, p. 337-340, 2002.

TAKANO, J.; WADA, M.; LUDEWIG, U.; SCHAAF, G.; VON WIRÉN, N.; FUJIWARA, T. The Arabidopsis major intrinsic protein NIP5; 1 is essential for efficient boron uptake and plant development under boron limitation. **The Plant Cell**, v. 18, n. 6, p. 1498-1509, 2006.

TANAKA, M.; FUJIWARA, T. Physiological roles and transport mechanisms of boron: perspectives from plants. **Pflügers Archiv-European Journal of Physiology**, v. 456, n. 4, p. 671-677, 2008.

TASSI, E.; GIORGETTI, L.; MORELLI, E.; PERALTA-VIDEA, J. R. GARDEA-TORRESDEY, J. L.; BARBAFIERI, M. Physiological and biochemical responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) exposed to nano-CeO<sub>2</sub> and excess boron: modulation of boron phytotoxicity. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 110, p. 50-58, 2017.

TOMICH, T. R.; GONÇALVES, L. C.; TOMICH, R. G. P.; RODRIGUES, J. A. S.; BORGES, I.; RODRIGUEZ, N. M. Características químicas e digestibilidade in vitro de silagens de girassol. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, p. 1672-1682, 2004.

TURAN, M. A.; TABAN, N.; TABAN, S. Effect of calcium on the alleviation of boron toxicity and localization of boron and calcium in cell wall of wheat. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 37, n. 2, p. 99-103, 2009.

TURHAN, A.; KUŞÇU, H.; ÖZMEN, N.; DEMİR, A. Farklı tuzluluk düzeylerinin sarımsakta (*Allium sativum* L.) verim ve bazı kalite özelliklerine etkisi. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 20, n. 3, p. 280-287, 2014.

TÜRKER, O. C.; VYMAZAL, J.; TÜRE, C. Constructed wetlands for boron removal: A review. **Ecological Engineering**, v. 64, p. 350-359, 2014.

TURKEZ, H.; TATAR, A.; HACIMUFTUOĞLU, A.; OZDEMİR, E. Boric acid as a protector against paclitaxel genotoxicity. **Acta Biochimica Polonica**, v. 57, n. 1, 2010.

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.

VAUGHAN, D.; ORD, B. Influence of phenolic acids on morphological changes in roots of *Pisum sativum*. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 52, n. 3, p. 289-299, 1990.

WALLACE, I. S.; CHOI, W.G.; ROBERTS, D. M. The structure, function and regulation of the nodulin 26-like intrinsic protein family of plant aquaglyceroporins. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)- Biomembranes**, v. 1758, n. 8, p. 1165-1175, 2006.

WU, X.; RIAZ, M.; YAN, L.; JIANG, C. Distribution and mobility of foliar-applied boron (10B) in citrange rootstock under different boron conditions. **Journal of plant growth regulation**, v. 39, n. 2, p. 575-582, 2020.

YAN, X.; WU, P.; LING, H.; XU, G.; XU, F.; ZHANG, Q. Plant nutriomics in China: an overview. **Annals of botany**, v. 98, n. 3, p. 473-482, 2006.

YU, Q.; HLAVACKA, A.; MATOH, T.; VOLKMANN, D.; MENZEL, D.; GOLDBACH, H. E.; BALUSKA, F. Short-term boron deprivation inhibits endocytosis of cell wall pectins in meristematic cells of maize and wheat root apices. **Plant physiology**, v. 130, n. 1, p. 415-421, 2002.

ZAKIR HOSSAIN, A. K. M.; ASGAR, M. A.; HOSSAIN, M. A.; TOSAKI, T.; KOYAMA, H.; HARA, T. Boron-Calcium Synergically Alleviates Aluminum Toxicity in Wheat Plants (*Triticum aestivum* L.). **Soil Science & Plant Nutrition**, v. 51, n. 1, p. 43-49, 2005.

ZHEN, M.; CUI, M.; XIA, J.; MA, C.; LIU, C. Effect of nitrogen and phosphorus on alleviation of boron toxicity in *Puccinellia tenuiflora* under the combined stresses of salt and drought. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, n. 14, p. 1594-1604, 2019.

ZOBIOLE, L. H. S.; CASTRO, C.; OLLIVEIRA, F. A.; JUNIOR, A. O.; MOREIRA, A. Sunflower Micronutrient Uptake Curves. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 35, n. 2, p.346-353, 2011.