

FELIPE SAMWAYS SANTOS

**ADUBAÇÃO BORATADA NA CULTURA DO CRAMBE EM
LATOSSOLOS**

**CASCADEL
PARANÁ - BRASIL
FEVEREIRO - 2015**

FELIPE SAMWAYS SANTOS

ADUBAÇÃO BORATADA NA CULTURA DO CRAMBE EM LATOSSOLOS

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Dr. Luiz Antônio Zanão Júnior
Co-orientador: Dr. Reginaldo Ferreira Santos

**CASCVEL
PARANÁ - BRASIL
FEVEREIRO - 2015**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

S235a

Santos, Felipe Samways

Adubação boratada na cultura do crambe em latossolos./ Felipe Samways Santos. Cascavel, 2015.

36 p.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Antônio Zanão Júnior

Coorientador: Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia de Energia na
Agricultura

1. *Crambe abyssinica*. 2. Boro. 3. Nutrição de culturas energéticas. I. Zanão Júnior, Luiz Antônio. II. Santos, Reginaldo Ferreira. III. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. IV. Título.

CDD 21.ed. 633.85

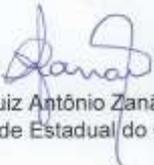
Ficha catalográfica elaborada por Helena Soterio Beijo – CRB 9º/965

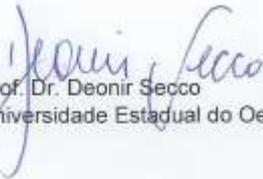
FELIPE SAMWAYS SANTOS

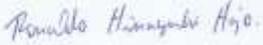
"Adubação boratada na cultura do crambe em Latossolos"

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, **aprovada** pela seguinte Banca Examinadora:

Orientador:


Prof. Dr. Luiz Antônio Zanão Junior
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel


Prof. Dr. Deonir Secco
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel


Prof. Dr. Ronaldo Hissayuki Hojo
Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR/Santa Tereza

Cascavel, 19 de fevereiro de 2015.

Todo e qualquer objetivo por mim alcançado sempre foi e sempre será dedicado à minha família, em especial aos meus avós Carlinhos e Yvany, e minha mãe Soraya.

Desta vez, não poderia ser diferente.

Muito obrigado. É para vocês.

AGRADECIMENTOS

A gratidão é um sentimento nobre, bonito, que nos faz recordar e agradecer alguém por algo bom que nos tenha feito. Desta forma, agradeço a todos que colaboraram para que esta etapa fosse concluída, em especial:

A Deus, por sempre me conceder força, saúde e capacidade para alcançar meus objetivos.

A minha família pelo apoio e suporte oferecidos em todos os momentos de minha vida.

A minha namorada Juliana, pelo apoio, carinho, companheirismo e paciência.

Ao meu orientador Dr. Luiz Antônio Zanão Júnior pelo auxílio e contribuições, fatores fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa.

Aos professores e demais colaboradores do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura.

Ao Instituto Agronômico do Paraná e seus colaboradores por oferecer toda estrutura necessária para o desenvolvimento da pesquisa.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES/DS pela concessão da bolsa de estudos.

Muito obrigado!

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Tabela 1. Atributos químicos e físicos dos solos avaliados.....	12
Tabela 2. Altura da planta; produção de matéria seca de raízes, caule e frutos; frutos/planta; ramos/planta; massa de cem grãos e teor foliar de B em plantas de crambe em função do solo	14
Tabela 3. Altura da planta, número de frutos e ramos por planta de crambe em função de doses de B adicionadas ao solo.....	16
Tabela 4. Produção de matéria seca de raízes, caule, frutos; massa seca de cem grãos e teor foliar de B em plantas de crambe em função de doses de B adicionadas ao solo.....	17
Figura 1. Sintomas de toxidez provocada pelo excesso de B (8 mg kg ⁻¹ de B aplicado no solo) em folhas de crambe.....	19

SANTOS, Felipe Samways. MSc, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Fevereiro de 2015. **Adubação boratada na cultura do crambe em Latossolos**. Professor Orientador Dr. Luiz Antonio Zanão Júnior.

RESUMO

A cultura do crambe desponta no cenário energético como uma fonte de matéria prima para a produção de biodiesel, onde a escassez de informações técnicas referentes à cultura dificulta a produção em larga escala e conseqüentemente a consolidação do crambe no cenário energético. Assim, com esse trabalho objetivou-se avaliar a adubação boratada na cultura do crambe em dois Latossolos. O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente ao Instituto Agrônômico do Paraná, no município de Santa Tereza do Oeste - PR. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 2x3, sendo dois solos com diferentes texturas (argiloso e textura média) e três doses de B (0, 1, e 8 mg kg⁻¹) aplicadas no solo. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com cinco repetições. A unidade experimental foi constituída por um vaso contendo 2,0 kg de solo com duas plantas de crambe. Foram avaliados a altura da planta, produção de matéria seca de raízes, caules e frutos, número de frutos por planta, número de ramos por planta, massa de cem grãos e teor foliar de B. A textura do solo não influenciou nenhuma variável avaliada. Não houve interação significativa entre as doses de B aplicadas e a textura do solo. A altura das plantas, número de ramos por planta e massa seca de cem frutos não foram influenciados pela adubação boratada. O número de frutos por planta, produção de massa seca de raízes, caule e frutos foram maiores com a aplicação de 1 mg kg⁻¹ de B no solo. Quanto maior a dose de B, maiores foram os teores desse micronutriente nas folhas do crambe. A aplicação de 8 mg kg⁻¹ de B provocou sintomas visuais de toxidez nas folhas de crambe.

Palavras-chave: *Crambe abyssinica*, boro, nutrição de culturas energéticas.

SANTOS, Felipe Samways. MSc, Western Paraná State University, February 2015.
Fertilization borated in crambe culture in Latosols. Advisor: Dr. Luiz Antonio Zanão Júnior.

ABSTRACT

Crambe culture is emerging in the energy stage as a source of raw material for biodiesel production where the shortage of technical information related to culture hinders large-scale production and therefore the consolidation of crambe in the energy stage. Therefore, this study is aimed at evaluating boron fertilization on crambe crop in two Latosols. The experiment was conducted in a greenhouse belonging to the Agronomic Institute of Paraná, in Santa Tereza do Oeste - PR. The treatments were arranged in a 2x3 factorial project in two soils with different textures (clayish and medium texture) and three doses of B (0, 1 and 8 mg kg⁻¹) applied to the soil. The experimental design had randomized blocks with five repetitions. The experimental unit consisted of a vase containing 2.0 kg of soil with two crambe plants. We evaluated the plant height, dry matter production of roots, stem and fruits, number of fruits per plant, number of branches per plant, weight of one hundred grains and the leaf B content. The texture of the soil did not affect any variable evaluated. There was no significant interaction between the B doses applied and the soil texture. The plant height, number of branches per plant and dry mass of one hundred fruits were not affected by the boron fertilization. The number of fruits per plant and dry matter production of roots, stems and fruits were higher with the use of 1 mg kg⁻¹ B in the soil. The higher the dose of B, the greater were the levels of this micronutrient in crambe leaves. The application of 8 mg kg⁻¹ B caused visible toxicity symptoms in the crambe leaves.

Keywords: *Crambe abyssinica*, boro, nutrition for energy crops.

ÍNDICE

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	VI
RESUMO.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 CULTURAS ENERGÉTICAS	4
2.2 A CULTURA DO CRAMBE	5
2.3 NUTRIÇÃO MINERAL DO CRAMBE	6
2.4 BORO.....	8
2.5 BORO EM BRÁSSICAS	9
2.6 COMPORTAMENTO DO BORO EM SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS.....	10
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
4.1 EFEITO DO TIPO DE SOLO.....	14
4.2 EFEITO DAS DOSES DE BORO.....	15
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	20
REFERÊNCIAS	21

1. INTRODUÇÃO

Os atuais modelos de produção e consumo presentes na sociedade contemporânea tornam cada vez maior a necessidade de obtenção de matéria prima, bem como a geração de fontes alternativas de energia para inserção na matriz energética e consequente redução na utilização do petróleo e demais combustíveis fósseis que ainda representam o maior percentual de energia consumida no mundo.

Para atender a demanda exigida e satisfazer as necessidades do consumo humano, o uso dos derivados de petróleo é exacerbado, ocasionando inúmeros impactos ambientais como emissão de gases hidrocarbonetos, poluição e contaminação de recursos hídricos e solo provocada por constantes vazamentos em plataformas petrolíferas, além do lançamento de gases causadores do efeito estufa na atmosfera.

A adoção de fontes renováveis de energia permite a alteração da matriz energética, além de representar inúmeros benefícios de ordem social, econômica e ambiental, uma vez que, será possível a geração de empregos, redução na emissão de gases poluentes e consequente melhora na saúde populacional.

Presente entre as principais fontes energéticas renováveis, os biocombustíveis apresentam lugar de destaque em países europeus. No cenário brasileiro, o biodiesel vem sendo introduzido na matriz energética de modo crescente, principalmente após o ano de 2004, quando o Governo Federal lançou o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel.

Dentre as principais matérias primas para produção de biodiesel, tem-se resíduos animais como a gordura e culturas energéticas como soja, canola, crambe, entre outras.

Um dos principais obstáculos enfrentados consiste em conciliar a produção energética sem afetar a produção alimentar, uma vez que culturas como soja e canola estão presentes na base da alimentação humana.

O crambe, uma oleaginosa de origem africana, é uma cultura de inverno e desponta no cenário como uma alternativa a ser considerada, tendo em vista que seu grão não é recomendado para a alimentação humana devido à sua toxidez.

Santos et al., (2012) citam algumas possibilidades de uso do óleo extraído da semente de crambe. Conforme os autores é possível empregar o óleo em diversos segmentos industriais, como na produção de lubrificante industrial, na fabricação de borracha, nylon,

plásticos e adesivos, entre outros. Ainda, existe a possibilidade da utilização do óleo de semente de crambe como matéria prima para produção de biodiesel. Contudo, as pesquisas ainda são bastante incipientes para que esta prática possa ser consolidada no panorama industrial.

Pitol et al., (2010) destacam algumas vantagens apresentadas pela cultura, entre elas o baixo custo de implantação e manutenção, a tolerância à seca e à baixas temperaturas, além do curto ciclo vegetativo (aproximadamente 90 dias) e teor de óleo nas sementes de aproximadamente 40 %.

De acordo com Santos et al., (2012), o crambe apresenta características como a fácil adaptação, rusticidade e precocidade, além da possibilidade de mecanização em todas as etapas do cultivo, utilizando-se da adaptação de tecnologias utilizadas na produção de grandes culturas. Mediante as vantagens apresentadas, Pitol et al., (2010) destacaram a cultura como opção para a safrinha nas regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste do Brasil.

Contudo, por ser uma cultura exótica e pouco conhecida, no Brasil, faz-se necessário o desenvolvimento de pesquisas relacionadas ao comportamento e desenvolvimento da cultura que possam trazer informações técnicas e subsidiar futuras produções em larga escala para consolidar a cultura no cenário agroenergético.

Um dos fatores essenciais para o bom desempenho de uma cultura é a quantidade de nutrientes exigida pela mesma. No entanto, para a cultura do crambe, Rosolem e Steiner (2014) evidenciam a ausência de recomendações técnicas específicas relacionadas a adubação.

O crambe pertence a família da brássicas, que de modo geral, apresenta como característica o alto poder de extração de boro (B), exigindo maiores quantidades deste elemento que outras culturas.

Bergamin et al., (2005) explicam que para o cultivo de brássicas no Brasil, indica-se que a nutrição com B seja feita de maneira frequente, tendo em vista as respostas positivas observadas em função da adubação boratada.

Segundo Silva et al., (2012), o B desempenha importantes funções relacionadas ao desenvolvimento estrutural da parede celular e atua também no metabolismo de carboidratos e RNA. Bastos e Carvalho (2004) destacam a atuação do B no transporte de açúcares e na formação de grãos.

Atualmente, a maioria das pesquisas relacionadas à nutrição mineral trazem respostas apenas para as grandes culturas, já consolidadas no cenário agrícola. Deste modo, para a

cultura do crambe, encontram-se pesquisas relacionadas a fitotecnia, adubação com macronutrientes, bem como a utilização do óleo das sementes em processos industriais. No entanto, pouco se conhece a respeito das respostas da cultura à nutrição com micronutrientes como o B, e ainda, seu desenvolvimento em diferentes solos. Assim, o presente estudo objetivou avaliar a resposta do crambe à adubação boratada em dois Latossolos, sendo um de textura média e um argiloso.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CULTURAS ENERGÉTICAS

Visando substituir as fontes fósseis de energia, atualmente, muito se pesquisa sobre culturas energéticas oleaginosas capazes de serem utilizadas como fonte de matéria prima para a produção de energias alternativas como o biodiesel (SILVA et al., 2012).

Conforme Silva e Freitas (2008), o biodiesel é um biocombustível proveniente de fontes renováveis como gordura animal ou ainda óleos vegetais, podendo ser obtido por esterificação, transesterificação ou craqueamento. Os autores citam ainda que o biocombustível pode ser utilizado de forma pura ou natural, ou ainda, misturado ao óleo diesel originado do petróleo.

Várias espécies com potencial oleaginoso são pesquisadas para que surjam novas possibilidades concretas de aplicação e obtenção de combustíveis alternativos (TRZECIAK et al., 2008).

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2012), houve um crescimento considerável na disponibilidade interna de biodiesel, onde a principal matéria-prima foi o óleo de soja. Contudo, outras culturas são recomendadas por BRASIL (2005), com destaque para o dendê, coco, babaçu, mamona, girassol, canola, amendoim e algodão, além do pinhão manso, entre outras (VIANA, 2013).

As culturas anuais de ciclo primavera-verão representam a base para a produção de biodiesel no Brasil. Pouco se conhece sobre culturas de outono-inverno, como o crambe, que possam ser inseridas no contexto permitindo a continuidade do processo produtivo. Neste sentido, o crambe é uma alternativa a ser explorada, tendo em vista a escassez de informações técnicas referentes à cultura (JASPER et al., 2010).

2.2 A CULTURA DO CRAMBE

O crambe pertence à família das brássicas, assim como o nabo forrageiro (*Raphanus raphanistrum* L.), a mostarda (*Brassica campestris* L.) e a canola (*Brassica napus* L.) (IAC, 2013). De acordo com Oplinger et al. (1991) é uma cultura bastante cultivada na América do Sul, América do Norte, Europa, Ásia e África.

Embora seja bastante rústico e totalmente adaptável, o crambe apresenta complexidade em algumas características genéticas (WARWICK e GUGEL, 2003). Comumente observa-se desuniformidade no amadurecimento, bem como deiscência na maturação de grãos,

No Brasil, recomenda-se que a semeadura do crambe ocorra entre os meses de março a junho, dependendo da precipitação ocorrida na região. O espaçamento entre linhas deve ser de 0,17 a 0,45 m e densidade de semeadura entre 8 e 22,5 kg ha⁻¹. A profundidade de semeadura deve ser de 3 cm (KNIGHTS, 2002; PITOL et al., 2010).

O crambe apresenta altura média de 1 m e ramifica-se muito próximo ao solo. Suas folhas são ovais e assimétricas e suas flores são brancas. Seu fruto é uma cápsula denominada botanicamente de silíqua e apresenta coloração verde ou marrom esverdeado, que, após madura, passa a apresentar coloração amarelada (OPLINGER et al., 1991). Cada silíqua possui uma única semente de cor verde ou marrom esverdeado, com diâmetro entre 0,8 a 2,5 mm (DESAI; KOTECHA; SALUNKHE, 2004).

A semente do crambe possui aproximadamente 38 % de óleo, e, além da possibilidade de utilização na produção de biodiesel, é comumente aplicada na indústria em geral, uma vez que apresenta em torno de 60 % de ácido erúico (PITOL et al., 2010).

De acordo com Pitol et al., (2010), o ciclo do crambe é relativamente curto, compreendendo aproximadamente 90 dias e embora bastante tolerante ao frio e seca, recomenda-se que até o florescimento, a umidade seja razoável e constante. Contudo, neste mesmo período, a planta apresenta os maiores riscos, ficando bastante vulnerável às geadas.

Após o florescimento, recomenda-se que o desenvolvimento da cultura seja realizado em condições de menor umidade. Isso diminui a incidência de algumas doenças como mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*), mancha de alternária (*Alternaria* sp.), canela preta (*Leptosphaeria maculans*) e podridão de raízes (*Pythium* sp.) (GLASER, 1996).

A produtividade de grãos da cultura do crambe na Europa e nos Estados Unidos já é superior a 3000 kg ha⁻¹ (PITOL et al., 2010). No Brasil, Pitol (2008) afirma que a

produtividade média está entre 1000 e 1500 kg ha⁻¹, o que representa aproximadamente 400 kg ha⁻¹ de óleo (ROSCOE e DELMONTES, 2008). No Paraná, Viana (2013) observou produção superior a 2300 kg ha⁻¹ de grãos.

No Brasil, os primeiros estudos relacionados ao crambe foram realizados no Estado do Mato Grosso do Sul, pela Fundação MS. De acordo com Pitol (2008), o objetivo inicial era avaliar o desempenho da cultura como espécie de cobertura para solos com sistema de plantio direto já consolidado, contudo, os resultados apresentados não foram satisfatórios.

Apesar do insatisfatório desempenho apresentado à época, Ferreira e Silva (2011) afirmam que o crambe apresenta características interessantes como fácil mecanização, além de ser uma espécie oleaginosa que pode ser utilizada como espécie recuperadora da estrutura do solo em sistemas de rotação de culturas. Atualmente, a necessidade de obtenção de novas fontes alternativas de energia permitiu que o crambe fosse analisado novamente e por isso se apresenta como uma boa opção de cultivo na entressafra (ROSA, 2013).

2.3 NUTRIÇÃO MINERAL DO CRAMBE

Quando se deseja trabalhar com uma cultura a campo, é necessário conhecer ao máximo as informações referentes às exigências e necessidades da mesma. Um dos principais critérios a serem considerados é a adubação. Para Kano et al., (2010), é importante conhecer a capacidade de remoção de nutrientes de cada cultura, visto que a nutrição adequada poderá representar maior produção de sementes.

Segundo Broch e Roscoe (2010), para melhor desempenho do crambe, o pH do solo deve estar entre 5,8 e 6,2 (pH em água). Os autores também afirmam que o crambe extrai grandes quantidades de nutrientes, que devem ser repostos.

Para Colodetti et al., (2013), é fundamental conhecer a marcha de absorção de nutrientes de uma cultura. Deste modo, critérios relacionados à qual nutriente, à quantidade, bem como época de maior necessidade são essenciais para o manejo adequado. Ainda, deve-se analisar de que maneira os nutrientes interferem o desenvolvimento e produtividade da cultura para que haja maior produtividade com o menor custo possível (CORRÊA et al., 2001).

Em geral, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre são requeridos em maior quantidade pelas plantas e são considerados macronutrientes (MALAVOLTA. VITTI e

OLIVEIRA, 1997; ZANÃO JÚNIOR, 2012). Caso o ambiente de cultivo apresente deficiência ou ausência de algum dos macronutrientes, é necessário que haja o suprimento através da adubação para que a demanda seja atendida (TAIZ e ZEIGER, 2012).

Sabe-se que o crambe responde à adubação de maneira bastante semelhante a outros pequenos grãos como canola e mostarda (KNIGHTS, 2002). Entretanto, existem poucas informações técnicas específicas para a cultura do crambe. Assim, há necessidade de estudos que ofereçam mais informações sobre a nutrição dessa cultura, para que se alcance maiores produtividades.

Em experimento realizado por Broch e Roscoe (2010), foi verificado aumento na produtividade da cultura do crambe em função da alta disponibilidade de N no solo. Moreira et al., (2010) observaram incremento na produtividade de grãos com a adição de N. Houve aumento médio de 12 % com a dose de 20 kg ha⁻¹ e 28 % com a dose de 40 kg ha⁻¹, em relação à testemunha. Colodetti et al., (2012) avaliando quatro doses de adubação nitrogenada em cobertura (0; 1,3; 2,6 e 3,9 g/dm³ de N) também observaram respostas positivas na produção do crambe em função da adubação nitrogenada.

Lunelli et al., (2013) avaliaram em um Latossolo Vermelho Distroférico típico, a produtividade de grãos e o rendimento de óleo da cultura do crambe sob diferentes arranjos com adubação com N, P e K. Foi observado que arranjos com presença de N promoveram incremento no teor de óleo das sementes. Entretanto, a aplicação desse elemento de forma isolada causa a redução na concentração de óleo.

Silva, Lavagnolli e Nolla (2011), verificaram aumento de produtividade do crambe em função de adubação fosfatada em um Latossolo Vermelho distrófico. No entanto, Lunelli et al., (2013) não constatararam respostas significativas produtividade do crambe submetido à diferentes doses de P.

Santos et al., (2012), em um Latossolo Vermelho distrófico típico, verificaram maior produtividade do crambe com aplicação de 90 kg ha⁻¹ de K₂O na semeadura. Entretanto, teor de óleo, massa de 100 grãos e massa seca da parte aérea não foram influenciadas pela adubação potássica. Colodetti et al., (2012) observaram maior vigor vegetativo em plantas de crambe cultivadas com maiores doses de K.

De maneira geral, são poucos os estudos relacionados à nutrição mineral do crambe, e boa parte busca analisar o desenvolvimento da cultura associado principalmente aos macronutrientes N, P e K. Assim, torna-se necessário o desenvolvimento de pesquisas voltadas também aos micronutrientes.

2.4 BORO

O B é um dos dezessete elementos considerados essenciais para as plantas (MEURER, 2007). Para Mesquita et al., (2011), as plantas necessitam de uma pequena, no entanto contínua disponibilidade de B durante seu desenvolvimento.

Cada nutriente apresenta função específica no desenvolvimento das plantas e a disponibilidade dos mesmos de maneira desequilibrada pode provocar limitações ao desenvolvimento das culturas (DECHEN e NACHTIGALL, 2007).

O B está disponível para as plantas na solução do solo sob a forma de ácido bórico (H_3BO_3). Entretanto, a disponibilidade deste elemento no solo é influenciada por inúmeros fatores, entre eles o pH, a textura, precipitação, além da mineralização da matéria orgânica (DECHEN e NACHTIGALL, 2007).

De acordo com Lindsay (1979), os teores totais do B no solo variam entre 3 e 100 mg kg^{-1} , mas Dechen e Nachtigall (2007) afirmam que apenas valores entre 0,1 e 3 mg kg^{-1} estão disponíveis para as plantas.

Faquin (2005) menciona que há grande preocupação com relação à dose adequada de B a ser fornecida às plantas. Possivelmente, a dose ideal para o desenvolvimento varie conforme a espécie. Ele afirma que a preocupação é devida à estreita faixa entre o nível adequado e o tóxico para a maioria das culturas.

De acordo com (BASTOS e CARVALHO, 2004; GUERRA, 2013) é baixa a mobilidade do B na maioria das plantas e existe uma maior mobilidade dele em algumas espécies da família Brassicaceae e Rosaceae. Elas utilizam sorbitol, dulcitol e manitol (açúcares simples de baixo peso molecular) como metabólitos secundários.

Nas plantas, o B está diretamente ligado à síntese da parede celular e sua deficiência provoca a produção de paredes celulares menos resistentes (SOUZA et al., 2010).

O B ainda atua diretamente no transporte de açúcar, respiração, membrana plasmática, além de outras atividades como a fixação de N, metabolismos de RNA, metabolismo de ascorbato, ácido indolacético e diminuição da toxidez de alumínio (GONDIM, 2009; ZANÃO JÚNIOR, 2012; GUERRA, 2013).

Dechen e Nachtigall (2007) afirmam que o B atua no florescimento da planta, no crescimento do tubo polínico, nos processos de frutificação, no metabolismo do N e na atividade de hormônios.

Segundo Bastos e Carvalho (2004), evidências dão conta de que o B apresenta papel fundamental para o florescimento e produção de sementes, fazendo com que a deficiência deste elemento em curto prazo provoque queda na produção da cultura.

A deficiência em B provoca diversas mudanças na fisiologia das plantas, onde alguns sintomas são distintos conforme a espécie e idade das mesmas (ZANÃO JUNIOR, 2012). Os principais sintomas são a redução da superfície foliar, onde as folhas mais jovens ficam deformadas, pequenas e frágeis. Há acúmulo de compostos nitrogenados em folhas velhas e pouco desenvolvimento do sistema radicular, além de baixa resistência às doenças (DECHEN e NACHTIGALL, 2007; GUERRA, 2013). Zanão Júnior (2012) também relata deformações nos frutos, possível rachadura no caule, bem como queda de flores ou frutos em desenvolvimento.

A toxidez provocada pelo excesso de B também provoca alguns danos às plantas. Os sintomas de toxidez se apresentam nas folhas mais velhas e a maioria das espécies sofre inicialmente com clorose nas bordas e pontas das folhas, que, posteriormente, evolui para necrose (ZANÃO JÚNIOR, 2012).

Para que os riscos de toxidez ou deficiência de B sejam reduzidos, conhecer os teores deste elemento na planta é de extrema importância. Para Furlani (2004), uma planta é deficiente em B quando os teores foliares forem menores que 15 mg kg^{-1} . Já Zanão Júnior (2012) afirma que os teores foliares adequados estão entre 10 e 200 mg kg^{-1} desse elemento, dependendo da espécie.

2.5 BORO EM BRÁSSICAS

A família das brássicas possui muitas espécies de hortaliças como a couve (*Brassica oleracea* var. *silvestre*), couve-flor (*B. oleracea* var. *botrytis*), repolho (*B. oleracea* var. *capitata*), brócolis (*B. oleracea* var. *italica*), mostarda (*B. juncea*), nabo (*B. napa*), rúcula (*Eruca sativa*) e rabanete (*Raphanus sativus*) (FILGUEIRA, 2008). Algumas culturas oleaginosas consideradas energéticas como a canola (*Brassica napus*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* var. *oleiferus*) e o crambe também pertencem à essa família.

De modo geral, as brássicas respondem positivamente à adubação com B (PIZETTA et al., 2005). Isto pode ser justificado se considerarmos que apresentam característica de alto

desempenho na extração de nutrientes do solo. Para haver a reposição destes nutrientes dentro das necessidades adequadas e exigidas pelas culturas, é necessário conhecer suas características nutricionais (KIMOTO, 1993).

Alguns micronutrientes como Zn, Mo e B são altamente requeridos pelas brássicas, em especial nos períodos de floração e enchimento de grãos (ZIMMERMANN, 2005), atuando diretamente na formação de sementes (MESQUISTA et al., 2011; EMATER RS, 2003). Entretanto, nas brássicas, a ausência ou escassez deste elemento faz com que o caule fique oco, provocando ainda o surgimento de coloração escura na parte central do caule, com características semelhantes à de podridão (EVERAARTS e PUTTER, 2003).

A deficiência de B é a que ocorre com maior frequência entre os micronutrientes (GUPTA, 1979; BLEVINS e LUKASZESWI, 1998). Mesquita et al., (2011) verificaram que os baixos índices de B nos solos provocam quedas consideráveis na produtividade de algumas culturas. No entanto, a escassez de pesquisas relacionadas à nutrição com esse micronutriente estabelece grande dificuldade em determinar a quantidade adequada de nutrientes que permita o bom desenvolvimento das culturas. Bergamin et al., (2005) afirmam que algumas pesquisas desenvolvidas apresentaram respostas positivas em brássicas quando houve aplicação de B via solo ou foliar.

Pizetta et al., (2005) observaram incremento da produtividade da couve flor em função da aplicação de B em solo de textura média, com teor inicial de $0,15 \text{ mg dm}^{-3}$ de B. A dose de B aplicada foi de 2 kg ha^{-1} . Camargo et al., (2008), em Argissolo Vermelho-Amarelo, observaram que a aplicação de 3 kg ha^{-1} de B dobrou a produtividade da couve-flor.

Segundo Filgueira (2008), repolho e couve-flor apresentaram pouco desenvolvimento da parte aérea em solução nutritiva com baixos teores de B. Silva et al., (2012) observaram que as doses de B influenciaram positivamente na produtividade do repolho, variando de $1,06$ a $7,2 \text{ kg ha}^{-1}$ conforme a cultivar.

Segundo Feroldi et al., (2012) nota-se pequena quantidade de pesquisas voltadas ao manejo do crambe. Quanto à adubação com B, há poucas informações para essa cultura.

2.6 COMPORTAMENTO DO BORO EM DIFERENTES SOLOS

Conhecer a dinâmica do B no solo é fundamental para manter adequado o nível deste elemento tanto no próprio solo, quanto na planta (ROSOLEM e BÍSCARO, 2007; MATTIELO et al., 2009).

Segundo (SALTALI et al., 2005; PEGORARO et al., 2008), alguns fatores interferem na quantidade de B que um solo é capaz de adsorver. Dentre os principais fatores, estão o teor de matéria orgânica, pH, composição mineralógica e textura do solo.

Para (FERREIRA, 1998; PEGORARO et al., 2008), o potencial de adsorção de B é diretamente proporcional ao teor de argila do solo. Ferreira et al., (2001) observaram que a taxa de adsorção de B foi maior em solos com altos teores de argila. Ferreira (2003) afirma que em solos argilosos, a capacidade de retenção do B é elevada em função do poder de adsorção dos minerais silicatados de argila, além dos óxidos de Fe e Al.

Outro fator importante que altera a dinâmica do B em solos é o pH. Ribeiro (1974) analisando um Latossolo Vermelho Amarelo e um Latossolo Vermelho distroférico observaram que a adsorção máxima ocorre quando o pH do solo encontra-se próximo a 7,0.

Abreu et al., (2004), analisando a mobilidade do B em diversos tipos de solo, concluíram que a recuperação deste elemento pelo método de água fervente é dada na seguinte ordem: arenoso > orgânico > argiloso.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de julho a outubro de 2014, em casa de vegetação pertencente ao Instituto Agronômico do Paraná, no município de Santa Tereza do Oeste - PR, latitude 25° 03' 08" S e longitude 53° 37' 59" W. A precipitação média anual varia entre 1800 e 2000 mm, com temperatura média de 19 °C (IAPAR, 2010).

Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 2x3, sendo dois solos com diferentes texturas (argiloso e textura média) e três doses de B (0, 1, e 8 mg kg⁻¹). O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com cinco repetições. A unidade experimental foi constituída por um vaso 2,0 kg de solo com duas plantas de crambe. As amostras de ambos os solos foram coletadas na camada de 0-20 cm, e caracterizadas quanto a atributos físicos e químicos (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos químicos e físicos dos solos avaliados.

	Solo	
	Argiloso	Textura média
pH (CaCl ₂)	4,60	5,00
C (g dm ⁻³)	35,06	24,15
K (cmol _c dm ⁻³)	1,24	0,33
Ca (cmol _c dm ⁻³)	4,93	3,98
Mg (cmol _c dm ⁻³)	2,49	1,83
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,00	0,00
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	9,00	4,96
V %	50,00	55,31
P (mg dm ⁻³)	1,50	6,90
B (mg dm ⁻³)	0,35	0,34
Areia %	23	70
Silte %	28	10
Argila %	49	20

Extrator: P, K, Cu, Fe, Mn, Zn = (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ mol L⁻¹); Al, Ca, Mg = (KCl 1 mol L⁻¹); B = água quente; S = Ca(H₂PO₄)₂/ HOAc 2 mol L⁻¹.

Foram semeadas 20 sementes de crambe (cv. FMS Brilhante) por vaso, a 1 cm de profundidade. No dia da semeadura, foram adicionados ao solo, 200 mg dm⁻³ de P. A fonte de adubação fosfatada foi o fosfato de cálcio (CaHPO₄).

O primeiro desbaste foi realizado 11 dias após a emergência (DAE), deixando-se cinco plantas por vaso, realizando-se a aplicação das doses de B na forma de ácido bórico (17,7 % de B).

A primeira aplicação de solução nutritiva composta por N, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu e Mn foi realizada aos 15 DAE. O segundo desbaste foi realizado aos 30 DAE, deixando duas plantas por vaso, realizando-se a adição da segunda parcela da adubação aos 30 DAE. Em todas as etapas, as adubações foram realizadas através de soluções nutritivas (100 mL vaso⁻¹ em cada aplicação), com a umidade do solo medida através de um mini tanque evaporímetro, mantida em torno de 80 % da capacidade de campo.

Ao final do ciclo, a parte aérea das plantas foi coletada, lavada em água deionizada, e seca em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C por 72 h, determinando-se a produção de massa seca de caule, frutos, raízes e massa de cem grãos. Foi determinada ainda a altura média das plantas e quantidade de ramos e frutos por planta.

Após serem pesadas, as folhas foram moídas em moinho tipo Wiley, com peneira de 0,84 mm e calcinadas a 550 °C. A dosagem do B foi realizada pelo método colorimétrico, com o reagente azometina-H (WOLF, 1971).

Os dados obtidos foram processados no software Assistat[®] e submetidos à análise de variância (ANOVA). A interação textura do solo x doses de B foi desdobrada para avaliar os efeitos das doses de B, em cada solo, até o nível de 5 % de significância pelo teste de Tukey.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação significativa entre textura do solo e doses de B para as variáveis analisadas. Por isso, os dados médios foram apresentados separadamente.

4.1 EFEITO DO TIPO DE SOLO

O tipo de solo em que o experimento foi conduzido não interferiu nas respostas obtidas para as variáveis presentes na Tabela 2.

Tabela 2. Altura da planta; produção de matéria seca de raízes, caule e frutos; frutos/planta; ramos/planta; massa de cem grãos e teor foliar de B em plantas de crambe em função do solo. Santa Tereza do Oeste, PR, 2014.

Variável	Solo		CV%
	Argiloso	Textura Média	
Altura da planta, cm	132 a	118 a	12,13
Matéria seca de raízes, g planta ⁻¹	2,07 a	2,04 a	14,56
Matéria seca de caule, g planta ⁻¹	4,19 a	4,65 a	10,56
Matéria seca de frutos, g planta ⁻¹	3,33 a	3,31 a	11,23
Frutos/planta	601,2 a	568,9 a	15,32
Ramos/planta	17,87 a	17,15 a	22,78
Massa de cem grãos, g	0,59 a	0,63 a	9,89
Teor foliar de B, mg kg ⁻¹	180 a	194 a	5,38

*Médias seguidas de letras iguais, nas linhas, não diferem significativamente entre si pelo Teste-F (P<0,05).

A altura média das plantas foi de 132 cm no solo argiloso e 118 cm no solo de textura média (Tabela 2). Estes valores foram superiores aos observados em trabalho desenvolvido por Reginato et al., (2013) em um Latossolo Vermelho distroférico, onde as plantas de crambe atingiram em média 117 cm em função da época e profundidade de semeadura.

A produção de matéria seca de raízes atingiu 2,07 g planta⁻¹ no solo argiloso e 2,04 g planta⁻¹ no solo de textura média (Tabela 2). Janegitz et al., (2010) obtiveram produção média de matéria seca de raízes de plantas de crambe de 4,9 g planta⁻¹ em experimento realizado para avaliar o efeito da saturação por bases em solo de textura média.

Em relação a produção de matéria seca do caule, a média apresentada no solo argiloso foi de 4,19 g planta⁻¹ e 4,65 g planta⁻¹ no solo de textura média (Tabela 2). Prates et al., (2014)

verificaram produção de matéria seca de caule de 1,56 e 4,02 g planta⁻¹ de crambe em função da aplicação de silicato, com e sem aplicação de enxofre, respectivamente.

As médias obtidas para a matéria seca de frutos foram de 3,33 g/planta e 3,31 g/planta nos solos argiloso e textura média, respectivamente. Já o número de ramos por planta de crambe atingiu médias de 17,87 no solo argiloso e 17,15 no solo de textura média (Tabela 2).

O número de frutos por planta atingiu média de 601,2 no solo argiloso e 568,9 no solo de textura média (Tabela 2). Os resultados são superiores aos encontrados por Ferreira e Silva (2011), que avaliaram a produtividade de grãos e teor de óleo da cultura do crambe sob diferentes sistemas de manejo de um Latossolo Vermelho-Amarelo. A produção média encontrada pelos autores foi de 153,32 frutos por planta no solo com preparo reduzido, 160,84 frutos por planta no solo com preparo convencional e 177,52 no solo com semeadura direta.

A massa de cem frutos foi de 0,59 g e 0,63 g nos solos argiloso e de textura média, respectivamente (Tabela 2). Os valores são inferiores aos obtidos por Rogério et al., (2011), que avaliaram a aplicação de doses de fósforo na cultura do crambe e encontraram massa média de cem frutos de 2,3 g em um Latossolo Vermelho distrófico típico.

A ausência de efeitos estatisticamente significativos em função do tipo de solo pode ser justificada pelo pH e saturação por bases adequados em ambos os solos. Ainda, a irrigação, bem como a aplicação de soluções nutritivas, foram realizadas de forma homogênea para ambos os solos, proporcionando condições semelhantes de desenvolvimento das plantas, independente do tipo de solo.

4.2 EFEITO DAS DOSES DE BORO

Os efeitos ocasionados na altura das plantas, quantidade de frutos e ramos por planta em função das doses de B aplicadas estão expressos na Tabela 3. As doses de B aplicadas não proporcionaram efeito significativo na altura das plantas e na quantidade de ramos por planta de crambe. Entretanto, a quantidade de frutos por planta apresentou resposta significativa em função das doses de B aplicadas no solo.

Tabela 3. Altura da planta, número de frutos e ramos por planta de crambe em função de doses de B adicionadas ao solo. Santa Tereza do Oeste, PR, 2014.

Dose de B mg kg ⁻¹	Altura da planta cm	Frutos/planta	Ramos/planta
0	122 a	568,70 b	19,32 a
1	134 a	632,80 a	17,31 a
8	120 a	553,68 b	15,89 a

*Médias seguidas de letras distintas, nas colunas, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

A altura média das plantas de crambe foi de 122 cm, 134 cm e 120 cm para as doses de 0, 1 e 8 mg kg⁻¹, respectivamente (Tabela 3). Bonacin (2002) também não encontrou, em Latossolo Vermelho, efeito significativo para a variável altura de planta ao aplicar doses entre 0 e 4 kg ha⁻¹ de B em girassol. Furlani et al., (2001) não constataram diferença de altura em quatro cultivares de soja (IAC-1, IAC-15 e IAC-17) em função da adubação boratada. De acordo com os autores, apenas uma cultivar (IAC-8) apresentou resposta significativa para esta variável, muito provavelmente por um melhoramento genético. Guerra (2013), em um Latossolo Vermelho de textura arenosa, avaliou quatro doses de B (0; 0,5; 1 e 2 kg ha⁻¹) em duas cultivares de canola (Hyola 76 e Hyola 401) e também não constatou efeito significativo na altura das plantas em função das doses de B aplicadas no solo.

A produção de grãos por planta foi maior com a aplicação de 1 mg kg⁻¹ de B no solo, com média de 632,8 frutos por planta de crambe. As demais médias apresentadas foram de 568,70 e 553,68 quando aplicados 0 e 8 mg kg⁻¹ de B no solo, respectivamente e não diferiram entre si (Tabela 3).

A quantidade média de ramos por planta foi de 19,32, 17,31 e 15,89 para as doses 0, 1 e 8 mg kg⁻¹ de B, respectivamente (Tabela 3). A ausência de resposta significativa para a variável em função das doses de B aplicadas assemelha-se ao resultado obtido por Guerra (2013) na cultura da canola. O que pode justificar a não ocorrência de efeitos significativos do B no número de ramos produzidos por planta é o fato dessa ser uma característica genética e pouco diretamente afetada pelo B.

A produção de massa seca do sistema radicular do crambe foi maior quando aplicada 1 mg kg⁻¹ de B, atingindo 2,62 g planta⁻¹ (Tabela 4). As demais produções de massa seca foram de 1,80 e 1,75 g planta⁻¹, com as doses de 0 e 8 mg kg⁻¹ de B, respectivamente, não diferenciando entre si. O teor de B presente naturalmente no solo (0 mg kg⁻¹ de B) não foi suficiente para promover incremento na variável analisada e a dose de 8 mg kg⁻¹ de B apresentou efeito tóxico ao desenvolvimento do sistema radicular (Tabela 4).

Tabela 4. Produção de matéria seca de raízes, caule, frutos; massa seca de cem grãos e teor foliar de B em plantas de crambe em função de doses de B adicionadas ao solo. Santa Tereza do Oeste, PR, 2014.

Dose de B mg kg ⁻¹	Produção de massa seca, g planta ⁻¹			Massa seca de cem grãos	Teor foliar de B
	Raízes	Caule	Frutos	----- g -----	---- mg kg ⁻¹ ----
0	1,80 b	4,38 b	3,12 b	0,58 a	54,50 c
1	2,62 a	4,61 a	3,68 a	0,62 a	132,46 b
8	1,75 b	4,26 b	3,15 b	0,63 a	397,35 a

*Médias seguidas de letras distintas, nas colunas, diferem significativamente entre si pelo de Tukey (P<0,05).

Souza et al., (2010) também constataram diferença significativa na produção de massa seca do sistema radicular de copo-de-leite em função das doses de B adicionadas à solução nutritiva. Silva et al., (2008) também verificaram que plantas de mamona cultivadas na ausência de B apresentaram menor produção de massa seca de raízes em comparação com as demais doses testadas desse nutriente. No entanto, Silva, Rodas e Carvalho (2014) em trabalho realizado com mamoeiro, analisando doses de 0; 1,43; 2,86; 4,29 e 5,72 mg L⁻¹ de B, não encontraram diferença significativa entre as doses aplicadas na produção de massa seca de raízes. Marchetti et al., (2001), avaliando 1, 2 e 4 mg dm⁻³ de B na cultura do girassol, também não encontraram diferença na produção de massa seca de raízes em função das doses de B. A resposta parece então estar relacionada à espécie vegetal e às doses de B avaliadas.

Em relação à produção de massa seca do caule, houve diferença significativa entre as doses de B aplicadas. A maior produção, de 4,61 g planta⁻¹, foi obtida com a aplicação de 1 mg kg⁻¹ de B (Tabela 4). A produção de massa seca de frutos (3,68 g/planta) também foi maior com a aplicação de 1 mg kg⁻¹ de B (Tabela 4). Não houve diferença entre a produção de massa seca de frutos obtida entre com as doses 0 e 8 mg kg⁻¹ de B e foram de 3,12 e 3,15 g planta⁻¹, respectivamente. Os efeitos do B são mais acentuados justamente na fase reprodutiva das plantas, porque ele atua diretamente na formação dos grãos.

Guerra (2013), avaliando duas cultivares de canola, encontrou melhor resposta em massa seca de frutos na cultivar Hyola 76 com a dose de 5 kg ha⁻¹ de B. Pizetta et al., (2005) obtiveram incremento significativo na produtividade das brássicas brócolis, couve-flor e repolho em função da adubação boratada em solo arenoso. Echer e Creste (2011), num Argissolo Vermelho-amarelo arenoso, aplicaram doses de B (0, 1 e 2 kg ha⁻¹) e obtiveram incrementos de produtividade de batata-doce em função das aplicações do nutriente. O incremento na produtividade das culturas em função da adubação boratada não é observado apenas nas brássicas. Embora Pizetta et al., (2005) afirmem espécies dessa família respondam

positivamente à aplicação de B, nota-se que independente do tipo de solo ou da cultura, a adição deste elemento ao solo, promove o incremento na produtividade de espécies de demais famílias.

A estreita faixa entre os níveis ideais e tóxicos de B para as plantas é citada por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Como verificado no presente trabalho, a dose de 1 mg kg^{-1} de B proporcionou os melhores resultados de produção de frutos e de massa seca de raízes, caule e frutos. Para estas mesmas variáveis a dose de 8 mg kg^{-1} de B proporcionou resultados que não diferiram dos obtidos sem a aplicação do B (dose de 0 mg kg^{-1} de B). A dose de 8 mg kg^{-1} de B possivelmente proporcionou teores de B no solo que foram tóxicos às plantas.

Em relação à massa seca de cem grãos, não houve efeito significativo em função das doses aplicadas, onde as médias encontradas foram de 0,58; 0,62 e 0,63 g quando aplicados 0, 1 e 8 mg kg^{-1} de B, respectivamente (Tabela 4). Resposta semelhante foi observada por Queiroga (2011), na cultura do girassol. Guerra (2013) também não constatou diferença significativa nas respostas obtidas para a massa de cem grãos em duas cultivares de canola em função de doses de B.

Os teores de B nas folhas de crambe estão expressos na Tabela 4. As plantas que não receberam aplicação do nutriente apresentaram teores foliares de $54,50 \text{ mg kg}^{-1}$ de B. Com aplicação de 1 mg kg^{-1} , os teores foram $132,46 \text{ mg kg}^{-1}$ de B. No tratamento em que houve aplicação de 8 mg kg^{-1} de B no solo, as folhas de crambe apresentaram sintomas visuais de toxidez e os teores foliar desse nutriente foram de $397,35 \text{ mg kg}^{-1}$. Nota-se que os teores foliares encontrados nas folhas de crambe apresentam relação de direta proporção em relação às doses aplicadas. De acordo com Marschner (1995), o limite crítico para a toxidez de B varia conforme a espécie, sendo 100 mg kg^{-1} para soja e milho, 400 mg kg^{-1} para pepino e 1000 mg kg^{-1} para abóbora. Zañão Júnior et al., (2014) encontraram teores foliares de B em roseiras variando de 271 a 675 mg kg^{-1} , sendo esses últimos considerados tóxicos.

Os sintomas visuais de toxidez em folhas de crambe por excesso de B são apresentados na Figura 1. Eles foram observados nas folhas mais velhas e apenas nas plantas que receberam aplicação de 8 mg kg^{-1} de B. Assemelham-se a manchas de encharcamento, iniciando nas extremidades do limbo foliar. Posteriormente, há ocorrência de clorose nas áreas encharcadas, que evolui para necrose, ocasionando queda das folhas. Os principais sintomas de toxidez de B observados estão de acordo aos descritos por Zañão Júnior (2012).

Os sintomas de toxidez provocados pelo excesso de boro ocorreram apenas nas folhas mais velhas, ratificando a baixa mobilidade do elemento nas plantas. Desta forma, a

localização desses sintomas reflete a distribuição de B na maioria das espécies, com seu acúmulo ocorrendo nas partes da planta onde tem lugar o fluxo final da transpiração (NABLE, BAÑUELOS e PAULL, 1997; ROESSNER et al. 2006).

Sintomas semelhantes de toxidez provocada pelo excesso de B também foram encontrados em experimentos com couve-flor, repolho e brócolis, canola, soja e rosas (FURLANI et al., 2001; PIZETTA et al., 2005; GUERRA, 2013; ZANÃO JÚNIOR et al., 2014).

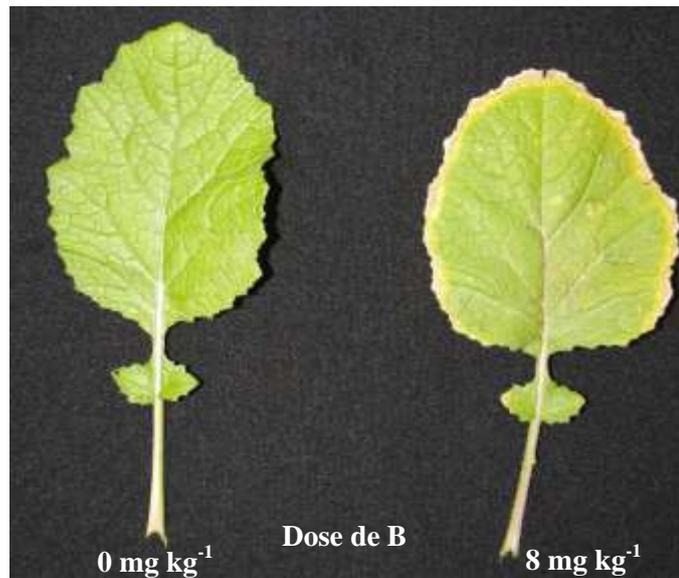


Figura 1. Sintomas de toxidez provocada pelo excesso de B (8 mg kg^{-1} de B aplicado no solo) em folhas de crambe. Santa Tereza do Oeste, PR, 2014.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A textura do solo não influenciou nenhuma variável avaliada.

Não houve interação significativa entre as doses de B aplicadas e a textura do solo.

A altura das plantas, número de ramos por planta e massa seca de cem frutos não foram influenciados pela adubação boratada.

O número de frutos por planta, produção de massa seca de raízes, caule e frutos foram maiores com a aplicação de 1 mg kg^{-1} de B no solo.

Quanto maior a dose de B, maiores foram os teores desse micronutriente nas folhas do crambe.

A aplicação de 8 mg kg^{-1} de B provocou sintomas visuais de toxidez nas folhas de crambe.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C.A. et al. Reação e movimentação de boro no solo aplicado como ulexita, fritas e ácido bórico. In: FERTBIO 2004, Lages, **Anais...** Lages, Universidade de Lages, 2004.
- BASTOS, A.R.R.S.; CARVALHO, J.G. Absorção radicular e redistribuição do boro pelas plantas, e seu papel na parede celular. **Revista da Universidade Rural**, v.24, n.2, p.47-66, 2004.
- BERGAMIN, L.G. et al. Produção de repolho em função da aplicação de boro associada a adubo orgânico. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.2, p.311-315, 2005.
- BLEVINS, D.G.; LUKASZEWSKI, K.M. Boron in plant structure and function. **Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology**, v.49, n.1, p.481-500, 1998.
- BONACIN, A.G. **Crescimento de plantas, produção e característica das sementes de girassol em função de doses de boro**. 2002. 98p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal, 2002.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Plano Nacional de Agroenergia**. Brasília, 2005.
- BROCH, D. L.; ROSCOE, R. Fertilidade do solo, adubação e nutrição do crambe. In: FUNDAÇÃO MS. **Tecnologia e produção: crambe 2010**. FUNDAÇÃO MS, 2010. Cap.1, p.22-36.
- CAMARGO, M.S. et al. Produtividade e podridão parda em couve-flor de inverno influenciadas pelo nitrogênio e boro. **Bragantia**, v.67, n.2, p.371-375, 2008.
- COLODETTI, T.V. et al. Adubação nitrogenada influenciando o vigor vegetativo de plantas de crambe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2012, Guarapari. **Anais...** Campina grande: Embrapa Algodão, 2012.
- COLODETTI, T.V. et al. Perda de biomassa causada pela deficiência de macronutrientes em *Crambe abyssinica*. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.17, p.2027-2038, 2013.
- CORRÊA, J.B. et al. Avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional de cafeeiros do sul de minas gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v.25, n.6, p.1279-1286, 2001.
- DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R.F. et. al. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS/UFV, 2007. Cap.3, p.91-132.
- DESAI, B.B.; KOTTECHA, P.M.; SALUNKHE, D.K. **Seeds handbook: biology, production processing and storage**. 2.ed. New York: Marcel Dekker, 2004.
- ECHER, F.R.; CRESTE, J.E. Adubação com boro em batata-doce: efeito das fontes, doses e modos de aplicação. **Semina: Ciências Agrárias**, v.32, n.1, p.1831-1836, 2011.

- EMATER RS. **Canola: informações práticas para o cultivo**. Porto Alegre: EMATER RS; ASCAR, 2003.
- EVERAARTS, A.P.; PUTTER, H. Hollow stem in cauliflower. **Acta Horticulturae**, v.607, p.187-190, 2003.
- FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: FAEPE, 2005.
- FEROLDI, M. et al. Cultivo do crambe: Potencial para produção de biodiesel. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.2, n.1, p.11-22, 2012.
- FERREIRA, F.M.; SILVA A.R.B. Produtividade de grãos e teor de óleo da cultura do crambe sob diferentes sistemas de manejo de solo em Rondonópolis – MT. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, n.12, p. 1-11, 2011.
- FERREIRA, G.B. **Interferência da matéria orgânica e ferro na dosagem de boro com azometina-H e comparação de extratores para boro disponível no solo**. 1998. 98p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.
- FERREIRA, G.B. **Dinâmica das frações de micronutrientes catiônicos e esgotamento de formas disponíveis de boro, cobre, ferro, manganês e zinco, em solos de Minas Gerais**. 2003. 182p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.
- FERREIRA, G.B. et al. Influência de algumas características do solo nos teores de boro disponível. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.1, p.91-101, 2001.
- FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed., Viçosa: UFV, 2008.
- FURLANI, A.M.C. et al. Exigência a boro em cultivares de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.4, p.929-937, 2001.
- FURLANI, A.M.C. Nutrição mineral. In: KERBAUY, G.B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. Cap.2, p.40-75.
- GLASER, L.K. **Crambe: An economic assessment of faseability of providing multiple-peril crop insurance**. Economic Research Service of the Risk Management Agency. Federal Crop Insurance Corporation, 1996.
- GONDIM, A.R.O. **Absorção e mobilidade do boro em plantas de tomate e de beterraba**. 2009. 76p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal, 2009.
- GUERRA, W.E.X. **Adubação de Boro na cultura da canola em latossolo vermelho arenoso na região Oeste paulista**. 2013. 51p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós Graduação em Agronomia, Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2013.

- GUPTA, U.C. Boron nutrition of crops. **Advances in Agronomy**, v.31, n.1, p.273-307, 1979.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS – IAC. **Herbário IAC: Família Brassicaceae**, 2013. Disponível em:
<[http://herbario.iac.sp.gov.br/Relatorios/listagens/lfamilia.asp?Tarefa=Brassicaceae\(=Cruciferae\)](http://herbario.iac.sp.gov.br/Relatorios/listagens/lfamilia.asp?Tarefa=Brassicaceae(=Cruciferae))> Acesso em 02 de junho de 2014
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. **Cartas climáticas do Paraná**, 2010. Disponível em:
<<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>>. Acesso em: 05 de janeiro de 2015.
- JANEGITZ, M.C. et al. Influência da saturação por bases no crescimento e produção de crambe. **Revista Cultivando o Saber**. v.3, n.4, p.175-182, 2010.
- JASPER, S.P. et al. Análise energética da cultura do crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) produzida em plantio direto. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.3, p.395-403, 2010.
- KANO, C. et al. Desempenho do quiabeiro consorciado com *Mucuna deeringiana* e *Crotalaria spectabilis* na região Leste Paulista. **Horticultura Brasileira**, v.28, n.2, p.1926-1931, 2010.
- KNIGHTS, E.G. Crambe: A North Dakota case study. **Australian Society of Agronomy**, v.2, n.5, p.25, 2002.
- KIMOTO, T. Nutrição e adubação de repolho, couve-flor e brócolos. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO DE HORTALIÇAS, 1993, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, 1993.
- LINDSAY, W.L. **Chemical equilibrium in soils**. New York, John and Willey, 1979.
- LUNELLI, I.E. et al. Effects of nutritional arrangements of NPK on the yield of grains and crambe oil cultivation. **African Journal of Agricultural Research**, v.8, n.18, p.2048-2052, 2013.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997.
- MARCHETTI, M.E. et al. Resposta do girassol, *Helianthus annuus*, a fontes e níveis de boro. **Acta Scientiarum**, v.23, n.5, p. 1107-1110, 2001.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. Orlando: Academic Press, 1995.
- MATTIELLO, E.M. et al. Transporte de boro no solo e sua absorção por eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.5, p.1281-1290, 2009.
- MESQUITA, G.M. et al. Produção de rabanete cultivado sob diferentes doses de boro com presença e ausência de calagem. **Global Science and Technology**, v.4, n.2, p.18-26, 2011.

MEURER, E.J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R.F. et al. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS/UFV, 2007. Cap.2, p.65-90.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional 2012**: Ano base 2011 / Empresa de Pesquisa Energética - Rio de Janeiro: EPE, 2012.

MOREIRA, M.A. et al. Produção e teor de óleo de crambe em função da saturação por bases e adubação mineral NPK. In: 4º CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 2010. **Anais...** Belo Horizonte, 2010.

NABLE, R.O.; BAÑUELOS, G.S.; PAULL, J.G. Boron toxicity. **Plant and Soil**, v.198, n.12, p.181-198, 1997.

OPLINGER, E.S. et al. **Crambe: alternative field crops manual**. Lafayette: Purdue University, 1991.

PEGORARO, R.F. et al. Crescimento de soja em solos em resposta a doses de boro, calagem e textura do solo. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.4, p.1092-1098, 2008.

PITOL, C. **Cultura do crambe**. Tecnologia e produção: Milho safrinha e culturas de inverno. Fundação MS, 2008.

PITOL, et al. **Tecnologia e produção: crambe 2010**. Fundação MS, 2010.

PIZETTA, L.C. et al. Resposta de brócolis, couve-flor e repolho à adubação com boro em solo arenoso. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.1, p.51-56, 2005.

PRATES, F.B.S. et al. Acúmulo de nutrientes e produtividade de crambe em função da fertilização com torta de mamona e serpentinito. **Ciência Rural**, v.44, n.5, p. 810-816, 2014.

QUEIROGA, F.M. **Resposta da cultura do girassol a doses de potássio, magnésio, boro, zinco, cobre e a fontes de nitrogênio**. 2011. 69p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2011.

REGINATO, P. et al. Desempenho agrônomico e qualidade de sementes de crambe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.10, p.1410-1413, 2013.

RIBEIRO, A.C. **Adsorção de boro pelo solo**. 1974. 38p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1974.

ROESSNER, U. et al. An investigation of boron toxicity in barley using metabolomics. **Plant Physiol.**, v.142, n.3, p.1087-1101, 2006.

ROGÉRIO, F. et al. Phosphorus fertilization with the crambe yield. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011.

- ROSA, H.A. **Potencial estruturante de espécies de cobertura em um latossolo argiloso e seus reflexos no rendimento de grãos e de óleo do crambe.** 2013. 39p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Programa de Pós Graduação em Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013.
- ROSCOE, R.; DELMONTES, A.M.A. **Crambe é nova opção para biodiesel.** In: AGRIANUAL 2008. São Paulo: Instituto FNP, 2008. p.40-41
- 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.
- ROSOLEM, C.A.; STEINER, F. Adubação potássica para o crambe. **Bioscience Journal**, v. 30, n.3, p. 140-146, 2014.
- SALTALI, K. et al. Boron adsorption in soils with different characteristics. **Asian Journal of Chemistry**, v.17, n.1, p.2487-2494, 2005.
- SANTOS, J.I. et al. Efeito da adubação potássica na cultura do crambe. **Bioscience Journal**, v.28, n.3, p.346-350, 2012.
- SILVA, E.A.A. et al. Estudos da dormência e do condicionamento fisiológico de sementes: possíveis contribuições à propagação de espécies vegetais com potencial energético. In: LEMOS, E.G.M.; STRADIOTTO, N.R. **Bioenergia: Desenvolvimento, pesquisa e inovação.** São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012. Cap.2, p.35-52.
- SILVA, P.R.F., FREITAS, T.F.S. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. **Ciência Rural**, v.38, n.3, p.843-851, 2008.
- SILVA, T.R.B.; LAVAGNOLLI, R.R.; NOLLA, A. Zinc and phosphorus fertilization of crambe (*Crambe abyssinica* Hochst). **Journal of Food Agriculture and Environment**, v.9, n.1, p.132-135, 2011.
- SILVA, I.P.; RODAS, C.L.; CARVALHO, J.G. Doses de boro no desenvolvimento do mamoeiro em solução nutritiva. **Revista Agrarian**, v.7, n.23, p.171-175, 2014.
- SILVA, D.H. et al. Boron affects the growth and ultrastructure of castor bean plants. **Scientia Agricola**, v.6, n.6, p.659-664, 2008.
- SOUZA, R.R. et al. Doses de boro no desenvolvimento de copo-de-leite em solução nutritiva. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.6, p.1396-1403, 2010.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012.
- TRZECIAK, M.B. et al. Utilização de sementes de espécies oleaginosas para produção de biodiesel. **Informativo Abrates.** v.18, n.1-3, p.30-38, 2008.
- VIANA, O.H. **Cultivo de crambe na região Oeste do Paraná.** 2013. 62p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Programa de Pós Graduação em Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013.

WARWICK S.I.; GUGEL R.K. Genetic variation in the *Crambe abyssinica* - *C.hispanica* – *C.glabrata* complex. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v.50, n.1, p. 291-305, 2003.

WOLF, B. Improvements in the azomethine-H method for determination of boron. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v.5, n.1, p.39-44, 1971.

ZANÃO JÚNIOR, L.A. Importância e função dos nutrientes no crescimento e desenvolvimento de plantas. In: ZAMBOLIM, L.; VENTURA, J.A.; ZANÃO JUNIOR, L.A. **Efeito da nutrição mineral no controle de doenças de plantas**. Viçosa: UFV, 2012. Cap.1, p.3-46.

ZANÃO JÚNIOR, L.A. et al. Produção e qualidade de rosas em razão de doses de boro aplicadas no substrato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.2, p.524-531, 2014.

ZIMMERMANN, J. Cultivo da Canola como alternativa da safrinha no Distrito Federal. **Boletim Técnico UPSI**. 2005. Disponível em:

<http://www.upis.br/pesquisas/pdf/agronomia/projeto_empresarial/Juliana%20Boleti%20T%E9cnico.pdf> Acesso em: 08 jul 2014.