

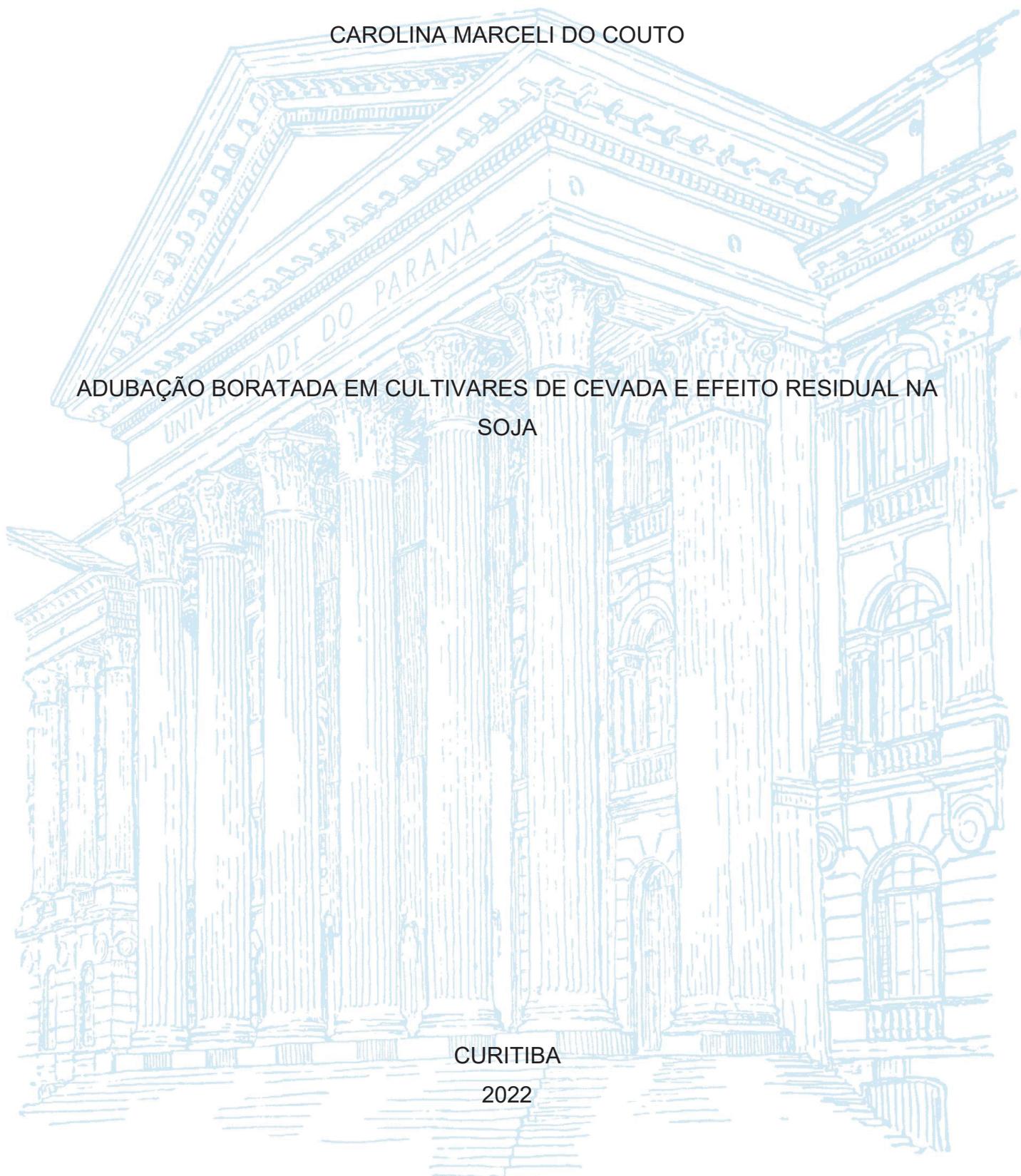
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CAROLINA MARCELI DO COUTO

ADUBAÇÃO BORATADA EM CULTIVARES DE CEVADA E EFEITO RESIDUAL NA  
SOJA

CURITIBA

2022



CAROLINA MARCELI DO COUTO

MANEJO DA ADUBAÇÃO BORATADA NA SUCESSÃO CEVADA/SOJA NOS  
CAMPOS GERAIS DO PARANÁ

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti

Coorientador: Prof. Dr. Gabriel Barth

CURITIBA

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Couto, Carolina Marcella do  
Adubação boratada em cultivares de cevada e efeito residual  
na soja / Carolina Marcella do Couto. – Curitiba, 2022.  
1 recurso online: PDF.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná,  
Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em  
Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti  
Coorientador: Prof. Dr. Gabriel Barth

1. Cevada. 2. Boro. 3. Micronutrientes. I. Pauletti, Volnei. II.  
Barth, Gabriel. III. Universidade Federal do Paraná. Programa de  
Pós-Graduação em Ciência do Solo. IV. Título.

Bibliotecária: Telma Terezinha Stresser de Assis CRB-9/944



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO -  
40001016014P4

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação CIÊNCIA DO SOLO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **CAROLINA MARCELI DO COUTO** intitulada: **ADUBAÇÃO BORATADA EM CULTIVARES DE CEVADA E EFEITO RESIDUAL NA SOJA**, sob orientação do Prof. Dr. VOLNEI PAULETTI, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestra está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 18 de Maio de 2022.

Assinatura Eletrônica

18/05/2022 13:09:59.0

VOLNEI PAULETTI

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

18/05/2022 12:59:15.0

LEANDRO FLAVIO CARNEIRO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ- DPTO FITOTECNIA E FITOSSANITARISMO)

Assinatura Eletrônica

18/05/2022 14:17:19.0

ALINE ROBERTA DE CARVALHO SILVESTRIN

Avaliador Externo (PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ)

Rua dos Funcionários, 1540 - CURITIBA - Paraná - Brasil  
CEP 80035-050 - Tel: (41) 3350-5648 - E-mail: [pgcisolo@ufpr.br](mailto:pgcisolo@ufpr.br)

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 186866

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp>  
e insira o código 186866

Aos meus pais, por serem meu exemplo e minha força  
dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela vida e as pessoas que dividem o caminho de nossas conquistas.

Agradeço a minha família, aos meus pais, Sara e Henguelbert, por todo incentivo, apoio e carinho em todos os momentos, são minha motivação e força. Ao meu irmão, Douglas Couto por ser meu companheirinho e orgulho.

A Universidade Federal do Paraná, ao PPG em Ciência do Solo e aos docentes, pela estrutura e esforços para que os alunos da pós-graduação continuassem seus trabalhos durante a pandemia.

A CAPES, pelo apoio financeiro.

Ao meu orientador, professor Volnei Pauletti por tamanha generosidade desde o primeiro e-mail que lhe enviei, sua contribuição como acadêmica e humana é inestimável. O período não foi fácil, mas com a sua ajuda foi possível concluir esse trabalho tão importante. Obrigada por ter sido tão gentil, mesmo em tantas vezes que possivelmente não mereci.

A Fundação ABC e meu coorientador, Gabriel Barth pela estrutura experimental e apoio com os dados.

A Denise de Conti por me acolher no programa quando ainda era aluna especial e a Fabiana Gavelaki, que torna os dias do laboratório mais tranquilos. Obrigada por serem especiais e terem abraços tão quentinhos.

Aos meus colegas, que mesmo com toda distância se fizeram tão presentes: Ana Brumat, Nayara Ulbrich, Diego Herzog, Bruna Santos, Valdécio Rodrigues, Carla Albuquerque, Raizza Zorman e todos aqueles que compartilharam desta caminhada.

A professora Aline Roberta de Carvalho Silvestrin, por me apresentar o caminho da Ciência do Solo e incentivar a trilhá-lo.

Ao professor Leandro Flávio Carneiro pelo aceite à banca e contribuições.

A família Makulia pelo carinho e apoio.

“É justo que muito custe, aquilo que muito vale”  
(Santa Teresa d’Ávila)

## RESUMO

A cevada é utilizada para a produção do malte que depende da qualidade da semente produzida a campo. Dentre os micronutrientes, o boro (B) está relacionado com a qualidade dos grãos por ser constituinte da parede celular. O objetivo deste trabalho foi determinar a influência da aplicação de B via solo na produtividade e níveis críticos deste nutriente na cevada e o residual desta aplicação no cultivo subsequente de soja nos Campos Gerais do Paraná. Para este estudo, foram instalados em 2020 no município de Arapoti, quatro experimentos de cevada, um para cada cultivar– Danielle, Imperatriz, KWS Irina e Planet, com oito doses de B (0; 0,5; 1; 2; 4; 6; 12 e 14 Kg ha<sup>-1</sup>), na pré-semeadura. Após a colheita da cevada, foi semeada a cultivar de soja M5917IPRO, sem reaplicação de B. O delineamento utilizado foi de blocos ao acaso, com três repetições e cada experimento foi analisado individualmente. Houve efeito da aplicação de B na produtividade das cultivares Danielle, Imperatriz e KWS Irina. O número de grãos normais e chochos, número de espigas, massa de mil grãos, massa de grãos normais e chochos, teores de B na parte aérea e nos grãos não variaram com a aplicação de B. Na folha bandeira houve incremento do teor de B com a adubação borratada. Não foram observados efeitos expressivos do B aplicado em pré-semeadura da cevada sobre a produtividade de grãos da soja. As cultivares Danielle, Imperatriz e KWS Irina respondem positivamente à adubação com B, sendo a Danielle a mais responsiva e a Planet a menos responsiva. Os níveis críticos foliares calculados de B para a cultivar Danielle, Imperatriz, KWS Irina e Planet foram de 10,24, 11,17, 4,69 e 9,86 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Houve pouco ou nenhum efeito residual do B aplicado na cevada, na produtividade de grãos da soja, somente sendo identificado para dose de 12 Kg ha<sup>-1</sup> após o cultivo da cultivar Imperatriz.

Palavras-chave: 1. *Hordeum vulgare* 2. *Glycine max* 3. Nível crítico de boro 4. Genótipos de cevada 5. Efeito residual de boro

## ABSTRACT

The barley is used for the production of malt which depends on the quality of the seed produced in the field. Among the micronutrients, boron (B) is related to the quality of the grains as it is a constituent of the cell wall. The objective of this work was to determine the influence of B application via soil on productivity and critical levels of this nutrient in barley and the residual of this application in subsequent soybean cultivation in Campos Gerais do Paraná. For this study, four barley experiments were installed in 2020 in the municipality of Arapoti, one for each cultivar – Danielle, Imperatriz, KWS Irina and Planet, with eight doses of B (0; 0.5; 1; 2; 4; 6; 12 and 14 kg ha<sup>-1</sup>), at pre-sowing. After harvesting the barley, the cultivar M5917IPRO was sown, without reapplication of B. The design used was a randomized block design, with three replications and each experiment was analyzed individually. There was an effect of B application on the productivity of the cultivars Danielle, Imperatriz and KWS Irina. The number of normal and empty grains, number of ears, weight of a thousand grains, weight of normal and empty grains, B contents in the shoot and in the grains did not vary with the application of B. In the flag leaf there was an increase in B content. with smeared fertilization. There were no significant effects of B applied in barley pre-sowing on soybean grain yield. The cultivars Danielle, Imperatriz and KWS Irina respond positively to the use of fertilization with B, with Danielle being the most responsive and Planet the least responsive. The calculated foliar critical levels of B for the cultivars Danielle, Imperatriz, KWS Irina and Planet were 10.24, 11.17, 4.69 and 9.86 mg kg<sup>-1</sup>, respectively. There was little or no residual effect of B applied to barley on soybean grain yield, only being identified at a dose of 12 kg ha<sup>-1</sup> after the cultivation of the cultivar Imperatriz.

Keywords: 1. *Hordeum vulgare* 2. *Glycine max* 3. Critical level of boron 4. Barley genotypes 5. Residual effect of boron

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - COLHEITA DE GRÃOS DE SOJA UTILIZANDO COLHEDORA DE PARCELA.....	22
FIGURA 2- PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE CEVADA DAS CULTIVARES DANIELLE (A), IMPERATRIZ (B), KWS IRINA (C) E PLANET (D), EM FUNÇÃO DA DOSE DE BORO APLICADA NA PRÉ-SEMEADURA.....	24
FIGURA 3- PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E TEOR DE BORO NA FOLHA BANDEIRA DE CEVADA, CULTIVAR DANIELLE (A), IMPERATRIZ (B), KWS IRINA E PLANET, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE BORO APLICADAS A LANÇO EM PRÉ-SEMEADURA.....	29

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: PRECIPITAÇÃO, TEMPERATURA MÁXIMA, MÍNIMA E MÉDIA NA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE ARAPOTI, NO PÉRIODO DE MAIO DE 2020 A MARÇO DE 2021 (FUNDAÇÃO ABC, 2021).....	23
--	----

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL EM ARAPOTI (PR), ANTES DO INÍCIO DO EXPERIMENTO, NAS PROFUNDIDADES DE 0-20 cm E 20-40 cm.....	19
TABELA 2- ANÁLISE FÍSICA E DE MICRONUTRIENTES DO SOLO EM ÁREA EXPERIMENTAL EM ARAPOTI (PR), ANTES DO INÍCIO DO EXPERIMENTO, NAS PROFUNDIDADES DE 0-20 cm E 20-40 cm.....	19
TABELA 3– VARIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE MASSA SECA DA PARTE AÉREA, NÚMERO DE ESPIGAS POR PLANTA E MASSA DE MIL GRÃOS DE CEVADA, CULTIVARES DANIELLE, IMPERATRIZ, KWS IRINA E PLANET EM FUNÇÃO DAS DOSES DE BORO APLICADAS A LANÇO EM PRÉ-SEMEADURA.....	24
TABELA 4 – NÚMERO E MASSA DE GRÃOS NORMAIS, CHOCHOS E TOTAIS DE CEVADA, CULTIVARES DANIELLE, IMPERATRIZ, KWS IRINA E PLANET, EM FUNÇÃO DE DOSES DE BORO APLICADAS A LANÇO EM PRÉ-SEMEADURA..	26
TABELA 5 - TEOR E CONTEÚDO DE BORO NA PARTE AÉREA (SEM OS GRÃOS), GRÃOS E TOTAL E TEOR NA FOLHA BANDEIRA DA CULTIVARES DANIELLE, IMPERATRIZ, KWS IRINA E PLANET DE CEVADA, EM FUNÇÃO DE DOSES DE BORO APLICADAS A LANÇO EM PRÉ-SEMEADURA.....	27
TABELA 6- PRODUTIVIDADE DE SOJA CULTIVAR M5917IPRO, SOB CONDIÇÕES DE EFEITO RESIDUAL DE ADUBAÇÃO BORATADA, PÓS PRODUÇÃO DE CEVADA, CULTIVARES DANIELLE, IMPERATRIZ, KWS IRINA E PLANET, SAFRA 2020/2021 NO MUNICÍPIO DE ARAPOTI – PARANÁ.....	30

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO – .....</b>	<b>16</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>19</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>24</b>
3.1 CEVADA.....	24
3.2 DEFINIÇÃO DE NÍVEL CRÍTICO NA CEVADA.....	29
3.3 EFEITO RESIDUAL DE B NA SOJA.....	30
<b>4 CONCLUSÕES .....</b>	<b>31</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>32</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A cevada é um dos principais cereais cultivados no planeta. No Brasil ocupou na safra 2021 uma área de 111 mil ha, com produtividade média de 3800 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2022). A soja, é a principal oleaginosa cultivada e principal *commoditie* mundial, ultrapassando 365 milhões de toneladas produzidas no mundo (USDA, 2021). No Brasil em 2021, a área cultivada com esta leguminosa foi de aproximadamente 40 milhões de ha, com produtividade média de 3550 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2022). Considerando a principal região produtora de cevada do Brasil que é a região sul, a cevada geralmente é sucedida do cultivo da soja, sendo a primeira cultivada no período de inverno e a segunda no verão.

Para altas produtividades destas espécies, são utilizadas aplicações de adubos visando complementar o fornecimento de nutrientes presentes no solo. As maiores doses aplicadas são dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S, porém, em muitas áreas, também ocorre a necessidade de aplicação de micronutrientes, especialmente Zn, B, Cu e Mn (WARAICH, 2011). A disponibilidade de B para as plantas depende principalmente do material de origem, tipo e pH do solo, além da precipitação pluviométrica que pode levar à lixiviação do nutriente (SHORROCKS, 1997; GOLDBERG, et al., 2000; VITTI e GRANDO, 2006). Devido à lixiviação, a deficiência de B normalmente ocorre em regiões úmidas, enquanto a toxicidade ocorre em regiões de clima árido ou semiárido (COMMUNAR e KEREN, 2006; LANDI, et al., 2019).

A disponibilidade de B na solução do solo, também é influenciada pela quantidade de matéria orgânica (que regula o excesso de B, diminuindo a absorção pelas plantas) e pelo pH do solo. Nos solos da região sul do Brasil, que são altamente tamponados, normalmente são aplicadas grandes quantidades de calcário para a correção da acidez. Nestes casos, a lixiviação de B é menor, em função da aplicação de carbonato de cálcio. Portanto, do B aplicado em áreas cultivadas, parte é suscetível a lixiviação e parte permanece na solução do solo, disponível para a absorção de plantas (ESTEBAN, et al., 2016; SILVA, et al., 1995; STEINER e LANA, 2013; OLIVEIRA NETO, et al., 2009; SZULK e RUTKOWSKA, 2013; SÁ e ERNANI, 2016).

O principal mineral primário do solo que contém B é a turmalina (MARSHALL et al., 2009; MARGER et al., 2020), mas para ser absorvido pelas plantas deve estar na forma de ácido bórico (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>). Esta é uma forma de alta solubilidade e baixa

reatividade, e por isso é suscetível a lixiviação especialmente em solos arenosos e em regiões com alta precipitação pluviométrica (BYERS, 2001; SÁ e ERNANI, 2016). Para fornecer B para as plantas, comumente se utiliza a ulexita ( $\text{CaNaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ), o bórax ( $\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) e a colemanita ( $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ).

Considerando que a disponibilidade de B para as plantas é um fator limitante na produção agrícola, o fornecimento adequado ao longo do ciclo da cultura é essencial. A resposta ao B varia de acordo com a solubilidade do fertilizante. Se for altamente solúvel, pode ser facilmente lixiviado, não permanecendo disponível para todo o ciclo da cultura, enquanto a baixa solubilidade, pode não disponibilizar o nutriente no início do ciclo, comprometendo o rendimento. Além do fertilizante adequado, a uniformidade de distribuição na área de cultivo é essencial. Por isso, devido à baixa dose geralmente recomendada, alternativas como a mistura dos fertilizantes boratados a outros fertilizantes é uma alternativa comumente utilizada (ABAT, et al., 2015; MORTVEDT, 1968; MORTVETD e WOODRUFF, 1993; FERGUSON, et al., 2013; SILVA, et al., 2018).

A quantia de B absorvida pelas plantas é vestigial. A extração pela cevada e pela soja, por exemplo, é de 10,2 e 67 g por tonelada de grãos produzida, respectivamente (NEPAR, 2019), indicando que são espécies com diferentes exigências do nutriente. Outra particularidade deste nutriente é que a diferença entre a concentração na planta de deficiência e de toxidade tem pequeno intervalo (YAU, et al., 1994; GOLDBERG, et al., 2002). Por isso a disponibilidade imediata do B às plantas pela adubação aliada a baixa adsorção ao solo, facilmente leva à toxidez, sendo prejudicial para o desenvolvimento vegetal (COMMUNAR e KEREN, 2007; LIMA et al., 2007).

Após a absorção na raiz, o B é transportado no xilema predominantemente na mesma forma absorvida de ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ). A mobilidade do B no floema, no entanto, ocorre somente em espécies em que os poliois (carboidratos, chamados de açúcares simples) são produzidos como produtos primários da fotossíntese e se complexam com o B, permitindo a sua translocação. Isto ocorre em espécies pertencentes às famílias *Rosaceae*, *Oleaceae*, *Apiaceae*, *Rubiaceae* (HU, et al., 1997; STANGOULIS, et al., 2010).

As funções relacionadas ao B ainda não foram totalmente elucidadas, entretanto, é atribuída à função de síntese da parede celular e a manutenção de sua estrutura e integridade (BROWN, 1997; GOLDBACH, 2000; ZHOU et al., 2017), o

que justifica a sua baixa redistribuição pelo floema. A função exata do B no metabolismo das plantas é variante conforme a cultura, assim como a dinâmica dos sintomas de deficiência. Algumas evidências sugerem que o nutriente atua em funções como transporte de íons, metabólitos, hormônios, açúcares, além de participar no metabolismo de hormônios e compostos nitrogenados. O B também influencia na capacidade fotossintética e seus produtos (BLEVINS e LUKASZEWSKI, 1998; WANG, et al., 2015; SHIREEN, et al. 2018).

A deficiência de B nas plantas pode ter sintomas múltiplos como redução de porte, coloração intensa, redução na espessura dos tecidos, clareamento internerval da base para o ápice e perfilhamento (KAPPES et al., 2008, FERREIRA, 2012). Em casos graves, reduz os internós e gera manchas necróticas. Pode ser notado com maior facilidade na fase reprodutiva, mesmo sem sintomas de deficiência aparentes, impactando na qualidade dos frutos e produtividade (DELL e HUANG, 1997; JOKANOVIC, 2020).

A determinação do nível crítico de B no solo ou na planta, é importante para obtenção do rendimento máximo da produção, antes de atuar como fator limitante (EL-SHERIEF, et al., 2016). Este parâmetro varia conforme a cultura. O nível crítico de B em folhas de coqueiros varia entre 7,5 a 13,27 mg kg<sup>-1</sup> (MATHEW, et al., 2018), do girassol é de 23,4 mg kg<sup>-1</sup> (JAGADALA e SAHOO, 2020). Para o trigo, o nível crítico varia entre 4,18 – 7,4 mg kg<sup>-1</sup>, alterando conforme o estágio de desenvolvimento e a necessidade da cultura (SAHA, et al., 2018). Fageria (2000) considerou níveis adequados de B em solo ácido do cerrado brasileiro de 0,4, 0,9, 1,3, 2,6 e 0,4 mg kg<sup>-1</sup>, e tóxicos teores de 2,3, 2,8, 5,7, 5,2 e 4,3 mg B kg<sup>-1</sup> para o arroz, feijão, milho, soja e trigo, respectivamente, porém, sem considerar o ciclo completo das plantas e a produtividade de grãos. Gotz et al. (2021), observaram que teores abaixo de 23,2 mg kg<sup>-1</sup> na inflorescência feminina do milho estão relacionados à deficiência enquanto teores acima de 31.5 mg kg<sup>-1</sup> à toxidez de B, sendo este tecido adequado para verificação do estado nutricional de B na planta.

Respostas a aplicação de B são variáveis. No milho, enquanto Jamami et al. (2006) não observaram efeito da aplicação de B, atribuindo este desempenho à contribuição da matéria orgânica do solo no suprimento do micronutriente para as plantas, Gotz et al. (2021) identificaram máxima produtividade na dose de 5,0 kg B ha<sup>-1</sup>, porém na dose de 12 kg B ha<sup>-1</sup> houve redução da produção de grãos e qualidade de espigas, relacionando estes dados a altas pluviosidades. Em soja,

Trautmann (2014) verificaram toxidez com a aplicação no solo de 2 mg kg<sup>-1</sup> de B, enquanto Kappes et al. (2008) não verificaram efeito na produtividade e qualidade das sementes de soja com a aplicação foliar do nutriente. Fageria (2000) observou máxima matéria seca da parte aérea de arroz, feijão, milho, soja e trigo, respectivamente, com a aplicação de 0,4, 2,0, 4,7, 3,4 e 0,4 mg kg<sup>-1</sup> no solo. Em cevada, a aplicação de B na semeadura ou altos teores no solo, pode proporcionar redução de rendimento, de perfilhamento e qualidade fisiológica de sementes (BRENNAN e ADCOCK, 2004; TAVARES, et al., 2018).

No entanto, a definição de níveis adequados de B no solo varia conforme o ambiente e o genótipo. O nível adequado ou crítico é encontrado na literatura para variadas espécies de cevada, variam entre 10 e 60 mg kg<sup>-1</sup>, enquanto o de toxidez entre 68 a 323 mg kg<sup>-1</sup> (GUPTA, et al., 1971; DAVIS, et al., 1978; CARTWRIGHT, et al., 1986). Estas variações de resposta e ocorrência de toxidez, dificultam a definição dos níveis adequados de B no solo e na planta. Além da espécie, podem ocorrer diferenças entre cultivares da mesma espécie quanto à resposta e tolerância a toxidez de B (AYVAZ, 2002; HASSEN, et al., 2010). A identificação destas variações entre cultivares auxilia na definição da necessidade e doses de aplicação, bem como no desenvolvimento de tecnologias para o melhoramento de espécies e melhor produtividade (PALLOTTA, et al., 2014). Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi determinar a influência da aplicação de B via solo na produtividade e níveis críticos deste nutriente na cevada e o residual desta aplicação na produtividade da soja nos Campos Gerais do Paraná.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E CONDUÇÃO EXPERIMENTAL**

O estudo ocorreu na estação experimental da Fundação ABC, no município de Arapoti, Paraná. Com altitude de 840 metros, o clima é classificado como Cfa, clima subtropical úmido, sem estações secas definidas e temperaturas médias entre 18 e 22° (ALVAREZ et al., 2014). O solo do local do experimento é classificado como LATOSSOLO Amarelo (Embrapa, 2018) em análise realizada em amostra coletada antes da implantação dos experimentos, consta nas Tabela 1 e 2.

TABELA 1 – ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL EM ARAPOTI (PR), ANTES DO INÍCIO DO EXPERIMENTO, NAS PROFUNDIDADES DE 0-20 cm E 20-40 cm.

Profundidade	P	M.O.	pH	H+Al	Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	m
cm	mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						%		
0-20	28	22	5,1	37	<0,5	2,5	19	11	32,5	69,5	47	-
20-40	4	13	4,6	35	0,7	1,5	8	4	13,5	48,5	28	4,9

Tabela 1: Extratores: P, K, Ca e Mg – resina; M.O.- Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>; pH – solução de CaCl<sub>2</sub>; H + Al – tampão SMP; Al – KCl.

FONTE: A autora (2022).

TABELA 2- ANÁLISE FÍSICA E DE MICRONUTRIENTES DO SOLO EM ÁREA EXPERIMENTAL EM ARAPOTI (PR), ANTES DO INÍCIO DO EXPERIMENTO, NAS PROFUNDIDADES DE 0-20 cm E 20-40 cm.

Profundidade	Argila	Silte	Areia	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Cm	-----g Kg <sup>-1</sup> -----			-----mg dm <sup>-3</sup> -----				
0-20	278	58	644	0,2	0,9	36	2,9	1,2
20-40	299	70	631	0,2	0,8	27	1,1	0,3

Tabela 2: B – água quente; Cu, Fe, Zn e Mn – DTPA.

FONTE: A autora (2022).

A interpretação da análise química do solo na área experimental, indica baixo pH, sem saturação por alumínio, solo distrófico e com baixa concentração no teor de B (NEPAR, 2019). O solo da região é de textura média (EMBRAPA, 2018), o que pode conferir alta capacidade de lixiviação e manter o B no sistema agrícola, indisponibilizando as culturas.

Foram instalados quatro experimentos no dia 12 de junho de 2020, um para cada cultivar de cevada Danielle, KWS Irina, Planet e Imperatriz. Os tratamentos constaram da aplicação de oito doses de B na pré-semeadura (0; 0,5; 1; 2; 4; 6; 12 e 14 kg ha<sup>-1</sup>), utilizando como fonte a ulexita (com concentração de 10% de B), distribuídos em delineamento em blocos casualizados, com três repetições. As parcelas foram de 14,45 m<sup>2</sup> (2,89 metros de largura x 5,0 metros de comprimento), ou seja, 17 linhas espaçadas de 0,17 m. A quantidade de sementes foi de 130 kg ha<sup>-1</sup>. Na semeadura foi aplicado no sulco de semeadura 240 kg ha<sup>-1</sup> de NPK 12-27-06 e a adubação de cobertura foi realizada no perfilhamento com a aplicação de 160 kg ha<sup>-1</sup> de ureia (72 kg de N) e 80 kg ha<sup>-1</sup> KCl (48 kg K<sub>2</sub>O).

Para diagnóstico do estado nutricional de B na cevada, foram coletadas 50 folhas bandeira aleatoriamente em cada parcela, no pleno florescimento (NEPAR, 2019). Na maturação fisiológica foram coletadas sequencialmente na mesma linha

10 plantas por parcela, cortando as mesmas acima do primeiro nó visível a partir do solo. Nestas foram determinados a massa seca e os teores de B na parte vegetativa e nos grãos. Para a determinação do teor de B os tecidos foram lavados com água deionizada, secos em estufa de circulação de ar forçada, moídos e posteriormente submetidos a análise química. Para análise, aproximadamente 1 g do material moído foi acondicionado em cadinho e levado à mufla para digestão por via seca (calcinação a 550 °C), extração em HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> (Embrapa, 2009) e determinação por colorimetria pelo método da Azometina-H (Bingham, 1982).

O nível crítico foliar de B na cevada foi o teor do nutriente na folha índice relacionado com 90% da produtividade de grãos.

Nas mesmas 10 plantas utilizadas para determinação do teor de B foram quantificadas o número de espigas, quantidade de grãos cheios e chochos, massa de grãos cheios e chochos e massa de mil grãos (MMG). Com exceção da MMG, as demais variáveis foram transformadas para unidade por planta.

No dia 20 de outubro de 2020 foi realizada a colheita de grãos da cevada, colhendo-se nove linhas de quatro metros (6,12 m<sup>2</sup>) com auxílio de colhedora de parcela automotriz, determinada a umidade e a produtividade calculada para kg por hectare com 130 g kg<sup>-1</sup> de umidade.

Após a colheita de cevada, no dia 11 de novembro de 2020 foi realizada a semeadura da soja, cultivar M5917IPRO. A adubação foi de 300 kg ha<sup>-1</sup> de NPK 00:20:20 incorporado no sulco de semeadura e o espaçamento utilizado de 0,4 m entre linhas, com 15 sementes por metro linear. Não foi realizada aplicação de B, sendo avaliado o efeito residual das doses aplicadas na pré-semeadura da cevada. Na maturação fisiológica, no dia 26 de março de 2021, foi realizada a colheita de grãos da soja (Figura 1) em quatro linhas de quatro metros por parcela (6,4 m<sup>2</sup>), determinada a umidade e os dados expressos em produtividade em kg ha<sup>-1</sup> com 130 g kg<sup>-1</sup> de umidade.

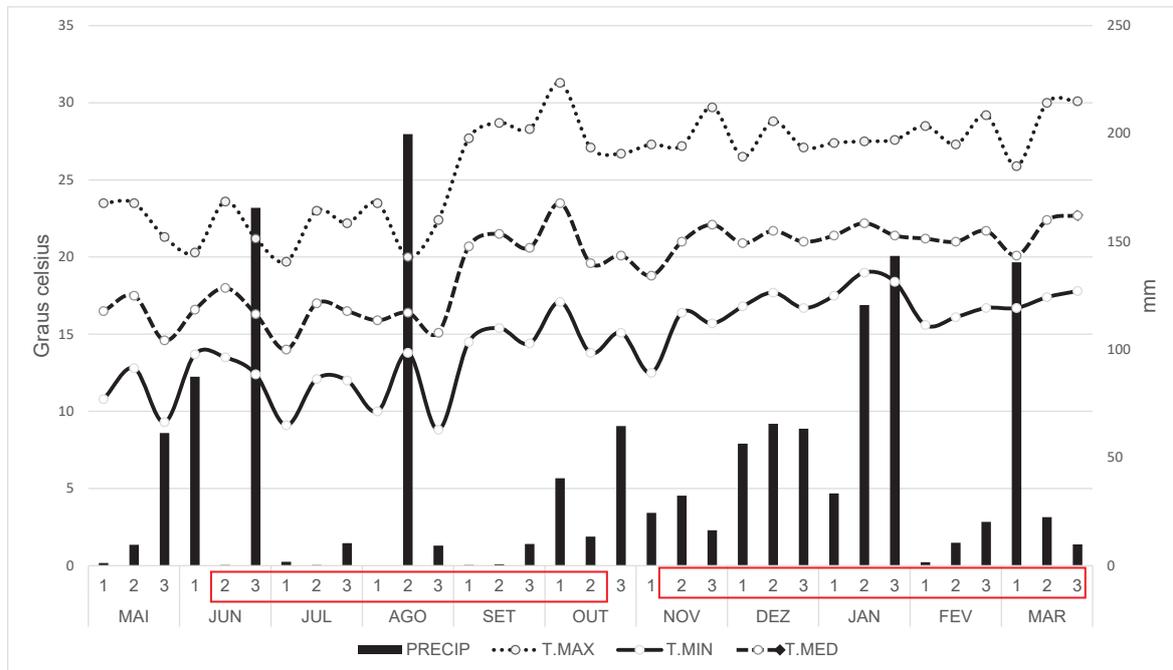
FIGURA 1 - COLHEITA DE GRÃOS DE SOJA UTILIZANDO COLHEDORA DE PARCELA



FONTE: Gabriel Barth (2021).

O período de condução dos experimentos foi caracterizado por deficiência hídrica em relação ao histórico da área (GRÁFICO 1). No mês de julho de 2020, período de instalação da cevada, não houve precipitação significativa, assim como em fevereiro de 2021, na fase de enchimento de grãos de soja. Essa condição climática prejudicou o desenvolvimento e a produtividade nos dois cultivos. A alteração pluviométrica é o fator mais importante quando se refere a clima, pois impacta diretamente na produtividade. Períodos secos reduzem a produtividade, quando comparado em períodos com pluviosidade adequada, diminuindo o perfilhamento e, conseqüentemente a quantidade de colmos e panículas (BIELSKI, et al., 2020). Para a cultura da soja, a pluviosidade é um parâmetro para garantir produtividade e qualidade de grãos.

GRÁFICO 1: PRECIPITAÇÃO, TEMPERATURA MÁXIMA, MÍNIMA E MÉDIA NA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE ARAPOTI, NO PÉRIODO DE MAIO DE 2020 A MARÇO DE 2021 (FUNDAÇÃO ABC, 2021).



FONTE: A autora (2022).

O período demarcado compreende o ciclo da cevada (plantio em 12/06/2020 até colheita em 20/10/2020) e o ciclo da soja (plantio em 11/11/2020 até a colheita em 26/03/2021)

## 2.2 Análise estatística

A análise estatística dos dados foi realizada individualmente por experimento em cada cultivar de cevada. Os dados obtidos foram testados quanto a normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e quando necessário, foi realizada a transformação em log (para produtividade, massa seca, número de espigas, peso dos grãos cheios, peso dos grãos chochos e peso total dos grãos, conteúdo da parte aérea da planta, conteúdo dos grãos e conteúdo da folha bandeira). Em seguida os dados foram submetidos à análise de variância e em caso de variação significativa as médias foram comparadas com a aplicação do teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para as análises estatísticas foi utilizado o software SISVAR (FERREIRA, 2019). Os dados de produtividade de soja, seguiu o mesmo padrão de análises.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

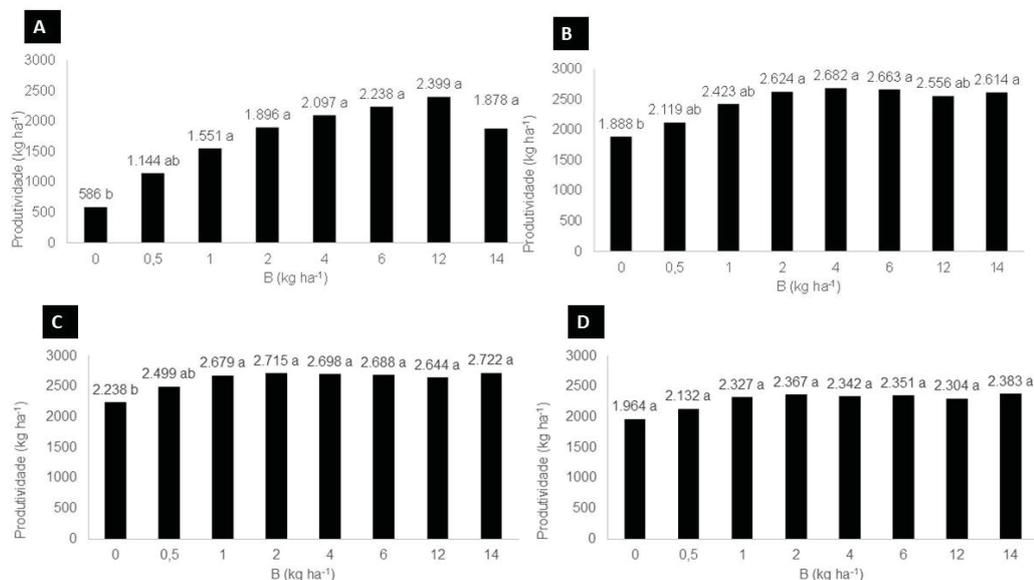
#### 3.1 CEVADA

A produtividade de grãos das cultivares Danielle, Imperatriz e KWS Irina foi influenciada pela aplicação de B, o que não ocorreu na cultivar Planet (FIGURA 2). A dose de B de 0,5 kg ha<sup>-1</sup> foi suficiente para igualar as máximas produtividades nas cultivares em que houve efeito. Porém, a cultivar Danielle demonstrou maior exigência do nutriente, pois na ausência do mesmo a produtividade foi metade da obtida com a aplicação de 0,5 kg ha<sup>-1</sup> de B e equivalente a 24% da maior média obtida do experimento (12 kg ha<sup>-1</sup> de B).

A adequada disponibilidade de B tem impacto direto no rendimento das plantas. Sua deficiência reduz o tamanho de plantas e a qualidade dos grãos, mas de forma variável entre espécies (REHMAN, et al., 2018; CLEMENTE, 2018).

A diferença entre genótipos quanto às variações de concentrações de B, possivelmente seja uma resposta a adaptação ao ambiente. Solos com altos teores de B tendem a ter plantas tolerantes e a redistribuição para os órgãos não é equivalente. Os sintomas de toxidez, comum para este nutriente, são variáveis conforme o material genético, podendo ou não ter redução do rendimento e sintomas visuais (BELLALOIU e BROWN, 1998; JOKANOVIC, et al., 2017; PAULL, 1988; REHMAN, 2006SCHNURBUSCH, et al., 2010).

FIGURA 2- PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE CEVADA DAS CULTIVARES DANIELLE (A), IMPERATRIZ (B), KWS IRINA (C) E PLANET (D), EM FUNÇÃO DA DOSE DE BORO APLICADA NA PRÉ-SEMEADURA.



FONTE: A autora (2022).

A produção de matéria seca das plantas (MS) não foi alterada nas cultivares Danielle, Imperatriz e Planet (Tabela 2). Na KWS Irina a maior matéria seca na dose de 6 kg ha<sup>-1</sup> de B parece ter sido ao acaso, uma vez que doses acima e abaixo tiveram valores menores. Esta ausência de efeito do B na MS também foi observada em híbridos de canola e de girassol (HRYCZYNA, 2021; EUBA NETO, 2014). No trigo, há incremento na produtividade e massa seca com a aplicação 1 kg ha<sup>-1</sup> de B via sulco, quando comparado a via foliar ou testemunha (MACULAN et al., 2020). O número de espigas por planta e a MMG não foram influenciados pela aplicação de B em todas as cultivares (Tabela 3), diferente do que foi observado em triticale (BIELSKI, et al., 2020), quando a aplicação de 0,8 e 1,6 kg ha<sup>-1</sup> de B aumentou o número de espigas por m<sup>2</sup>.

TABELA 3– VARIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE MASSA SECA DA PARTE AÉREA (MS), NÚMERO DE ESPIGAS POR PLANTA E MASSA DE MIL GRÃOS DE CEVADA (MMG), CULTIVARES DANIELLE, IMPERATRIZ, KWS IRINA E PLANET EM FUNÇÃO DAS DOSES DE BORO APLICADAS A LANÇO EM PRÉ-SEMEADURA.

Dose B	MS	Espigas	MMG	MS	Espigas	MMG
kg ha	g		g	g		g
Danielle			Imperatriz			
0	3,96 a	4,13 a	36,24 a	5,27 a	5,07 a	40,42 a
0,5	3,76 a	2,6 a	39,22 a	4,63 a	3,43 a	38,24 a
1	4,36 a	3,2 a	30,84 a	5,46 a	4,4 a	37,62 a
2	4,68 a	3,1 a	36,6 a	5,11 a	4,23 a	36,47 a
4	4,76 a	3,7 a	33,99 a	4,63 a	3,7 a	30,62 a
6	5,02 a	3,5 a	35,96 a	4,34 a	3,47 a	35,86 a
12	4,13 a	2,77 a	37,11 a	5,03 a	4,1 a	31,64 a
14	4,48 a	3,27 a	41,66 a	4,65 a	3,47 a	36,09 a
	KWS		g	Planet		
	Irina					
0	4,71 ab	3,1 a	35,17 a	3,7 a	2,43 a	41,92 a
0,5	4,83 ab	3,83 a	37,69 a	4,08 a	3,03 a	37,81 a
1	4,86 ab	3,53 a	35,71 a	4,66 a	3,93 a	38,67 a
2	5,1 ab	4 a	38,31 a	4,89 a	3,5 a	37,73 a
4	4,02 b	3,17 a	35,31 a	3,44 a	2,13 a	36,8 a
6	6,51 a	4,5 a	34,06 a	4,03 a	2,6 a	38,1 a
12	4,18 ab	3,03 a	37,27 a	4,16 a	2,67 a	39,34 a
14	4,95 ab	4,03 a	34,88 a	3,76 a	2,67 a	40,1 a

FONTE: A autora (2022).

Nas cultivares Danielle e Imperatriz o número de grãos chochos foi maior na ausência da aplicação de B (Tabela 4). Na KWS Irina e na Planet este efeito não foi

observado. O maior número de grãos chochos no caso de deficiência de B se deve a importância estrutural deste nutriente para as plantas. Cerca de 90% do B nas plantas está localizado na parede celular (HU, et al., 1997; BLEWINS e LUKASZEWSKI, 1998), como constituinte da hemicelulose, que são polissacarídeos (carboidratos), componentes de cerca de 35% do material lignocelulósico. A hemicelulose concentra-se na parede secundária e participa da estrutura de fibras celulósicas. Sintomas de alteração anatômica são associadas a parede celular e conseqüentemente, ao B (DAVISON, et al., 2013; TRAJANO e WYMAN, 2013).

Um dos principais efeitos da deficiência de boro é a esterilidade masculina, que reduz a germinação, alongamento do tubo polínico e embriogênese. Este distúrbio nutricional afeta a integridade dos grãos, resultando em sementes e embriões mal formados (LOVATT, 1995; CHENG e RERKASEN, 1993; RERKASEN, et al., 2019). Em trigo, a deficiência de B resulta em menor número de sementes por espiga (RERKASEN, et al., 1993), o que não foi observado na cevada. O baixo nível de B causa má formação de grãos, atrasa a germinação, reduz o número de espigas (WONGMO, et al., 2004). O número total de grãos permaneceu semelhante entre as doses de B aplicadas, diminuindo, no entanto, a quantidade de grãos normais quando não se aplicou o nutriente, quando 85% dos grãos foram mal formados (chochos).

Na avaliação do teor de B na planta de cevada, foi observado variação apenas na folha bandeira, que consiste na avaliação do parâmetro de qualidade nutricional da planta (Tabela 5), que aumentaram a medida que se aumentou da dose aplicada, com o maior valor obtido em torno da dose de 12 kg ha<sup>-1</sup>, para as quatro cultivares.

Os teores de B na parte aérea e nos grãos de cevada não diferiram, mesmo com as altas doses aplicadas, enquanto o teor nos grãos variou somente na cultivar KWS Irina (Tabela 5).

TABELA 4 – NÚMERO E MASSA DE GRÃOS NORMAIS, CHOCHOS E TOTAIS DE CEVADA, CULTIVARES DANIELLE, IMPERATRIZ, KWS IRINA E PLANET, EM FUNÇÃO DE DOSES DE BORO APLICADAS A LANÇO EM PRÉ-SEMEADURA.

Dose B Kg ha <sup>-1</sup>	Número de Grãos			Massa de grãos (g)		
	Normal	Chocho	Total	Normal	Chocho	Total
<b>Danielle</b>						
0	2,3 a	12,82 b	15,12 a	0,34 a	0,18 a	0,52 a
0,5	10,87 b	5,72 ab	16,59 a	1,09 a	0,06 a	1,15 a
1	11,28 b	2,19 a	13,47 a	1 a	0,04 a	1,04 a
2	13,44 b	2,98 a	16,43 a	1,51 a	0,08 a	1,59 a
4	13,96 b	2,99 a	16,95 a	1,79 a	0,06 a	1,85 a
6	14,01 b	2,59 a	16,6 a	1,86 a	0,04 a	1,9 a
12	11,82 b	4,94 ab	16,76 a	1,18 a	0,05 a	1,24 a
14	10,77 b	5,22 ab	15,98 a	1,7 a	0,14 a	1,84 a
<b>Imperatriz</b>						
0	8 b	8,07 a	16,07 a	1,61 a	0,13 b	1,75 a
0,5	11,95 ab	5,49 ab	17,44 a	1,54 a	0,08 ab	1,62 a
1	12,43 ab	2,12 b	14,55 a	2,14 a	0,06 ab	2,2 a
2	13,44 a	2,32 ab	15,76 a	2,11 a	0,06 ab	2,18 a
4	13,15 a	2,98 ab	16,13 a	1,5 a	0,05 a	1,55 a
6	12,29 ab	2,03 b	14,32 a	1,5 a	0,03 ab	1,53 a
12	16,3 a	2,28 b	18,58 a	2,13 a	0,05 ab	2,18 a
14	12,5 ab	3,74 ab	16,24 a	1,64 a	0,05 ab	1,69 a
<b>KWS Irina</b>						
0	15,18 a	3,99 a	19,16 a	1,7 a	0,05 a	1,75 a
0,5	11,6 a	5,24 a	16,83 a	1,68 a	0,12 a	1,8 a
1	14,78 a	4,23 a	19,01 a	1,87 a	0,07 a	1,93 a
2	12,73 a	2,71 a	15,44 a	1,91 a	0,08 a	1,99 a
4	12,42 a	3,37 a	15,8 a	1,37 a	0,05 a	1,42 a
12	13,7 a	3,99 a	17,69 a	1,62 a	0,09 a	1,71 a
14	13,38 a	3,08 a	16,45	1,96 a	0,07 a	2,03 a
<b>Planet</b>						
0	12,21 a	1,81 a	14,02 a	1,26 a	0,02	1,29 a
0,5	12,58 a	2,05 a	14,63 a	1,54 a	0,07	1,6 a
1	11 a	3 a	14 a	1,63 a	0,09	1,72 a
2	12,16 a	3,13 a	15,29 a	1,71 a	0,05	1,76 a
4	14,59 a	2,19 a	16,77 a	1,13 a	0,04	1,17 a
6	13,84 a	2,01 a	15,84 a	1,45 a	0,03	1,48 a
12	15,48 a	2,53 a	18,01 a	1,67 a	0,05	1,71 a
14	11,73 a	1,94 a	13,67 a	1,16 a	0,03	1,19 a

FONTE: A autora (2022).

A concentração de B varia nos tecidos vegetais, conforme o genótipo, a cultura e os estádios de desenvolvimento (AYVAZ, 2002). O teor de B encontrado em caule de trigo, por exemplo, varia de 10 a 16 mg Kg<sup>-1</sup>, (GUPTA, 1971), enquanto

em toda a parte aérea é de 60 mg Kg<sup>-1</sup> (GUPTA, et al., 1976). Os teores obtidos em folha bandeira, não necessariamente representa o uso do B pela planta (ASAD, et al., 2001). Diferentes materiais genéticos de cevada e trigo podem ser tolerantes ou sensíveis ao excesso de B, ocorrendo por menor absorção ou ainda, menor translocação do nutriente. Os fatores que envolvem a condição experimental são diversos, mas possivelmente, essa capacidade de tolerância se deve a adaptação edáfica (YAU, et al., 1994; TORUN, 2006).

TABELA 5 - TEOR E CONTEÚDO DE BORO NA PARTE AÉREA (SEM OS GRÃOS), GRÃOS E TOTAL E TEOR NA FOLHA BANDEIRA DAS CULTIVARES DANIELLE, IMPERATRIZ, KWS IRINA E PLANET DE CEVADA, EM FUNÇÃO DE DOSES DE BORO APLICADAS A LANÇO EM PRÉ-SEMEADURA.

Dose B Kg há	-----Teores de B (mg kg <sup>-1</sup> )-----			-----Conteúdo (g planta <sup>-1</sup> )-----		
	Parte aérea	Grãos	Bandeira	Parte aérea	Grãos	Total
<b>Danielle</b>						
0	2,81 a	0,51 a	3,18 d	9,33 a	0,17 a	9,5 a
0,5	2,84 a	0,61 a	4,14 ab	7,26 a	0,66 a	7,91 a
1	2,53 a	0,62 a	5,74 b	7,47 a	0,6 a	8,07 a
2	2,09 a	1,23 a	6,39 ab	6,21 a	1,85 a	8,07 a
4	2,45 a	0,62 a	17,86 ab	6,96 a	1,07 a	8,03 a
6	2,64 a	0,7 a	16,24 b	8,03 a	1,19 a	9,22 a
12	2,28 a	0,68 a	23,87 ab	6,55 a	0,81 a	7,36 a
14	3,04 a	0,81 a	18,86 ab	7,38 a	1,07 a	8,46 a
<b>Imperatriz</b>						
0	1,58 a	0,55 b	9,06 A	5,48 a	0,87 a	6,35 a
0,5	1,89 a	0,53 b	10,24 A	5,5 a	0,83 a	6,33 a
1	2,29 a	0,62 ab	14,69 A	7,18 a	1,2 a	8,37 a
2	2,1 a	0,65 ab	18,12 A	5,92 a	1,31 a	7,23 a
4	2,05 a	0,79 ab	25,3 A	6,39 a	1,01 a	7,4 a
6	1,99 a	0,64 ab	40,58 A	5,55 a	0,99 a	6,54 a
12	1,95 a	0,73 a	68,52 A	5,41 a	1,48 a	6,89 a
14	2,6 a	0,64 ab	24,14 A	6,96 a	0,94 a	7,91 a
<b>KWS Irina</b>						
0	1,7 a	0,58 ab	3,4 c	4,8 b	0,94 a	5,74 b
0,5	1,85 a	0,53 b	3,81 c	5,06 ab	0,81 a	5,87 b
1	1,68 a	0,62 ab	3,94 c	4,88 ab	1,13 a	6,01 b
2	2,17 a	0,57 ab	8,68 bc	6,51 ab	1,07 a	7,58 ab
4	2,3 a	0,61 ab	12,21 ab	6 ab	0,83 a	6,84 ab
6	2,13 a	0,63 ab	16,24 ab	8,43 a	1,57 a	9,99 a
12	2,21 a	0,62 ab	23,87 a	5,2 ab	0,97 a	6,16 ab
14	1,71 a	0,72 ab	7,15 bc	4,67 a	1,32 a	5,99 b

Tabela 5 – continuação

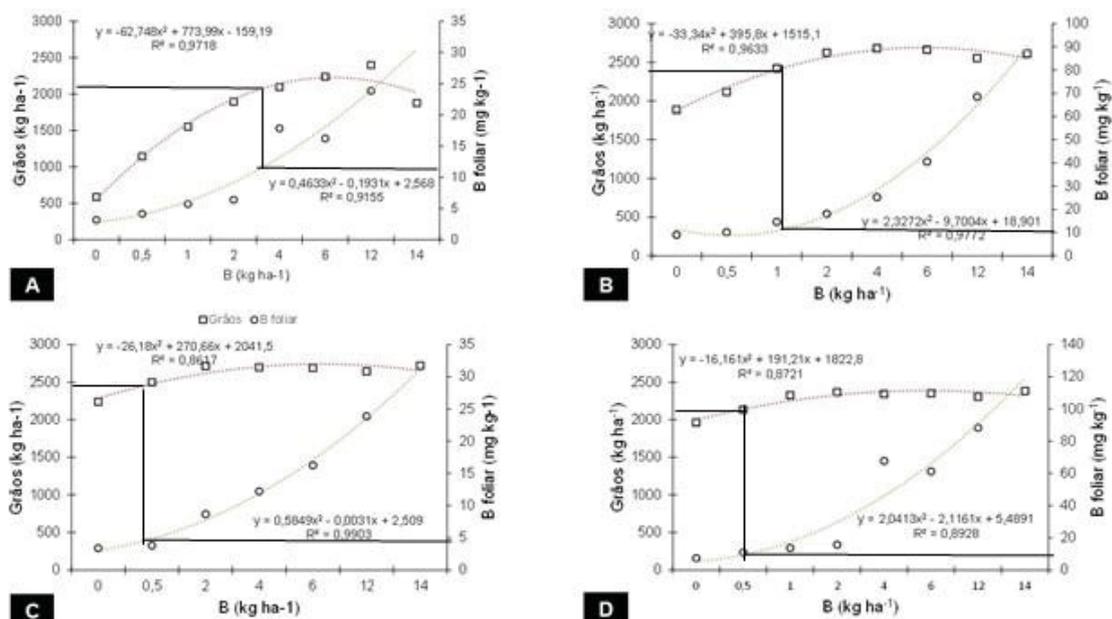
Dose B Kg há	-----Teores de B (mg kg <sup>-1</sup> )-----			-----Conteúdo (g planta <sup>-1</sup> )-----		
	Parte aérea	Grãos	Bandeira	Parte aérea	Grãos	Total
Planet						
0	2,02 a	0,58 a	7,36 b	4,74 a	0,7 a	5,45 a
0,5	2,11 a	0,66 a	10,8 ab	5,04 a	0,92 a	5,96 a
1	2,02 a	0,59 a	13,7 ab	5,49 a	0,89 a	6,38 a
2	1,7 a	0,56 a	15,7 ab	5,2 a	0,92 a	6,12 a
4	1,9 a	0,67 a	67,74 ab	4,33 a	0,76 a	5,09 a
6	2,44 a	0,68 a	61,29 ab	6,25 a	1,01 a	7,25 a
12	2,56 a	0,66 a	88,36 a	6,26 a	1,09 a	7,35 a
14	2,29 a	0,67 a	28,86 ab	5,69 a	0,74 a	6,43 a

Fonte: A autora (2022).

### 3.2 DEFINIÇÃO DE NÍVEL CRÍTICO NA CEVADA

Valores adequados de B na folha bandeira variam entre 5 a 20 mg kg<sup>-1</sup> (NEPAR, 2019). Considerando a produtividade obtida, e que o nível crítico de um nutriente corresponde àquele relacionado a 90% da produtividade máxima, os níveis críticos calculados de B para a cultivar Danielle, Imperatriz, KWS Irina e Planet foram de 10,24, 11,17, 4,69 e 9,86 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente (FIGURA 3).

FIGURA 3 - PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E TEOR DE BORO NA FOLHA BANDEIRA DE CEVADA, CULTIVAR DANIELLE (A), IMPERATRIZ (B), KWS IRINA E PLANET, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE BORO APLICADAS A LANÇO EM PRÉ-SEMEADURA.



Fonte: A autora (2022).

### 3.3 EFEITO RESIDUAL DE B NA SOJA

A produtividade de soja não apresentou interferência do efeito residual da adubação com B na safra anterior com o cultivo de cevada, para as cultivares Danielle, KWS Irina e Planet (TABELA 6). Para o tratamento com resíduo da cultivar Imperatriz, o melhor resultado obtido foi utilizando 12 kg há<sup>-1</sup>, incrementando 357 Kg a produtividade, cerca de 7%.

A soja é considerada relativamente insensível a deficiência de B (ROSS, et al., 2006) e as respostas a adubação com B são pequenas (SUTRADHAR, et al., 2017). Freeborn, et al. (2001), testaram aplicação de B foliar em diferentes dosagens e não obtiveram resultados no desenvolvimento da planta, nem aumento da produtividade. Diferentemente dos resultados obtidos por Rerkasen, et al., (1993), que obtiveram aumento de produtividade e otimização dos parâmetros de rendimento. É importante conhecer a susceptibilidade do material genético a deficiência de B, para incluir no critério de decisão de uso em áreas de deficiência de B no solo.

TABELA 6- PRODUTIVIDADE DE SOJA (Kg ha<sup>-1</sup>) CULTIVAR M5917IPRO, SOB CONDIÇÕES DE EFEITO RESIDUAL DE ADUBAÇÃO BORATADA, PÓS PRODUÇÃO DE CEVADA, CULTIVARES DANIELLE, IMPERATRIZ, KWS IRINA E PLANET, SAFRA 2020/2021 NO MUNICÍPIO DE ARAPOTI – PARANÁ.

B Kg ha <sup>-1</sup>	Cultivar de cevada			
	Danielle	Imperatriz	KWS Irina	Planet
0	4808 a	4760 b	4947 a	4908 a
0,5	4919 a	4889 ab	5022 a	4919 a
1	4980 a	5084 ab	5087 a	4925 a
2	4987 a	5014 ab	5003 a	5024 a
4	4870 a	5024 ab	5013 a	4977 a
6	4833 a	5017 ab	5048 a	4939 a
12	4803 a	5117 a	5005 a	4971 a
14	4801 a	4862 ab	4905 a	4991 a
CV%	2,93	2,37	2,7	3,34

FONTE: A autor (2022).

## CONCLUSÕES

As cultivares Danielle, Imperatriz e KWS Irina respondem positivamente ao uso de adubação com B, sendo a Danielle a mais responsiva e a Planet a menos responsiva.

Os níveis críticos foliares calculados de B para a cultivar Danielle, Imperatriz, KWS Irina e Planet foram de 10,24, 11,17, 4,69 e 9,86 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Houve pouco ou nenhum efeito residual da aplicação de B na cevada, na produtividade de grãos da soja, somente sendo identificado para dose de 12 Kg ha<sup>-1</sup> aplicado na cultivar Imperatriz.

## REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.
- ASAD, A.; BELL, R.W.; DELL, B. A critical comparison of the external and internal boron requirements for contrasting species in boron-buffered solution culture. **Plant soil**, v. 233, p. 31-45, 2001.
- ABAT, M., F., et al., Responses of canola to the application of slow-release boron fertilizers and their residual effect. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 79, p. 97–103, 2015.
- AYVAZ, M., et al., Does boron affect hormone levels of barley cultivars? **Eurasia J. Biosci**, v. 6, p. 113-120, 2012.
- BELLALLOUI, N.; BROWN, P.H. Cultivar differences in boron uptake and distribution in celery (*Apium graveolens*), tomato (*Lycopersicon esculentum*) and wheat (*Triticum aestivum*). **Plant Soil**, v. 198, p. 153–158, 1998.
- BIELSKI, S., et al., Impact of Nitrogen and Boron Fertilization on Winter Triticale Productivity Parameters. **Agronomy**, v.10, n. 279, p. 12, 2020.
- BINGHAM, F. T., Boron. In *Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties*, ed. A. L. Madison: American Society of Agronomy, p. 431-448, 1982.
- BLEVINS, D.G.; LUKASZEWSKI, K.M. Boron in plant structure and function. **Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol**, v. 49, p. 481–500, 1998.
- BRENNAN, R.F.; ADCOCK, K.G. Incidence of boron toxicity in spring barley in Southwestern Australia. **Journal Plant Nutrition**, v. 27, p. 411–425, 2004.
- BROWN, P.H.; SHELP, B.J. Boron mobility in plants. **Plant and Soil, Dordrecht**, v.193, p.85-101, 1997.
- BROWN, P.H., HU, H. Boron mobility and consequent management in different crops. **Better Crops Plant Food**, v. 82, n. 2, p. 28-32, 1998.
- BYERS, D. E., MIKKELSEN, R. L., COX, F. R. Greenhouse evaluation of four boron fertilizer materials. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, n. 4/5, p. 717 – 725, 2001.
- CARTWRIGHT, B., et al., Boron toxicity in South Australian barley crops. **Aust. J. Agric. Res**, v. 37, p. 351–359, 1986.

CLEMENTE, J. M., et al., Boron, copper, and zinc affect the productivity, cup quality and chemical compounds in coffee beans. **Journal of Food Quality Volume**, 2018.

CHENG, C.; RERKASEM, B. Effects of boron on pollen viability in wheat. **Plant Soil**, v. 155, p. 313–315, 1993.

COMMUNAR, G.; KEREN, R. Effect of transient irrigation on boron transport in soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 71, p. 306-313, 2007.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos – Safra 2021/22, quinto levantamento. Brasília, v.9, n.5, p. 1-101, 2022.

DELL, B.; HUANG, L. Physiological response of plants to low boron. **Plant Soil**, v. 193, p. 103–120, 1997.

DAVIS, R.D., et al., Critical levels of twenty potentially toxic elements in young spring barley. **Plant Soil**, v. 49, p. 395–408, 1978.

DAVISON, B. H., et al., Plant cell walls: basics of structure, chemistry, accessibility and the influence on conversion. **Aqueous Pretreatment of Plant Biomass for Biological and Chemical Conversion to Fuels and Chemicals**, p. 23-38., 2013.

EL-SHERIEF, M. A. B. et al. Critical Level Limitation of Nitrogen For Wheat Plants Cultivation in ElGimmiza Area. **J.Soil Sci. and Agric. Eng**, v. 7, p.487 – 492, 2016.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Manual de análises químicas do solo, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa Informação tecnológica, 2009.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – 5. ed.,– Brasília, DF : Embrapa, 2018. 356 p.

EUBA NETO, et al., Efeito de doses de boro no crescimento vegetativo de girassol em diferentes classes de solos. **Revista Ceres**, v. 61, n. 3, p. 99-405, 2014.

ESTEBAN, V.; Remediation of salt and boron-affected soil by addition of organic matter: An investigation into improving tomato plant productivity. **Idesia (Chile)**, v. 34, n. 3, p. 25-32, 2016.

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

FAGERIA, N. K. et al., Foliar fertilization of crop plants. **Journal of plant nutrition**, v. 32, p. 1044-1064, 2009.

FERGUSON, D., R., et al., Compacted muriate of potash fertilizers containing micronutrients and methods of making same. US Patent 20130031943 A1. US Patent Office, Washington, DC, 2013.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A Computer Analysis System To Fixed Effects Split Plot Type Designs. **Revista brasileira de biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FERREIRA, M. M. M. Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho híbrido BRS 1010. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 6, n. 1, p. 74-83, 2012.

FREEBORN, J.R., et al., Soybean yield response to reproductive stage soil-applied nitrogen and foliar-applied boron. **Agron. J.** v. 93, p. 1200- 1209, 2001.

GOLDBERG, S., et al. Soil boron extractions as indicators of boron content of field-grown crops. **Soil Science**, v.167, n.11, p.720-728, 2002.

GOLDBERG, S. et al. Predicting Boron Adsorption By Soils Using Soil Chemical Parameters In The Constant Capacitance Model. **Soil Science Soc. Am. J.** v. 64, n. 4, p. 1356-1663, 2000.

GOLDBACH, H.E.; et al., Discussion paper: Boron – How can the critical level be defined? **J. Plant Nutr. Soil Sci**, v. 163, p. 115–121, 2000.

GOTZ, L. F., et al., Response to Application and Tissue Diagnosis of Boron Deficiency and Toxicity in Maize, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, p. 14 (2021).

GUPTA, U.C. Boron and molybdenum nutrition of wheat, barley and oats in Prince Edward Island soils. **Can. J. Soil Sci**, v.51, p. 415–422, 1971.

GUPTA, U.C.; et al; Effects of boron and nitrogen on grain yield and boron and nitrogen concentrations of barley and wheat. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 40, p. 723–726, 1976.

GUPTA, U.C., Boron nutrition of crops. **Adv. Agron.**, v. 3, p. 273–307, 1980.

GUPTA, U.C. Deficiency, sufficiency an toxicity levels of boron in crops. In: GUPTA, U.C.(Ed.). Boron and its role in crop production. Boca Raton: CRC, p. 147-55, 1993.

HASSAN, M. et al., Genes mapping to boron tolerance QTL in brley identified by suppression substractive hybridization. **Plant Cell Environ**, v. 33, p. 188-198, 2010.

HRYCZYNA, A. B., et al., Adubação foliar de boro em dois híbridos de canola. **Nativa**, v. 9, n. 5, p. 600-604, 2021.

HU, H. et al. Isolation and characterization of soluble boron complexes in higher plants (The mechanism of phloem mobility of boron). **Plant Physiol.**, v. 113, p. 649–655, 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – outubro de 2020**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>. Acesso em: 10 out. 2020.

JAMAMI, N. et al., Resposta da cultura do milho (*Zea mays* L.) à aplicação de boro e zinco no solo. **Acta. Sci. Agron**, Maringá, v. 28, n. 1, p. 99-105, 2006.

JAGADALA, K. SAHOO, J. P. Critical limit of boron in acid laterite soil for cultivation of sunflower (*Helianthus annuus* L.). **International Journal of Chemical Studies**, v. 8, n. 3, p. 2510-2513, 2020.

JOKANOVIC, B. M., et al., Boron tolerance in wheat accessions of different origin estimated in controlled and field conditions. **J. Agric. Sci. Tech.** v. 19, p. 345–356, 2017.

JOKANOVIC, M. B. Boron Toxicity and Deficiency in Agricultural Plants. **International Journal of Molecular Sciences**, p.20, 2020.

KAPPES, C., GOLO, A. L., CARVALHO, M. A. C. Doses e épocas de aplicação foliar de boro nas características agronômicas e na qualidade de sementes de soja. **Scientia agraria**, Curitiba, v.9, n.3, p.291-297, 2008.

LANDI, M. et al., Boron toxicity in higher plants: An update. **Planta**, v. 250, p. 1011–1032, jun. 2019.

LIMA, J. C. P. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; LIMA, J. G. C.; LIRA JUNIOR, M. A. Níveis críticos e tóxicos de boro em solos de Pernambuco determinados em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 73-79, 2007.

LOVATT, C. J., Evolution of xylem resulted in a requirement for boron in the apical meristems of vascular plants. **New Phytol.**, v. 99, p. 509–522, 1985.

MACULAN, A. K. Crescimento e rendimento da cultura do trigo com aplicações de boro. **Agrarian**, Dourados, v. 13, n. 50, p. 460-466, 2020.

MARGER, K. et al. Development and re-evaluation of tourmaline reference materials for in situ measurement of boron values by secondary ion mass spectrometry. **Geostandards and geoanalytical research**, revista online, v.44, n.3, p.593-615, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/ggr.12326>. Acesso em: 08. nov. 2020.

MARSCHALL, H. R. et al. Lithium, boron and chlorine as tracers for metasomatism in high-pressure metamorphic rocks: a case study from Syros (Greece). **Mineralogy and Petrology**, p. 291-302, 2009.

MATHEW, J. et al., Standardization of critical boron level in soil and leaves of coconut palms grown in a tropical Entisol. *J. Soil Sci. Plant Nutr*, v.18, n. 2, 2018.

MENGEL, K. & KIRBY, E. A. Principles of plant nutrition. **Bern: International Potash Institute**, p.687, 2001.

MORTVEDT, J.J., J.R. WOODRUFF. Technology and application of boron fertilizers for crops. In: U.C. Gupta, editor, Boron and its role in crop production role in crop production. CRC Press, Boca Raton, p. 157–176, 1993.

MORTVEDT, J.J. Availability of boron in various boronated fertilizers. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 32, p. 433–437, 1968.

Núcleo Estadual Paraná - NEPAR. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 289, 2019.

OLIVEIRA NETO, W., et al., Boron extraction and vertical mobility in Paraná State Oxisol, Brazil. **Rev Bras Cienc Solo**, v. 33, p. 1259-1267, 2009.

PALLOTTA, M., et al., Molecular basis of adaptation to high soil boron in wheat landraces and elite cultivars. **Nature**, p.88-91, 2014.

PAULL, J.G.; CARTWRIGHT, B.; RATHJEN, A.J. Responses of wheat and barley genotypes to toxic concentrations of soil boron. *Euphytica*, v. 39, p. 137–144, 1988.

REHMAN, S., et al., Inverse relationship between boron toxicity tolerance and boron contents of barley seed and root. **J. Plant Nutr**, v. 29, p. 1779–1789, 2006.

REHMAN, A., et al., Boron nutrition of rice in different production systems. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 38, p.25, 2018.

RERKASEN, B., et al., Boron deficiency in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] Peanut (*Arachis hypogaea* L.) and black gram [*Vigna mungo* (L.) Hepper]: symptoms in seeds and differences among soybean cultivars in susceptibility to boron deficiency. *Plant and Soil*, v. 150, p. 289-294, 1993.

RERKASEM, B., et al., Grain set failure in boron deficient wheat. **Plant Soil**, v. 155, p. 309–312, 1993.

RERKASEM, B.; et al., Evaluating boron efficiency in heat tolerant wheat germplasm. **Int. J. Agric. Biol.** v. 21, p. 385–390, 2019.

RERKASEM, B.; JAMJOD, S. Boron deficiency in wheat: A review. **Field Crop. Res.**, v. 89, p. 173–186, 2004.

ROSS, J. R., et al., Boron Fertilization Influences on Soybean Yield and Leaf and Seed Boron Concentrations. **Agronomy journal**, v. 98, p. 198-205, 2006.

SÁ, A., ERNANI P. Boron leaching decreases with increases on soil pH. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v.40, p.1-7, 2016.

SAHA, A. et al., Determining critical limit of boron in soil for wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of plant nutrition**, v.41, p. 2091-2102, set. 2018.

SCHNURBUSCH, T., et al., Boron toxicity tolerance in wheat and barley: Australian perspectives. **Breed. Sci.**, v.60, p.297–304, 2010.

SHIREEN, F. et al., Boron: Functions and approaches to enhance its availability in plants for sustainable agriculture. **Int. J. Mol. Sci.**, v. 19, p. 1856-1876, 2018.

SHORROCKS, V.M. The occurrence and correction of boron deficiency. **Plant Soil**, v. 193, p.121–148, jun. 1997.

SILVA, N. M., et al., Dez anos de sucessivas adubações com boro no algodoeiro. **Bragantia**, v. 54, p. 177-185, 1995.

SILVA, R. C. et al., Slow and Fast-Release Boron Sources in Potash Fertilizers: Spatial Variability, Nutrient Dissolution and Plant Uptake. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 82, p. 1437–1448, 2018.

STANGOULIS, J. et al., The mechanism of boron mobility in wheat and canola phloem. **Plant Physiol**, v.153, p. 876–881, 2010.

STEINER, F., LANA, M. C., Effect of pH on boron adsorption in some soils of Paraná, Brazil. **Chilean J Agric**, v. 73, p. 181-186, 2013.

SUTRADHAR, A.K.; KAISER, D.E.; BEHNKEN, L.M. Soybean Response to Broadcast Application of Boron, Chlorine, Manganese, and Zinc. **Agron. J.**, v. 109, p. 1048–1059, 2017.

SZULK, W., RUTKOWSKA, B. Diagnostics of boron deficiency for plants in reference to boron concentration in the soil solution. **Plant Soil Environ.**, v. 59, p. 372-377, 2013.

TAVARES, L. C., et al, Suplementação de boro na semeadura e no perfilhamento em cevada: rendimento e qualidade de sementes. **Rev. Cienc. Agrar**, v. 61, 2018.

TRAJANO, H. L.; WYMAN, C. E. Fundamentals of biomass pretreatment at low pH. **Aqueous pretreatment of plant biomass for biological and chemical conversion to fuels and chemicals**, p.103-128, 2013.

TRAUTMANN, R. R. et al. Potencial de água do solo e adubação com boro no crescimento e absorção do nutriente pela cultura da soja. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 38, n. 1, p. 240-251, 2014.

TORUN, A., et al., Genotypic variation in tolerance to boron toxicity in 70 durum wheat genotypes. **Turk. J. Agric. For.**, v. 30, p. 49–58, 2006.

VITTI, G. C., GRANDO, N. J. O uso de micronutrientes SOLOS na maximização da produção. **Visão agrícola**, n. 5, p. 24-26, 2006.

WANG, N. et al., Boron deficiency in woody plants: Various responses and tolerance mechanism. **Front. Plant Sci**, v. 6, p. 1-14, 2015.

WARAICH, E. A. et al. Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. **Australian Journal of Crop Science**, v. 5, n. 6, p. 764-777, 2011.

WONGMO, J., JAMJOD, S.; RERKASEM, B. Contrasting responses to boron deficiency in barley and wheat. **Plant Soil**, v. 259, p. 103-110, 2004.

YAU, S.K et al., Phenotypic variation in boron toxicity tolerance in barley, durum and bread wheat. **Rachis**, v. 13, p. 20–25, 1994.

YAU, S.K., et al., Phenotypic variation in boron toxicity tolerance in barley, durum and bread wheat. **Rachis**, v. 13, p. 20-25, 1994.

ZHOU T, et al. Low-boron tolerance strategies involving pectin-mediated cell wall mechanical properties in brassica napus. **Plant and Cell Physiology**, v. 58, p.1991-005, 2017.