

**UniRV - UNIVERSIDADE DE RIO VERDE**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**ADUBAÇÃO BORATADA NO CULTIVO DE SOJA**

**GERLOS ALVES DA SILVA JUNIOR**

*Magister Scientiae*

**RIO VERDE**  
**GOIÁS – BRASIL**

**2016**

**GERLOS ALVES DA SILVA JUNIOR**

**ADUBAÇÃO BORATADA NO CULTIVO DE SOJA**

Dissertação apresentada à UniRV - Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**RIO VERDE  
GOIÁS – BRASIL**

**2016**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UniRV**

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”.

S586a Silva Junior, Gerlos Alves da

Adubação boratada no cultivo de soja. / Gerlos Alves da Silva Junior. - 2016  
30f.: ils. figs, tabs.

Orientador: Prof. Dr. Sihélio Júlio Silva Cruz.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de agronomia, da  
Universidade de Rio Verde - UniRV - Campus Rio Verde, 2016.

Inclui Biografia.

1. Boro. 2. Nutrição de plantas. 3. Glycine Max (L). I. Título. II. Cruz,  
Sihélio Júlio Silva. III. Universidade de Rio Verde – UniRV.

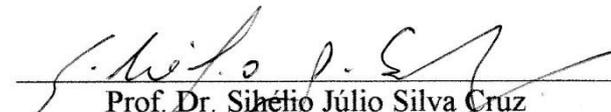
CDD- 633.1

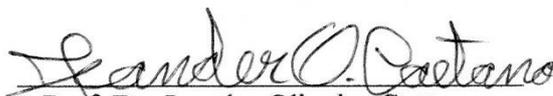
**GERLOS ALVES DA SILVA JUNIOR**

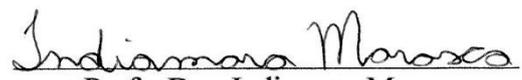
**ADUBAÇÃO BORATADA NO CULTIVO DE SOJA**

**Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae***

APROVAÇÃO: 01 de dezembro de 2016

  
Prof. Dr. Sihélio Júlio Silva Cruz  
Presidente da Banca Examinadora

  
Prof. Dr. Jeander Oliveira Caetano  
Membro – FA/UniRV

  
Profa. Dra. Indiamara Marasca  
Membro – FA/UniRV

  
Profa. Dra. Sílvia Sanielle Costa de Oliveira  
Membro – IF Goiano - Iporá

## DEDICATÓRIA

“Vós, porém, não queirais ser chamados Rabi, porque um só é o vosso Mestre, a saber, e todos vós sois irmãos.”

Ao único Mestre supremo em sabedoria. Porque o Senhor dá a sabedoria, e da sua boca vem o conhecimento, a verdadeira sabedoria vê em conhecer ao Senhor, temer e ter tremor. Feliz é o homem que acha sabedoria, e o homem que adquire conhecimento está em reter as palavras no coração; guarda os mandamentos e a lei do Senhor.

Obrigado, Senhor !!

## AGRADECIMENTOS

Ao professor orientador Sihélio Júlio Silva Cruz, por sua dedicação, amizade e colaboração no decorrer do curso.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da UniRV, pelos valiosos conhecimentos repassados durante o curso das disciplinas.

Aos colegas Flávio Bispo dos Santos e Alex Zamonaro, pela colaboração na condução dos experimentos e análises laboratoriais.

Aos alunos de Graduação em Agronomia Gustavo Cruvinel e Gabriela Cruvinel, pela colaboração nos experimentos e análises laboratoriais.

Ao Laboratório de Análise de Solo da Faculdade de Agronomia da UniRV, pela realização das análises.

Aos membros da banca, Profa. Indiamara e Prof. Dr. Jeander, pelas sugestões e correções no trabalho.

Aos professores do Programa de Mestrado em Produção Vegetal da UniRV – Universidade de Rio Verde, pelos ensinamentos transmitidos.

A minha esposa, Leandra Rodrigues Barbosa Silva, e meus filhos, Hiago Alves Rodrigues e Sarah Alves Rodrigues, por seu ilimitado apoio, bem como o carinho e compreensão mostrados durante esta etapa da minha vida.

Aos colegas de mestrado Flávio, Estevão, Laurício, João, Marco Buffara, Lucas Braz e Rodrigo, pelo agradável convívio durante o curso.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	v
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1. A cultura da soja.....	2
2.2. O boro no sistema solo-planta.....	3
2.3. Adubação boratada no cultivo da soja.....	4
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	5
3.1. Local.....	5
3.2. Delineamento experimental e tratamentos.....	5
3.3. Solo utilizado no experimento.....	5
3.4. Correção da acidez e adubação do solo.....	6
3.5. Semeadura.....	6
3.6. Irrigação.....	6
3.7. Avaliações.....	7
3.7.1. Avaliações realizadas no estágio fenológico (V4).....	7
3.7.1.1. Índice SPAD de clorofila.....	7
3.7.1.2. Matéria seca das plantas de soja.....	7
3.7.1.3. Teores de nutrientes nas folhas das plantas de soja.....	7
3.7.2. Avaliações realizadas no estágio fenológico (R4).....	8
3.7.2.1. Número de nós na haste por planta.....	8
3.7.2.2. Número de vagens.....	8
3.7.3. Avaliação realizada no estágio fenológico (maturação plena).....	8
3.7.3.1. Matéria seca de grãos.....	8
3.8. pH do solo após a coleta das plantas de soja.....	9
3.8.1. Análise estatística.....	9
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	9
5. CONCLUSÕES.....	16
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Resultado da análise química do solo utilizado no experimento realizado em casa de vegetação, Rio Verde, GO.....	6
TABELA 2	Teores de nutrientes nas folhas de plantas de soja submetidas a diferentes doses de boro aplicadas no solo. Rio Verde – GO, 2015/2016	10

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Índice SPAD de clorofila no limbo das folhas de plantas de soja submetidas a diferentes doses de boro aplicadas no solo. Rio Verde – GO, 2015/2016.....	11
FIGURA 2	Matéria seca das raízes de plantas de soja submetidas a diferentes doses de boro aplicadas no solo. Rio Verde – GO, 2015/2016.....	12
FIGURA 3	Matéria seca do caule de plantas de soja submetidas a diferentes doses de boro aplicadas no solo. Rio Verde – GO, 2015/2016.....	12
FIGURA 4	Matéria seca das folhas de plantas de soja submetidas a diferentes doses de boro aplicadas no solo. Rio Verde – GO, 2015/2016.....	13
FIGURA 5	Número de vagens em plantas de soja submetidas a diferentes doses de boro aplicadas no solo. Rio Verde – GO, 2015/2016.....	13
FIGURA 6	Número de entrenós em plantas de soja submetidas a diferentes doses de boro aplicadas no solo. Rio Verde – GO, 2015/2016.....	14
FIGURA 7	Massa de 100 grãos de plantas de soja submetidas a diferentes doses de boro aplicadas no solo. Rio Verde – GO, 2015/2016.....	15

## RESUMO

SILVA JUNIOR, Gerlos Alves da. Universidade de Rio Verde, novembro de 2016. **Adubação boratada no cultivo da soja.** Orientador: Sihélio Júlio Silva Cruz.

O experimento foi realizado no ano agrícola 2015/2016 em casa de vegetação, na Fazenda Fontes do Saber, pertencente à Universidade de Rio Verde, em Rio Verde, GO, com o objetivo de avaliar o efeito da aplicação no solo de cinco doses de boro sobre o crescimento e produção de grãos de plantas de soja, cultivadas em casa de vegetação. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos inteiramente casualizados, com cinco repetições. Cada parcela experimental foi composta por três plantas de soja cultivadas em um vaso contendo 10 dm<sup>-3</sup> de solo. Os tratamentos foram cinco doses de boro: 0, 1, 2, 3 e 4 mg boro dm<sup>-3</sup> de solo, aplicado como octaborato dissódio tetra-hidratado (23,6% de boro). O solo utilizado no experimento foi um Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa. De acordo com a análise granulométrica, este era constituído por 440 g kg<sup>-1</sup> de argila, 10 g kg<sup>-1</sup> de silte e 46 g kg<sup>-1</sup> de areia. As avaliações foram realizadas em três estádios fenológicos: (V4) Quarto nó - terceira folha trifoliada completamente desenvolvida; (R4) vagem completamente desenvolvida e (R8) Maturação plena – 95% das vagens com coloração de madura. De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que a adubação boratada aumentou o teor de fósforo e boro, o crescimento e a massa de grãos em plantas de soja.

**Palavras-chave:** boro, nutrição de plantas, *Glycine max* (L.).

## ABSTRACT

SILVA JUNIOR, Gerlos Alves da. University of Rio Verde, October 2016. **Fertilization with boron in soybean cultivation.** Advisor: Sihélio Júlio Silva Cruz.

This experiment was carried out in the agricultural year 2015/2016 in the greenhouse of the farm “Fontes do Saber”, property of the University of Rio Verde, Rio Verde, GO, with the objective of evaluating the effect on the soil of five doses of boron on growth and production of soybean grain, grown in the greenhouse. The experimental design was a completely randomized block design with five repetitions. Each plot consisted of three soybean plants grown in a pot containing 10 dm<sup>-3</sup> of soil. The treatments were five doses of boron: 0, 1, 2, 3 and 4 mg boron dm<sup>-3</sup> of soil, applied as disodium octaborate tetrahydrate (23.6% boron). The soil used in the experiment was a clayey Oxisoil. According to particle size analysis, it was composed of 440 g kg<sup>-1</sup> clay, 10 g kg<sup>-1</sup> silt and 46 g kg<sup>-1</sup> of sand. The evaluations were carried out in three phenological stages: (V4) Fourth node - third fully developed trifoliolate leaf; (R4) fully developed pod and (R8) full maturation - 95% of pods with mature color. According to the results, we can conclude that the boracic fertilization increased the content of phosphorus and boron, the growth and the mass of grains in soybean plants.

**Keywords:** boron, plant nutrition, *Glycine max* (L.).

## 1. INTRODUÇÃO

O boro (B) é classificado como um micronutriente essencial para o crescimento das plantas. Esse nutriente participa de diversos metabolismos fisiológicos e sua deficiência provoca reduções significativas na produtividade de diversas espécies cultivadas, principalmente quando cultivadas em solos tropicais pobres desse nutriente, como os solos brasileiros.

Na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), a deficiência de B afeta a produtividade de modo direto e também tem efeitos indiretos, proporcionando maior resistência ao déficit hídrico pelo maior desenvolvimento do sistema radicular, maximizando assim o aproveitamento da água e dos nutrientes. O boro também pode afetar o crescimento de ramos, pois o mesmo atua no desenvolvimento completo das plantas como no seu crescimento meristemático. Desempenha, ainda, importante papel na fase do florescimento, já que neste momento o B auxilia e acelera o processo de formação do tubo polínico, contribuindo com o aumento do número total de vagens por planta.

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja, com aproximadamente 32 milhões de hectares de área plantada, em sua maioria na região Centro-Oeste do país. Os solos dessa região geralmente apresentam baixos teores de B. Diante deste fato, diversos trabalhos de pesquisa vêm apresentando resultados positivos quando da aplicação de B em cultivos de culturas anuais. Porém, a maioria das pesquisas é realizada utilizando-se misturas contendo B e outros nutrientes, não permitindo a aferição do efeito isolado do B no crescimento e produtividade das espécies estudadas.

Existem, ainda, diversas pesquisas realizadas em casa de vegetação, que testaram no máximo três doses desse micronutriente, o que pode não ser suficiente para determinar níveis adequados ou tóxicos para o pleno desenvolvimento das plantas. Outro fator que aumenta a importância dos teores de micronutrientes no solo é a implantação do sistema de produção agrícola com duas safras por ano, predominantemente soja/milho, na região central do país.

Dentro deste cenário, a adequada nutrição mineral da cultura é extremamente importante para contribuir para a estabilidade e crescimento das produtividades. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação no solo de cinco doses de B sobre o crescimento e produção de grãos de plantas de soja, cultivadas em casa de vegetação.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. A cultura da soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das plantas cultivadas mais importantes do mundo, principalmente porque o seu grão pode fornecer óleo para alimentação humana, biodiesel, desinfetantes, lubrificantes, sabões, etc. O farelo de soja é utilizado na alimentação humana e animal e também na produção de muitos produtos processados e semiprocessados (SEDIYAMA, 2009).

O sistema de produção da soja se tornou um dos setores mais produtivos do mundo, sendo responsável pela formação de um imenso complexo empresarial entre propriedades agrícolas, indústrias, cooperativas e empresas prestadoras de serviços; no Brasil, cerca de 250 mil produtores rurais vivem da renda gerada por essa oleaginosa (RUCHS, 2010). No contexto das grandes culturas produtoras de grãos, a soja foi a que mais cresceu em termos percentuais nos últimos 30 anos, tanto no Brasil como em nível mundial. Na safra 2015/2016, o Brasil figurou como o segundo maior produtor mundial desta oleaginosa, com a produção de 102 milhões de toneladas, ficando atrás apenas dos EUA, com a produção em torno de 107 milhões de toneladas (USDA, 2016).

No País, a área plantada com a oleaginosa na safra 2015/2016 apresentou um incremento de 3,5 %, passando de 32,1 para 33,2 milhões de hectares. Além disso, sua produção teve um aumento de 6,1%, atingindo uma produção de 102,1 milhões de toneladas, contra as 96,2 milhões de toneladas do ano anterior. Com isso, o Brasil alcançou uma produtividade média de 3073 kg ha<sup>-1</sup> na safra 2015/2016, sendo 2,5 % superior à safra anterior, que foi de 2998 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2016).

O Estado de Goiás é o quarto maior produtor dessa oleaginosa, com área de cultivo de 3,4 milhões de hectares na safra de 2015/16, mostrando um aumento de 2,7% na área, se comparada com a safra anterior que foi de 3,3 milhões de hectares. O estado obteve produção de 10,5 milhões de toneladas, o que representou aproximadamente 10,2 % da produção nacional nesta safra, sendo a produtividade média de 3064 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2016).

## 2.2. O boro no sistema solo-planta

O boro (B) é um dos dezessete elementos considerados essenciais para o pleno desenvolvimento das plantas (MEURER, 2007). Para Mesquita et al., (2011), as plantas necessitam de uma pequena, no entanto contínua disponibilidade de B durante seu desenvolvimento. Segundo Dechen e Nachtigall (2007), cada um dos dezessete elementos essenciais apresenta função específica no desenvolvimento das plantas e a disponibilidade dos mesmos de maneira desequilibrada pode provocar limitações ao desenvolvimento das culturas.

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 pH, textura, precipitação, além de 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<sup>-1</sup>, mas Dechen e Nachtigall (2007) afirmam que apenas valores entre 0,1 e 3 mg kg<sup>-1</sup> 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.

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, e alguns sintomas são distintos conforme a espécie e idade das mesmas (ZANÃO JÚNIOR, 2012). Os principais sintomas são a redução da superfície foliar, uma vez que 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 NACHTIGALI, 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  $15 \text{ mg kg}^{-1}$ . Já Zanão Júnior (2012) afirma que os teores foliares adequados estão entre 10 e  $200 \text{ mg kg}^{-1}$  desse elemento, dependendo da espécie.

### **2.3. Adubação boratada no cultivo da soja**

A aplicação de boro em cultivos de soja nos solos de regiões tropicais é prática comumente utilizada, entretanto, as doses aplicadas, em muitos casos, não seguem variáveis determinadas de acordo com os resultados das análises de solo, podendo não estar maximizando as respostas à aplicação do fertilizante. Por outro lado, a ocorrência de deficiência de boro nessa cultura pode limitar a produtividade de grãos (FUNDAÇÃO RIO VERDE, 2004).

O boro é um micronutriente essencial para a cultura da soja (BORKERT et al., 1994), porém o manejo da adubação com boro deve ser cuidadoso, pois a faixa entre a deficiência e toxidez é estreita quando comparado aos demais nutrientes (QUAGGIO e PIZA JR., 2001). Apesar dos inúmeros trabalhos desenvolvidos com boro no Brasil, muitas dúvidas ainda surgem a respeito do efeito das fontes de nutrientes, bem como das doses, épocas e modo de aplicação. Assim, muitos prejuízos têm ocorrido devido à utilização incorreta de determinados nutrientes na cultura da soja (MALAVOLTA et al., 1991).

Os prejuízos advindos da deficiência ou do excesso de boro no solo acontecem porque este micronutriente, além de melhorar a fecundação das flores e a formação de grãos, interfere na retenção das vagens recém-formadas (canivetes), além de atuar no crescimento do meristema, diferenciação celular, maturação, divisão celular e crescimento das plantas (PRADO, 2008). Assim como o cálcio (Ca), o B apresenta baixa mobilidade dentro do

floema, portanto, é de difícil redistribuição das folhas mais maduras para os pontos de maior exigência como os tecidos meristemáticos. Isto implica a necessidade de uma constante disponibilidade ou suprimento deste nutriente durante a fase vegetativa das plantas (TANAKA, 1992).

Nesse contexto, o conhecimento da dose ideal na aplicação de fertilizante contendo boro é muito importante para o produtor quando o objetivo principal é o aumento e/ou a estabilidade da produtividade de grãos de soja.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Local**

O experimento foi realizado no ano agrícola 2015/2016 em casa de vegetação, na Fazenda Fontes do Saber, pertencente à Universidade de Rio Verde, em Rio Verde, GO, cujas coordenadas geográficas são: 17° 47' 53'' latitude (S); longitude (W) – 51° 55' 53'', com altitude média de 748m.

#### **3.2. Delineamento experimental e tratamentos**

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos inteiramente casualizados, com cinco repetições. Cada parcela experimental foi composta por três plantas de soja cultivadas em um vaso contendo 10 dm<sup>-3</sup> de solo. Os tratamentos foram cinco doses de B: 0, 1, 2, 3 e 4 mg B dm<sup>-3</sup> de solo, aplicado como octaborato dissódio tetra-hidratado (23,6% de B).

#### **3.3. Solo utilizado no experimento**

O solo utilizado no experimento foi um Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa. De acordo com a análise granulométrica, este era constituído por 440 g kg<sup>-1</sup> de argila, 100 g kg<sup>-1</sup> de silte e 460 g kg<sup>-1</sup> de areia. O resultado da análise química do solo está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Resultado da análise química do solo utilizado no experimento realizado em casa de vegetação, Rio Verde, GO

pH	M. O	Al <sup>3+</sup>	Ca	Mg	SB	CTC	V%	K	P <sub>(mel)</sub>	S	B
CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					-----mg dm <sup>-3</sup> -----				
5,6	8,1	0	0,58	0,07	0,83	2,31	36	61	0,8	3,7	0,02

O fósforo (P) e o potássio (K) foram extraídos pelo extrator Mehlich 1, e o cálcio (Ca), o magnésio (Mg) e o alumínio (Al) pelo KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>. Na solução extraída, o P foi determinado por colorimetria e o K por fotometria de chama. O Ca e o Mg foram determinados por titulação, utilizando-se EDTA, e o Al por titulação com NaOH. O boro (B) foi extraído com água quente e determinado pelo método colorimétrico com azometina-H (BATAGLIA e RAIJ, 1990). A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta.

#### 3.4. Correção da acidez e adubação do solo

O solo de cada vaso recebeu 0,250 mg/dm de calcário, para elevar os teores de Ca e Mg e o pH. O calcário utilizado na incubação continha 30,2% de CaO, 12,8% de MgO e um PRNT igual a 100% e a incubação ocorreu 30 dias antes da semeadura. Em seguida, antecedendo a semeadura, cada vaso recebeu 1,0 g de N, 2,0 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 2,0 g de K<sub>2</sub>O, utilizando como fontes: ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio na formulação 02-20-20, respectivamente.

#### 3.5. Semeadura

Na semeadura, realizada de forma manual, foi utilizada a cultivar TMG 1175 RR na profundidade de três centímetros. Foram semeadas seis sementes por vaso, e após a emergência das plântulas, foi realizado o desbaste deixando-se três plantas por vaso.

#### 3.6. Irrigação

O suprimento de água às plantas foi realizado via sistema de irrigação por aspersão, mantendo o nível de água disponível no solo em 90% correspondente à tensão de 6 kPa. Para isso, foram instalados seis tensiômetros, cada um distribuído aleatoriamente entre os tratamentos. Os tensiômetros foram instalados inicialmente à profundidade de 5 cm abaixo da superfície do solo. No 10º dia após a emergência das plântulas, eles foram aprofundados para 15 cm abaixo da

superfície do solo, acompanhando o desenvolvimento esperado das raízes. As leituras dos tensiômetros foram realizadas utilizando-se tensímetro digital, com precisão de 0,01 kPa. As parcelas foram irrigadas sempre que a média das repetições de cada tratamento superava o limite de tensão estabelecido (6 kPa).

### **3.7. Avaliações**

As avaliações foram realizadas em três estádios fenológicos: (V4) Quarto nó - terceira folha trifoliada completamente desenvolvida; (R4) Vagem completamente desenvolvida e (R8) Maturação plena – 95% das vagens com coloração de madura.

#### **3.7.1. Avaliações realizadas no estágio fenológico (V4)**

##### **3.7.1.1. Índice SPAD de clorofila**

O índice SPAD de clorofila foi determinado através de leituras realizadas com o clorofilômetro marca Minolta (modelo SPAD-502). Estas foram realizadas nos três trifólios de cada planta e as médias dessas leituras foram calculadas.

##### **3.7.1.2. Matéria seca das plantas de soja**

Para determinação da matéria seca das plantas, as três plantas de soja em cada parcela foram cortadas rente ao solo. Em seguida, o solo foi lavado em uma peneira para coleta das raízes. Depois, todo o material vegetal foi separado em raízes, caules e folhas e seco em estufa de ventilação forçada a 65°C até atingir peso constante. No final, a matéria seca obtida em cada um dos componentes morfológicos por parcela foi dividida por três, para determinação da matéria seca de raiz, caule e folhas por planta de soja.

##### **3.7.1.3. Teores de nutrientes nas folhas das plantas de soja**

Para determinação dos teores de nutrientes nas folhas, foram coletados os terceiros quartos trifólios com os pecíolos, contados a partir do ápice, considerados como folhas diagnósticas

(EMBRAPA, 2004). Os trifólios coletados das três plantas de cada vaso foram agrupados, compondo uma única amostra e analisados quimicamente.

No procedimento de análise, o material vegetal foi lavado com água destilada, posto para secar em estufa de circulação forçada de ar a 65° C, até atingir peso constante e moído em moinho tipo Wiley. As amostras foram digeridas por via úmida com ácido sulfúrico para a análise de nitrogênio, ácido nítrico e perclórico para determinação de fósforo, enxofre, potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco; e via seca em mufla a 600° C para boro.

A teor de nitrogênio no material foi quantificado por destilação de amônia em destilador semimicro Kjeldahl seguido de titulação; o fósforo, por método colorimétrico com vanadomolibdato de amônio; o enxofre, por turbidimetria com cloreto de bário; o boro, por colorimetria com azometina-H; cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco, por espectrofotometria de absorção atômica e potássio, por fotometria de chama.

A matéria seca das folhas diagnosticadas foi depois somada à matéria seca das folhas de cada parcela experimental de onde a mesma foi retirada.

### **3.7.2. Avaliações realizadas no estágio fenológico (R4)**

#### **3.7.2.1. Número de entrenós na haste por planta**

O número de entrenós na haste (NNH) por planta foi determinado através da simples contagem de cima para baixo a partir do primeiro nó verdadeiro.

#### **3.7.2.2. Número de vagens**

Para o número de vagens por planta, foi realizada a contagem de todas as vagens compreendidas na haste que apresentavam no mínimo um grão por vagem.

### **3.7.3. Avaliações realizadas no estágio fenológico (R8) (Maturação plena)**

#### **3.7.3.1. Massa de 100 grãos**

Para avaliação da massa de 100 grãos foram separadas, conforme prescrições estabelecidas pelas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), com modificações,

oito subamostras de 100 sementes, cujas massas foram determinadas em balança de precisão e corrigidas, considerando-se teor água de 13%. Os resultados médios foram expressos em gramas.

### **3.8. pH do solo após a coleta das plantas de soja**

Após a coleta das plantas, foram coletadas amostras de solo em cada vaso, separadamente, para determinação do pH. O pH variou de 6,1 a 6,5, com média geral de 6,3.

#### **3.8.1. Análise estatística**

Os resultados foram submetidos à análise de variância e regressão e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A aplicação das doses de B no solo aumentou os teores de fósforo (P) e B nas plantas de soja (Tabela 2). Esses resultados foram relevantes, porque além da importância do B para o crescimento e reprodução das plantas, observou-se também uma maior absorção de P. Segundo Sedyama (2016), essa importância existe porque o P possui alta adsorção e baixa disponibilidade na maioria dos solos onde a soja é cultivada no Brasil. Além disso, esse elemento desempenha um importante papel nas plantas, uma vez que está fortemente ligado a inúmeros processos metabólicos, atuando também na constituição do ATP, do DNA e de enzimas, como a fosforilase (BREVILIERI, 2012).

Tabela 2. Teores de nutrientes nas folhas de plantas de soja submetidas a diferentes doses de boro aplicadas no solo. Rio Verde – GO, 2015/2016

	N	P	K	Ca	Mg	S	B
Tratamentos							
0	26,7	2,3	13,5	7,4	4,8	1,1	0,115
1	30,2	2,5	15,3	8,3	5,5	1,4	0,157
2	30,7	2,7	15,8	8,4	5,3	1,3	0,190
3	27,7	2,8	14,8	7,6	5	1,2	0,262
4	28,9	2,9	14,3	8,1	4,9	1,4	0,425
Teste F							
Reg. linear	0,07 <sup>ns</sup>	10,95 <sup>**</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	964,4 <sup>**</sup>
Reg. quadrática	1,04 <sup>ns</sup>	4,45 <sup>ns</sup>	2,66 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>	1,20 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	103,1 <sup>**</sup>
Reg. cúbica	1,19 <sup>ns</sup>	1,22 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	1,03 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>	1,64 <sup>ns</sup>	18,97 <sup>**</sup>
Reg. 4º grau	0,22 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>
CV%	14,8	16,4	20,3	16,7	16,8	27	6,5

\*\*significativo ao nível de 1%; \*significativo ao nível de 5%; <sup>ns</sup> não significativo.

Ainda com relação aos teores de B e P nas plantas, resultados observados em outros estudos corroboram com os obtidos aqui. No estudo de Fageria (2000), a acumulação de B nas plantas de soja em função do B aplicado no solo foi altamente significativa e quadrática. Em plantas de goiaba, as doses de B também causaram diferenças significativas nos teores foliares de boro, originando uma resposta linear com o uso do nutriente (SALVADOR et al., 2003).

Em experimentos com rabanete, Tanaka, citado por Gupta (1993), observou que a absorção de boro pela cultura aumentou com o fornecimento de fósforo. A mesma interação positiva entre estes dois nutrientes foi observada por Wojeik (1999) em trabalho realizado com maçã, no qual a aplicação de B no solo aumentou a absorção de fósforo, o que pôde ser comprovado por meio do aumento da concentração de fósforo foliar.

Já para os índices SPAD de clorofila, não foram observados incrementos significativos em função da aplicação das doses de B (Figura 1). Isso pode ter ocorrido devido à época de aplicação do B e a cultivar utilizada. No estudo de Gomes (2016), as aplicações no solo de até 2,0 mg de B dm<sup>-3</sup> nos estádios fenológicos (V6) e (V9) também não promoveram incrementos no índice SPAD de clorofila, sendo observado incremento significativo somente quando aplicado B na fase reprodutiva (R9). Também no mesmo estudo foi constatado que o incremento só aconteceu na cultivar convencional, não ocorrendo alterações nos índices de clorofila na cultivar transgênica.

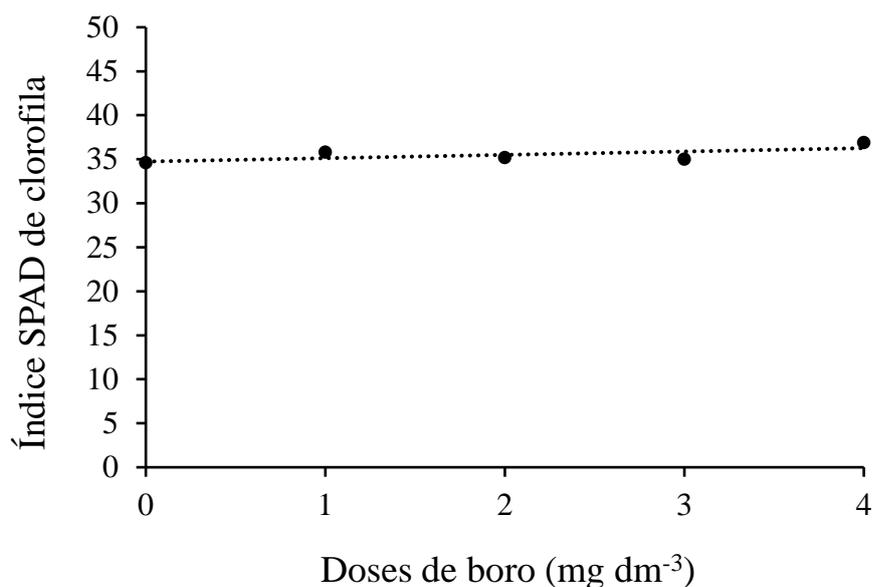


Figura 1. Índice SPAD de clorofila no limbo das folhas de plantas de soja submetidas a diferentes doses de boro aplicadas no solo. Rio Verde – GO, 2015/2016.

No caso da produção de matéria seca pelas plantas de soja, essa foi influenciada pelas doses de B aplicadas no solo. As maiores médias de massa de matéria seca para raízes, caule e folhas foram obtidas quando aplicados 2,0 mg de B dm<sup>-3</sup> de solo (Figuras 2, 3 e 4).

Nesse caso, o solo utilizado no experimento apresentava baixos teores de B, e nessa condição a deficiência de B causa impacto direto na estrutura, crescimento e divisão celular das plantas (O'NEILL et al., 2001; WIMMER e EICHERT, 2013). Dessa forma, o crescimento de raízes e a absorção de água e de nutrientes podem ter sido prejudicados no estado de deficiência. E ao contrário, com a aplicação de B, o crescimento das raízes foi favorecido. Assim, com maior capacidade de exploração do solo, as plantas adubadas com B produziram uma parte aérea maior. Esse maior crescimento pode estar relacionado também a uma maior eficiência na realização de processos fisiológicos como fixação de nitrogênio, integridade da membrana plasmática e transporte de açúcar (REIS et al., 2008; TRAUTMANN, 2014).

No estudo de Manfredini (2008), esse autor observou que em condição de deficiência de boro, o crescimento das raízes de plantas de soja-perene foi inibido rapidamente, e essa deficiência também causou alterações anatômicas, tais como alteração da integridade e funcionamento da membrana celular, disfunções metabólicas e baixo crescimento, devido às funções estruturais específicas desse elemento na parede celular e à limitada mobilidade do nutriente na maioria das plantas.

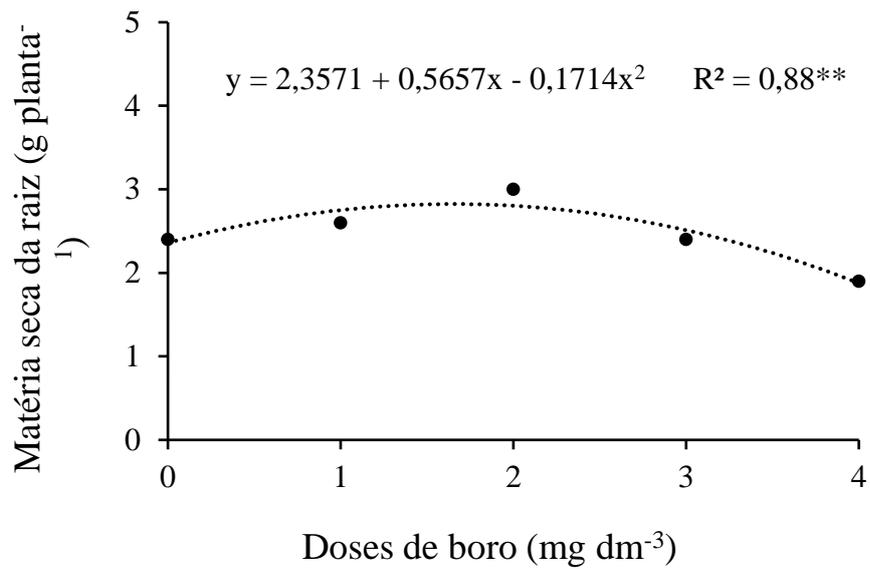


Figura 2. Matéria seca das raízes de plantas de soja submetidas a diferentes doses de boro aplicadas no solo. Rio Verde – GO, 2015/2016.

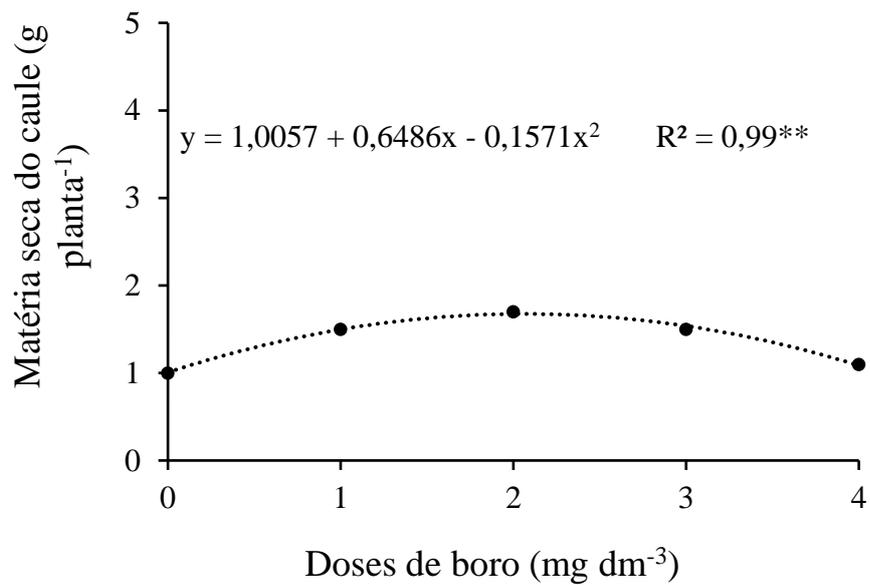


Figura 3. Matéria seca do caule de plantas de soja submetidas a diferentes doses de boro aplicadas no solo. Rio Verde – GO, 2015/2016.

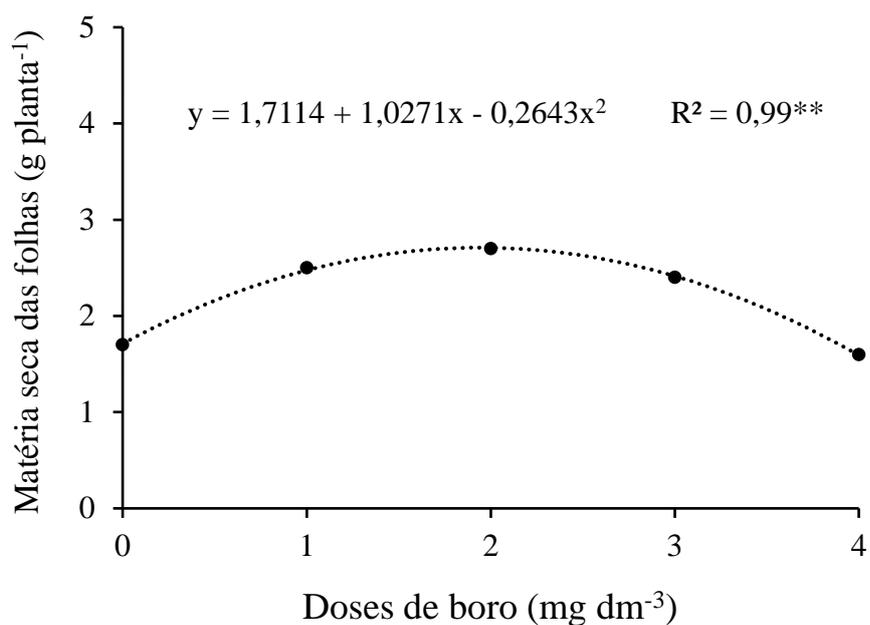


Figura 4. Matéria seca das folhas de plantas de soja submetidas a diferentes doses de boro aplicadas no solo. Rio Verde – GO, 2015/2016.

O número de entrenós por planta de soja não sofreu alteração em função das aplicações de B no solo (Figura 5). Já o número de vagens por planta aumentou significativamente com a aplicação de até 2,0 mg de B dm<sup>-3</sup> (Figura 6).

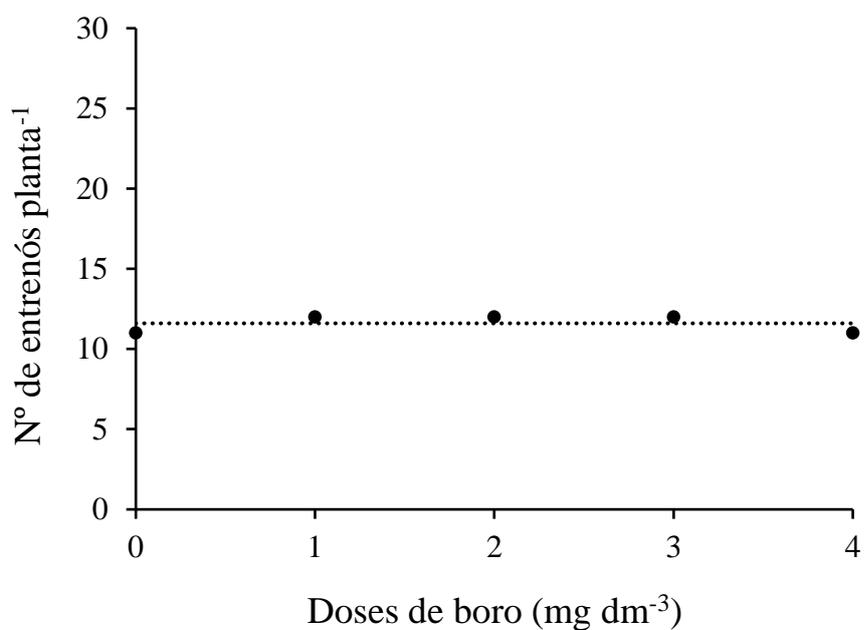


Figura 5. Número de entrenós em plantas de soja submetidas a diferentes doses de boro aplicadas no solo. Rio Verde – GO, 2015/2016.

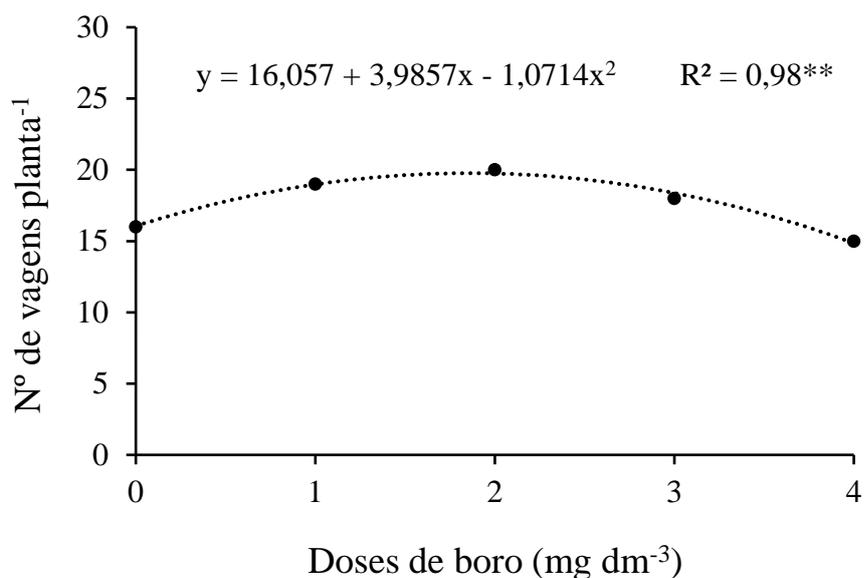


Figura 6. Número de vagens em plantas de soja submetidas a diferentes doses de boro aplicadas no solo. Rio Verde – GO, 2015/2016.

Nesse estudo, esperava-se que o número de entrenós por planta aumentasse também com a aplicação de B. Não foi o que aconteceu (Figura 5). Segundo Sedyama (2016), a emissão das flores nas plantas de soja acontece nos entrenós completamente desenvolvidos, estabelecendo de certo modo uma relação entre o número de entrenós e o número de flores/vagens por planta. Porém, um fato positivo pode ter acontecido: como o boro é importante para o crescimento do tubo polínico e a germinação dos grãos de pólen, o que acarreta, no caso de deficiência, uma baixa formação de flores e redução no número final de vagens (LIMA et al., 2013), o suprimento adequado de B pode ter proporcionado menores taxas de esterilidade masculina, consequentemente maior número de formação e fecundação de flores e formação de frutos/vagens.

Para Rosolem e Boaretto (1989), a época de maior demanda de nutrientes pelas plantas de soja ocorre nos estádios R1 a R5. Segundo Faquin (1994), a exigência de B é normalmente maior para a produção de sementes e grãos do que para o crescimento vegetativo das plantas, devido a sua participação no processo de fertilização. No mesmo sentido, Carvalho e Nakagawa (2000) concluíram que a exigência nutricional das culturas é maior com o início da fase reprodutiva e essa alta exigência deve-se ao fato dos nutrientes serem essenciais à formação e ao desenvolvimento de novos órgãos de reserva.

O crescimento observado nas plantas de soja adubadas com boro refletiu na massa de grãos. Observa-se, na Figura 7, que a aplicação de B até 2 mg dm<sup>-3</sup> aumentou o peso dos grãos. Segundo Souza et al. (2010), esse aumento pode ter acontecido em função de um maior crescimento do sistema radicular e aéreo das plantas de soja. Além disso, outros fatores podem ter contribuído também para um maior desenvolvimento e enchimento de grãos, como, por exemplo, paredes celulares mais resistentes (SOUZA et al., 2010), maior estabilidade da membrana plasmática, maior transporte de açúcares, respiração, além de outras atividades como fixação de N, metabolismo de RNA (GONDIM, 2009; ZANÃO JÚNIOR, 2012; GUERRA, 2013), crescimento do tubo polínico, maior fecundação, e maior atividade hormonal (DECHEN e NACHTIGALL, 2007).

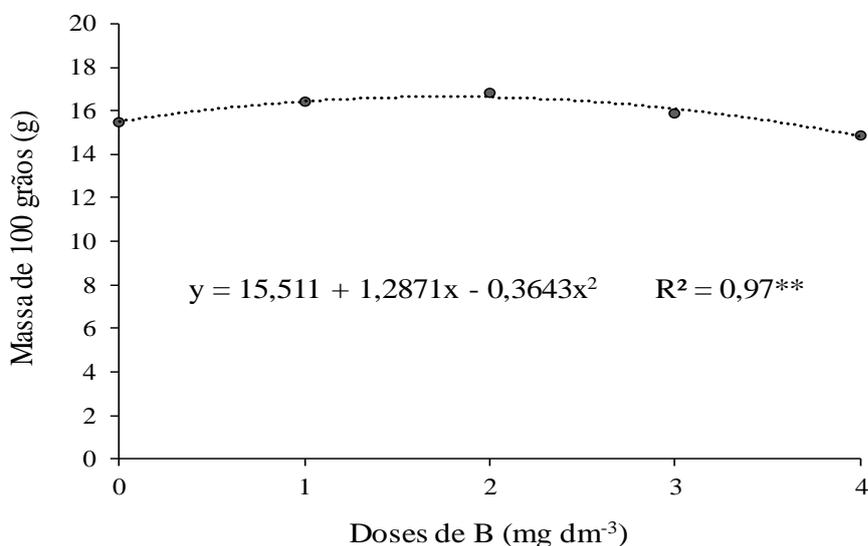


Figura 7. Massa de 100 grãos de plantas de soja submetidas a diferentes doses de boro aplicadas no solo. Rio Verde – GO, 2015/2016.

A influência da adubação boratada no desenvolvimento das sementes/grãos também pode ser observada em diversos trabalhos científicos que apresentaram resultados positivos, como, por exemplo, o trabalho de Raimundi et al. (2013), que através de aplicações de boro a lanço e na base observaram aumento na massa das sementes e em produtividade. Já Costa et al. (2014) encontraram resultados significativos através de aplicações de boro via foliar, como aumento no número de vagens e peso do grão, conseqüentemente aumento no rendimento do feijoeiro em um latossolo vermelho distrófico de textura argilosa. No mesmo sentido, Gomes (2016) estudou a aplicação de boro via foliar e chegou à conclusão de que a aplicação de boro influenciou na qualidade fisiológica de sementes e o estágio mais indicado para a aplicação,

visando à melhoria na qualidade das sementes, segundo seus dados são os estádios V9 e R1, independente da variedade utilizada. Ceretta et al. (2005) relatam que a aplicação de boro é viável economicamente quando os preços de soja são favoráveis.

## 5. CONCLUSÕES

Com a adubação boratada na dose de 2mg/dm<sup>3</sup> obteve-se maior rendimento de raízes, folhas, caule, número de vagens e massa de 100 grãos. Também houve aumento no teor de fósforo e boro em plantas de soja.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

BATAGLIA, O. C.; RAIJ, B. van. **Eficiência de extratores na determinação do boro em solos**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 14, p. 25-31, 1990.

BORKERT, C.M.; YORINORI, J.T.; CORRÊA-FERREIRA, B.S.; ALMEIDA, A.M.R.; FERREIRA, L.P.; SFREDO, G.J. **Seja o doutor da sua soja**. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 66, 1994. 16 p. (Arquivo do Agrônomo).

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 395p.

BREVILIERI, R. C. **Adubação fosfatada na cultura da soja em Latossolo vermelho cultivado há 16 anos sob diferentes sistemas de manejo**. 52f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauana, 2012.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP. 588 p, 2000.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos - Décimo segundo levantamento de avaliação da safra 2015/2016**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em 03/03/2016.

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.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil 2005**. Londrina: Embrapa Soja, 2004. 239p.

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

FURLANI, A.M.C. **Nutrição mineral**. In: KERBAUY, G.B. Fisiologia vegetal. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. Cap.2, p.40-75.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: FAEPE, 2005.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1994. 227 p.

FUNDAÇÃO RIO VERDE – Fundação de Apoio à Pesquisa e Desenvolvimento Integrado Rio Verde. **Safra 2003-2004, resultados de pesquisa** – divulgação aberta – arroz, milho, soja. Lucas do Rio Verde, 2004. 58p. (Boletim Técnico, 09).

GOMES, I.S. **Aplicação de boro em diferentes estádios da cultura da soja**. 2016. 29p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Goiás, Ipameri, 2016.

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. San Diego, V.31, p.373-377, 1979.

LINDSAY, W.L. **Chemical equilibria in soils**. New York: John Wiley, 1979, 449 p.

MALAVOLTA, E.; BOARETTO, A. E; PAULINO, V.T. **Micronutriente: uma visão geral**. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. da. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Potafós, 1991. p.1-34.

MANFREDINI, D. **Cálcio e boro para soja-perene: características anatômicas e agrônômicas e concentração de nutrientes**. 2008. 104p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura, Piracicaba, 2008.

MESQUITA, G.M.; COSTA E SILVA, S.M.; BUSO, W.H.D.; DA SILVA, S.D. **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 de plantas**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. C.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 929-954.

O'NEILL, M.A.; EBERHARD, S.; ALBERSHEIM, P.; DARVILL, A.G. **Requirement of borate crosslinking of cell wall rhamnogalacturonan II for Arabidopsis growth**. Science, v.294, p. 846-849, 2001.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas: diagnose foliar em grandes culturas**. 1. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2008. 500 p.

QUAGGIO, J.A.; PIZA Jr, C.T. **Frutíferas tropicais**. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B.V.; ABREU, C.A. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal:CNPq/FAPESP/POTAFOS, p. 458-491. 2001.

REIS, C. J. SORATTO, R.P.; BISCARO, G.A.; KULCZYNSKI, S.M.; FERNANDES, D.S. **Doses e modos de aplicação de boro na produção e qualidade fisiológica de sementes de feijão em solo de cerrado**. Agrônômica Ceres. Viçosa, v.55, n.4, p. 258-264, 2008.

ROSOLEM, C.A.; BOARETTO, A.E. **A adubação foliar em soja**. In: BOARETTO, A.E.; ROSOLEM, C.A. (Eds.) Adubação foliar. Campinas, Fundação Cargill, 1989. 500p.

RUCHS, E.L. **Modelo matemático para tomada de decisões no processo produtivo e de esmagamento da soja**. Dissertação (Mestrado em Matemática) - Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí-RS, 85p, 2010.

SALVADOR, J.O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; CABRAL, C.P. **Influência do boro e do manganês no crescimento e na composição mineral de mudas de goiabeira**. Ciênc. Agrotec., Lavras. V.27, n.2, p.325-331, 2003.

SEDIYAMA, T. **Produtividade da soja**. Londrina: Mecenaz, 2016. 310 p.

SEDIYAMA, T. **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Mecenaz, 2009. 314 p.

SOUZA, R.R.; PAIVA, P.D.O.; CARVALHO, J.G.; ALMEIDA, E.F.A.; BARBOSA, J.C.V. **Doses de boro no desenvolvimento de copo-de-leite em solução nutritiva**. Ciência e Agrotecnologia, v.34, n.6, p.1396-1403, 2010.

TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A. Soja. **Nutrição, correção do solo e adubação**. Campinas, Fundação Cargill, 1992. 60p. (Série Técnica, 7)

TRAUTMANN, R.R.; LANA, M.C.; GUIMARÃES, V.F.; GONÇALVES JR, A.C.; STAINER, F. **Potencial de água do solo e adubação com boro no crescimento e absorção do nutriente pela cultura da soja**. Revista Brasileira Ciência do Solo, v. 38, p. 240251, 2014.

USDA-UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. In: **Infomativo Deagro-safra mundial de soja – 13º levantamento do Usda**. Abril 2016. Disponível em [http://az545403.vo.msecnd.net/uploads/2016/04/boletim\\_safra-mundialsoja\\_abril2015.pdf](http://az545403.vo.msecnd.net/uploads/2016/04/boletim_safra-mundialsoja_abril2015.pdf). Acesso em abril de 2016.

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

WIMMER, M.A.; EICHERT, T. **Review: mechanisms for boron deficiency-mediated changes in plant water relations**. Plant Science, v.203–204, p. 25–32, 2013.

**WOJEIK, P. Effect of boron fertilization on uptake and distribution of selected mineral nutrients in “Elstar” apple.** *Jornal of Fruit and Ornamental Plant Research*, v.7, p.119-131, 1999.