



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

BRUNA SAYURI FUJIYAMA

**BORO E CALAGEM NO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DA SOJA EM
LATOSSOLO AMARELO TEXTURA MUITO ARGILOSA DA AMAZÔNIA.**

**BELÉM
2014**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

BRUNA SAYURI FUJIYAMA

**BORO E CALAGEM NO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DA SOJA EM
LATOSSOLO AMARELO TEXTURA MUITO ARGILOSA DA AMAZÔNIA.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do programa de pós-graduação em Agronomia, para obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Júnior

Coorientador: Dr. Alysson Roberto Baizi e Silva

**BELÉM
2014**

Fujiyama, Bruna Sayuri

Boro e calagem no crescimento e produção da soja em Latossolo Amarelo textura muito argilosa da Amazônia / Bruna Sayuri Fujiyama. - Belém, 2014.

53 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2014.

1. Solo – nutrição mineral de plantas 2. *Glycine max* (L.) 3. Micronutrientes 4. Saturação por bases 5. Grãos I. Título.

CDD – 631.422



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

BRUNA SAYURI FUJIYAMA

**BORO E CALAGEM NO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DA SOJA EM
LATOSSOLO AMARELO TEXTURA MUITO ARGILOSA DA AMAZÔNIA.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Mestre.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Júnior – Orientador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Elaine Maria Silva Guedes', is positioned below the name of the second member of the exam board.

Prof^ª. Dra. Elaine Maria Silva Guedes
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Eduardo do Valle Lima', is positioned below the name of the third member of the exam board.

Prof. Dr. Eduardo do Valle Lima
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

Prof^ª. Dra. Leila Sobral Sampaio
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

*Aos meus pais amados, Cosma da Silveira Fujiyama
e Kazumasa Fujiyama (in memoriam).*

DEDICO

*Ao meu pai,
Kazumasa Fujiyama (in memoriam),
Pelo exemplo de disciplina, dedicação e integridade.
Pelas inúmeras provas de amor dedicadas a mim
Até mesmo no seu último dia.*

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus em primeiro lugar.

A Universidade Federal Rural da Amazônia, pela oportunidade de cursar o mestrado em Agronomia e desenvolver todos os meus trabalhos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de mestrado.

A empresa JUPARANÃ por permitir a utilização da área para coleta de solo, sementes e financiamento desta pesquisa.

Ao Professor Dr. Mário Lopes da Silva Júnior pela ajuda, amizade e orientação no mestrado.

Ao pesquisador da Embrapa, Dr. Alysson Roberto Baizi e Silva, pela atenção e paciência dedicadas nos momentos de ensinamento. Muito obrigada pela amizade e coorientação deste trabalho.

A Professora Dra. Leila Sampaio pelo conhecimento repassado durante toda condução deste trabalho. Muito obrigada.

Aos professores que compuseram a banca de qualificação, professora Leila Sampaio, professora Ana Regina Araújo e professor George Silva, muito obrigada pelas sugestões, elas foram de grande valia para melhoria do trabalho.

A minha amada mãe Cosma Fujiyama pelo apoio incondicional durante toda minha formação.

Ao meu pai Kazumasa Fujiyama (in memoriam) pelo amor, exemplo de vida, dedicação à família e força que sempre me fizeram seguir em frente.

Aos meus irmãos, Roberto Fujiyama, Massae Fujiyama e Yoshie Fujiyama, pelo carinho e confiança em mim.

A professora Herdjânia Veras de Lima, pelo apoio na análise física do solo.

A minha amiga Andrea Ayumi Ohaze, pelo amor de irmã e pela convivência de muitos anos, obrigada pela paciência, carinho e dedicação.

Aos meus amigos Sâmya Santos, Antônio Heitor Júnior, Leonardo Barbosa, e Derick Diniz, por desde a época de ensino médio estarem sempre presentes e me apoiando nas fases mais importantes da minha vida.

Ao meu querido Edwin Almeida Assunção, por ter estado ao meu lado em todos os momentos, me auxiliando e me guiando sempre. Serei eternamente grata.

Aos meus amigos Gledson Castro, Michel Sato e Michel Emerson por contribuir e compartilhar seus conhecimentos, me ajudando sempre, desde a época de graduação.

Aos estagiários, Andressa Paiva, Maria Cardoso, Rafael dos Santos e Sheyla Oliveira, pelo profissionalismo e dedicação em todas as fases deste trabalho e fora dele.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia pelos ensinamentos adquiridos durante o curso.

A EMBRAPA, pela disponibilidade do moinho e auxílio técnico para o andamento do trabalho.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização dessa pesquisa.

Meus sinceros agradecimentos!

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos químicos e granulometria do solo coletado na camada de 0-0,20 m de profundidade, no município de Paragominas, PA.	22
Tabela 2. Composição das soluções - estoque, utilizadas no preparo da solução nutritiva.....	23
Tabela 3. Atributos químicos do solo 30 dias após a incubação com calcário. VD (Saturação por bases desejada). VA (Saturação por bases atingida).	25
Tabela 4. Análise de variância para o teor de B no tecido foliar em função das doses de B aplicadas e dos níveis de saturação por bases.	29
Tabela 5. Valores médios da massa seca da parte aérea, altura e diâmetro em função das doses de B e saturação por bases. Análise de variância para massa seca da parte aérea, altura e diâmetro em função das doses de B e calagem aplicadas.....	32
Tabela 6. Análise de variância para o Número de vagem por planta, Número de grãos por planta e Massa de 100 grãos em função das doses de B e calagem aplicadas.....	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Doses de B e saturação por bases no Teor de B no tecido foliar (Valores médios observados).....	29
Figura 2. Saturação por bases e massa seca da parte aérea (valores médios \pm erro padrão da média, n=5).....	33
Figura 3. Doses de boro aplicadas no número de vagem por planta (valores médios \pm erro padrão da média, n=5).	36
Figura 4. Saturação por bases no número de vagem por planta (valores médios \pm erro padrão da média, n=5).....	37
Figura 5. Interação entre as doses de boro aplicadas e os níveis de saturação por bases no número de grãos por planta (valores médios observados).....	38
Figura 6. Interação entre as doses de B aplicadas e os níveis de saturação de bases na massa 100 de grãos (valores médios observados).	40
Figura 7. Interação entre as doses de B e as saturações por bases na produtividade.	42
Figura 8. Interação entre os teores de B no tecido foliar e as saturações por bases na produtividade de grãos.....	43

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	12
1. CONTEXTUALIZAÇÃO	13
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 Importância econômica da cultura da soja	14
2.2 Aspectos botânicos e produtivos	15
2.3. Boro no solo	15
2.4. Boro na planta	17
2.5. Acidez do solo e a calagem	18
3 INTRODUÇÃO	20
4. MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1. Local do experimento.....	21
4.2. Caracterização do solo utilizado no experimento.....	21
4.3. Coleta do solo, atributos químicos e granulometria antes da instalação do experimento	21
4.4. Tratamentos e delineamento experimental.....	22
4.5. Instalação e condução do experimento.....	22
4.6. Avaliação dos parâmetros estudados.....	24
4.6.1. Crescimento.....	26
4.6.2. Componentes de produção e produtividade de grãos	26
4.7. Análises estatísticas.....	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1. Fertilidade do solo antes da semeadura.....	28
5.2. Teor de B no tecido foliar	29
5.3. Crescimento.....	32
5.4. Componentes de produção	35
5.4.1. Número de vagem por planta	36
5.4.2. Número de grãos por planta	38
5.4.3. Massa de 100 grãos	40
5.5. Produtividade	42
6. CONCLUSÕES.....	46
ANEXOS.....	47
REFERÊNCIAS	49

BORO E CALAGEM NO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DA SOJA EM LATOSSOLO AMARELO TEXTURA MUITO ARGILOSA DA AMAZÔNIA.

RESUMO

O boro (B) é um micronutriente para as plantas superiores e tem participação fundamental no crescimento e desenvolvimento da cultura da soja. Na Amazônia, a baixa fertilidade dos solos requer práticas como a calagem e adubação, que são essenciais para o aumento da produtividade e manutenção dos níveis adequados de nutrientes no solo. O objetivo deste trabalho é estudar o efeito do B nos componentes de produção e na produtividade de soja em um Latossolo Amarelo de textura muito argilosa, submetido a diferentes saturações por bases. O delineamento experimental empregado foi o de blocos ao acaso, com cinco repetições. Os tratamentos consistiram na combinação de cinco valores de V (44, 55, 65, 75 e 85 %) com cinco doses de B (0, 1,0, 2,0, 4,0, 8,0 mg dm⁻³), em esquema fatorial 5x5. No pleno florescimento (estádio R2), foi feita amostragem de folhas para análise química e nutricional. Na fase de enchimento de grãos (estádio R6), realizou-se a coleta da parte aérea das plantas para avaliação da massa de matéria seca da parte aérea (MSPA). Na maturidade completa (estádio R9), foram realizadas as seguintes avaliações: variáveis de crescimento (altura e diâmetro), componentes de produção (Número de vagens e grãos por planta, massa de 100 grãos), produtividade e análise da fertilidade do solo. Os resultados foram submetidos às análises estatísticas pelo programa OriginPro 8.0. A calagem proporcionou aumento significativo na produção da massa de matéria seca da parte aérea. O B não promoveu efeito significativo no crescimento da soja, considerando o teor inicial do solo de 0,42 mg.dm⁻³ como suficiente. Apesar de não apresentar efeito no crescimento da soja, o B atuou de maneira expressiva nas partes reprodutivas, com aumento nos componentes de produção. A interação entre B e calagem aumentou os componentes de produção da soja de maneira significativa. A interação entre B e calagem promoveu efeito na produtividade de soja.

PALAVRAS CHAVE: *Glycine max* (L.), micronutrientes, saturação por bases, grãos.

BORON AND LIMING ON GROWTH AND PRODUCTION OF SOYBEAN IN AMAZONIAN VERY CLAYEY OXISOL.

ABSTRACT

Boron (B) is a micronutrient for higher plants and has a fundamental role in the growth and development of soybean. Low soil fertility in Amazonian requires practices such as liming and fertilization, which are essential to increase productivity and maintain adequate levels of nutrients in the soil. The objective of this work is to study the effect of B on yield components and yield of soybean in a yellow very clayey Oxisol subjected to different base saturations. The experimental design was randomized blocks with five replications. The treatments consisted of five values of V (44, 55, 65, 75 and 85%) with five doses of B (0, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0 mg dm⁻³) in a factorial 5x5. At full flowering (R2 stage) leaf sampling was taken for chemical and nutritional analysis. At the stage of grain filling (R6 stage) there was a shoot harvesting of plants for evaluation of dry mass of (MSPA). At full maturity (stage R9) the following evaluations were performed: growth variables (height and diameter), yield components (number of pods and seeds per plant, weight of 100 grains), and productivity analysis of soil fertility. The results were subjected to statistical analysis by OriginPro 8.0 software. Liming provide a significant increase in the production of dry matter of shoots. Boron does not promote significant effect on soybean growth, considering the initial content of the soil of 0.42 mg.dm⁻³ as sufficient. Despite showing no effect on soybean growth, the B expressively acted in reproductive parts, with increased production components. interaction between B and liming increased the yield components of soybean significantly. Interaction between B and promoted liming effect on soybean yield.

KEYWORDS: *Glycine max* (L.), micronutrients, base saturation, grain.

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A área plantada e colhida de soja, nos últimos 10 anos, apresenta grande expansão no estado do Pará, com crescimento aproximado de 85,5%. Em se tratando de áreas produtivas, especificamente as destinadas à produção de grãos na safra 2013/2014, estima-se que o Brasil possui aproximadamente 55 milhões de ha, com destaque para o cultivo da soja que ocuparia cerca de 30 milhões de ha (CONAB, 2013).

Para que a expansão dessas áreas ocorra com eficiência, aspectos como correção da acidez do solo e adubação devem ser considerados, já que o aumento de produtividade está relacionado, também, a estratégias eficientes de nutrição mineral de plantas (SFREDO, 2008). Diante disso, destaca-se a importância do manejo adequado da fertilidade dos solos cultivados com soja.

Informações sobre calagem e adubação, oriundas de experimentação, são escassas no Pará. Assim, produtores de soja adotam de outros estados ou regiões os critérios e orientações para a melhoria da fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas. Essa conduta, no entanto, pode levar ao uso inadequado de calcário e fertilizantes, resultando em prejuízo econômico e até impacto ambiental negativo.

A dificuldade é ainda maior quando se trata do manejo de micronutrientes, principalmente do B, para a cultura da soja nas áreas produtivas. Neste contexto, estudos referentes à resposta da soja em relação à adubação boratada e a interferência da correção da acidez do solo indicam que o comportamento dos componentes de produção dessa cultura e a produção de grãos, podem ser influenciados pela elevação da saturação por bases do solo e pela elevação nos níveis de adubação com B (PEGORARO et al., 2008; NETO et al., 2009; MOREIRA et al., 2010). No entanto, como mencionado anteriormente, ainda é incipiente o número de informações sobre esse assunto, notadamente no estado do Pará.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi o de estudar o efeito do B nos componentes de produção e na produtividade de soja em um Latossolo Amarelo de textura muito argilosa, submetido a diferentes saturações por bases.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância econômica da cultura da soja

A soja é a cultura agrícola brasileira que mais cresceu nas últimas três décadas, correspondente a 54,5% da área plantada em grãos no país. O ganho de produtividade está associado ao manejo eficiente dos produtores e aos avanços tecnológicos que contribuíram para que a soja passasse por uma reestruturação ao longo da sua cadeia produtiva. Esse processo impulsionou a participação da cadeia agroindustrial da soja na economia brasileira, tornando-a essencial para o crescimento da renda e geração de emprego (SILVA et al., 2011).

O aumento na produção de soja diante da crescente demanda desse grão pode ser explicado devido à expansão de área plantada e ganhos de produtividade. Os Estados Unidos têm 31 milhões de hectares plantados, o Brasil e a Argentina com 30 milhões de hectares e 20 milhões de hectares, respectivamente (ANEXO A).

No Brasil, a soja deve bater mais um recorde de produção na safra 2013/2014 e se tornar o maior produtor de soja no mundo. O quinto levantamento realizado pela Conab em fevereiro de 2014, estima que a safra alcance 90 milhões de toneladas, representando um aumento de 10,4% e relação à safra 2012/2013. Este resultado é consequência do crescimento de 6,9% em área e de 3,3% em produtividade. (CONAB, 2013) (ANEXOB).

EUA, Brasil e Argentina apresentam níveis crescente de produção ao longo dos últimos 5 anos, no entanto, a maior expressão é destacada no Brasil e Argentina em relação aos EUA. Isso ocorreu, devido ao aumento de área plantada e ganhos de produtividade (ICONE, 2011).

Nos últimos anos, o estado do Pará apresentou aumento na área plantada e na produção de soja (ANEXO C). As projeções para 2014 sugerem o total de área plantada correspondente a 198 mil hectares e produção correspondente a 590 mil toneladas de soja.

Estes resultados colaboram com as estatísticas de que o Brasil deverá alcançar o primeiro lugar como maior produtor de soja do mundo, ultrapassando os Estados Unidos.

Paragominas é o maior produtor de soja do estado do Pará, contribuindo com 33 % da produção do estado e 30% da área plantada. Entre os anos de 2005 a 2012 houve aumento de 5 e 6 vezes nos valores de área plantada e produção de soja, respectivamente. Estes resultados ratificam a importância de Paragominas para o crescimento da cultura no estado (ANEXO D). Neste contexto de crescimento, é necessário que a fertilidade do solo e a nutrição mineral de plantas mantenham-se adequados para que este crescimento continue ocorrendo.

2.2 Aspectos botânicos e produtivos

A soja é uma planta pertencente ao reino Plantae, divisão Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, ordem Fabales, família Fabaceae (Leguminosae), subfamília Faboideae (Papilionoideae), gênero *Glycine*, espécie *Glycine max* (L.) Merrill (SEDIYAMA, 2009).

É uma cultura cultivada em vários tipos de solo, embora sua produção seja mais eficiente em solos férteis e argilosos, com boa drenagem. É uma cultura sensível a solos com acidez elevada. Apresenta boa adaptação a regiões que apresentam boa distribuição de precipitações pluviais durante o ciclo (ALBRECHT, 2009).

A soja é uma planta herbácea, ereta, anual, com $2n = 40$ cromossomos e de hábito de crescimento que pode ser determinado, semi-determinado e indeterminado. O ciclo da soja varia entre 80 a 120 dias, de acordo com a cultivar e condições ambientais (SEDIYAMA, 2009).

A planta da soja apresenta um par de folhas opostas simples no primeiro nó acima do nó cotiledonar e nos nós subsequentes folhas secundárias trifolioladas com pecíolos que variam em função do tipo de folha, posição da folha, cultivar e das condições ambientais de luminosidade.

2.3. Boro no solo

A turmalina é o principal mineral supridor de boro no solo, respondendo por quase 95% do conteúdo total do elemento em solos de regiões úmidas, porém é muito resistente ao intemperismo (MALAVOLTA, 1980; DANTAS, 1991).

De acordo com DECHEN & NACHTIGALL (2006), o Boro (B) apresenta-se combinado na forma de bórax na costa terrestre, com teor de aproximadamente $0,01 \text{ g kg}^{-1}$.

De modo geral, a concentração desse elemento no solo varia de 3 a 100 mg kg⁻¹. Na fase sólida do solo a principal fonte de B são os minerais silicatados, argilominerais, matéria orgânica, hidróxidos de Fe e Al.

No solo, o B ocorre principalmente como H₃BO₃ na faixa de pH adequada (5,5 a 6,5) para a agricultura, sendo esta forma de B absorvida pelas plantas. A disponibilidade de B é maior entre pH 5,0 e 7,0, isso se deve, principalmente, às reações de adsorção que são dependentes de valores de pH (ABREU et al., 2007).

O boro é um micronutriente importante para o crescimento das plantas, contudo, o intervalo entre os limites de deficiência e toxidez é mais estreito para o B do que para qualquer outro nutriente (GOLDBER; SUAREZ, 2011) Além disso, sua disponibilidade é influenciada pelas propriedades físicas e químicas do solo, como: pH, textura, mineralogia e matéria orgânica (GOLDBERG, 1997; NABLE et al., 1997).

Dentre estes fatores relacionados ao solo, o pH é o que tem maior influência na absorção do nutriente pelas plantas (HU; BROWN, 1997). Com o aumento do pH da solução do solo, o B torna-se menos disponível para as plantas, por conseguinte, a aplicação de calcário para solos ácidos pode resultar em sintomas de deficiência de B em plantas (GOLDBERG, 1997). Teores de B solúvel em solos foram altamente correlacionados significativamente com o pH da solução (BERGER; TRUOG, 1945); ELRASHIDI; O'CONNOR, 1982).

A matéria orgânica é um componente que apresenta influência na adsorção de boro (B) promovendo alterações na concentração de B disponível (GOLDBERG; SUAREZ, 2012). Dentre os micronutrientes, a deficiência de B é uma das mais recorrentes pela maioria das culturas (GUPTA, 1979); BLEVINS; LUKASZEWSKI, 1998). Em solos brasileiros, é comum esta deficiência afetar muitas culturas que ficam com suas produções comprometidas (BOARRETO, 2006).

Apesar de ser o micronutriente que está presente em maior quantidade nas dicotiledôneas, o papel do B ainda apresenta muitas dúvidas à comunidade científica. O conhecimento que se tem sobre a exigência desse micronutriente pelas plantas está relacionado a estudos acerca da resposta da planta na ausência de B ou na sua aplicação após uma condição de deficiência (MARSCHNER, 1997).

2.4. Boro na planta

É um elemento essencial para as plantas superiores, fundamental para o crescimento, desenvolvimento vegetal e conseqüentemente para se atingir níveis ótimos de produção. Sua deficiência promove uma rápida inibição do crescimento da planta (BROWN & HU, 1997). Esta inibição é decorrente de duas importantes características fisiológicas desse elemento: função estrutural do B na parede celular (HU & BROWN, 1994), e a baixa mobilidade na maioria das espécies (BROWN; SHELPS, 1997).

O boro destaca-se por participar de importantes processos fisiológicos das plantas, como transporte do ácido indolacético, transporte de açúcar, atividade da ATAase, integridade da membrana, síntese da parede celular, metabolismo fenólico do RNA e de carboidratos, além de respiração e lignificação (GUPTA, 1993; GOLDBACH et al., 2001; DUPAS, 2012). É fundamental na divisão e alongação celular, na germinação do pólen, alongação do tubo polínico e formação do fruto ou semente (GOLDBERG, 1997).

Hu e Brown (1994) propuseram que o B está localizado na parede celular e sua participação como nutriente depende da disponibilidade do B celular. Nas condições em que o B é limitante, a quantidade do nutriente presente na parede celular representa, no mínimo, 95 a 96 % do total de B presente na célula.

Brown e Hu (1997) sugeriram que o papel do B na estrutura da parede celular primária pode explicar a maioria dos efeitos relatados à deficiência de B, propondo que o B apresenta função primária como componente estrutural da parede celular dos tecidos de crescimento. Neste caso, todos os outros efeitos metabólicos decorrentes da deficiência de B seria explicado como consequência da inibição do crescimento da planta causada por uma reação em cadeia.

O B pode ser absorvido pelas plantas através do sistema radicular e pelas folhas. Pelas raízes é absorvido principalmente na forma de ácido bórico, sendo influenciada por fatores bióticos e abióticos, como tipo de solo, espécie de planta, matéria orgânica, teor de B no solo, espécies iônicas e pH do solo.

A absorção de B pelas plantas ainda é um assunto de muitas dúvidas. Algumas evidências sustentam a ideia de que o B pode ser absorvido tanto na forma ativa quanto na passiva. Teoricamente, a permeabilidade da membrana plasmática ao B é alta, supondo-se que

a absorção do elemento ocorra por processos não metabólicos, determinados pela concentração de B na solução do solo, pelas diferenças na permeabilidade das membranas, pela taxa de transpiração, pela formação de complexos dentro e fora das raízes e pela mobilidade do B na planta (BROWN et al., 2002).

2.5. Acidez do solo e a calagem

A origem natural da acidez do solo ocorre durante o seu processo de formação, mas existem atividades agrícolas que aceleram a acidificação do solo. Quando o solo está ácido (pH baixo), têm-se menor disponibilidade de alguns nutrientes e observa-se a toxidez de alumínio e prejuízos à atividade microbiana, com reflexos negativos na fixação biológica e nutrição de leguminosas com nitrogênio.

A acidez elevada é uma característica generalizada dos solos agricultáveis no Brasil, causando principalmente diminuição na disponibilidade de cátions básicos (Ca, Mg, K) e aumentando a solubilidade de cátions tóxicos (H, Al, Mn) (LIMA, 2004). Esse fato deve-se a maior presença de caulinita, principal componente da fração mineral em solos ácidos, que é uma argila de pequena atividade, com baixa densidade de substituição isomórfica (LOPES 2004).

Independente do sistema de cultivo adotado há a necessidade da adição de calcário, pois os solos tropicais cultivados em sua maioria são ácidos, possibilitando-se a correção desse problema. O pH é uma medida direta da acidez do solo e representa a atividade de íons hidrogênio na solução do solo. A grande maioria dos solos de terra firme da Amazônia é naturalmente ácida, em razão da pobreza em bases do material de origem e de processos pedogenéticos relacionados ao intemperismo intenso (REIS et al., 2009).

Esta é uma das causas que compromete a expansão de muitas culturas no estado do Pará, já que a baixa disponibilidade de nutrientes aliada ao excesso de Al^{3+} , ao baixo pH e a falta de uma recomendação de adubação adequada para estes solos, restringem o estabelecimento e desenvolvimento das plantas (SOUSA et al., 2007). Portanto, essas propriedades químicas podem ser alteradas com a calagem, que é uma prática utilizada, tanto para a correção de acidez do solo e eliminação da toxidez do Al, quanto para o fornecimento de Ca e Mg (LIMA, 2004).

Com a prática da calagem pode ser neutralizado H e Al, liberando cargas que serão ocupadas por Ca e Mg. O calcário, por ser um sal pouco solúvel, necessita ser dissolvido para que os produtos da dissolução reajam com os elementos do solo causadores da acidez. No sistema convencional de cultivo, a correção da acidez do solo pressupõe a incorporação do calcário ao solo com aração e gradagem, para proporcionar o máximo contato entre as partículas do corretivo aos colóides do solo.

A técnica da calagem tem por objetivo corrigir a acidez do solo, diminuindo ou anulando os efeitos tóxicos das altas concentrações de Al, Mn e Fe além de fornecer os nutrientes Ca e Mg, promovendo a melhoria e a otimização de produções agrícolas (SOUSA et al., 2007). Entretanto, apesar de ser uma prática indispensável para a obtenção de alta produtividade, quando realizada em demasia, o aumento do pH do solo afeta a disponibilidade de micronutrientes para as plantas.

3 INTRODUÇÃO

A cultura da soja é amplamente adaptada aos climas tropical e subtropical, e seu alto teor de proteína favorece a formação de um complexo industrial destinado ao seu processamento, favorecendo assim que seja uma espécie de grande interesse econômico (LOPES et al., 2002; SEDIYAMA, 2009).

O Brasil encontra-se como segundo maior produtor de soja no mundo, com 90,01 milhões de toneladas e área plantada de 30 milhões de hectares (CONAB, 2013). No estado do Pará, esta cultura também é responsável pelo destaque na produção de grãos, principalmente no município de Paragominas - PA que apresenta uma taxa média de crescimento anual bastante significativa. De 2002 a 2012, houve aumento em mais de 3000% na quantidade de soja produzida (em toneladas).

Diante disso, a necessidade de aumentar a produção brasileira da soja tem impulsionado as pesquisas no sentido de encontrar resultados significativos relacionados a manejos adequados para que a expansão dessa cultura seja eficiente (SOUZA et al., 2008).

Nesse sentido, dentre os temas mais estudados nas pesquisas destacam-se a acidez do solo e a falta de recomendação de adubação adequada para as condições edafoclimáticas das regiões produtoras paraenses, ambos, fatores limitantes para o crescimento e desenvolvimento das diversas culturas agrícolas (SOUSA et al., 2007).

Por se tratar de uma cultura anual exigente em boro (B) e também sensível à sua toxidez, a soja destaca-se nos estudos sobre nutrição mineral de plantas (FURLANI et al., 2001). Nas condições do estado do Pará, ainda é incipiente pesquisas dessa natureza, principalmente em relação à disponibilidade de micronutrientes e aos efeitos da acidez do solo nessa disponibilidade.

Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de doses de boro e calagem aplicadas em Latossolo Amarelo distrófico de textura muito argilosa e suas interações no crescimento e na produção de soja.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Local do experimento

O experimento foi conduzido de julho de 2013 a fevereiro de 2014 sob condições de casa de vegetação com laterais teladas e telhado de vidro localizada na Área de Ciência do Solo (ACS), do Instituto de Ciências Agrárias – ICA, da Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, cujas coordenadas geográficas, são 48° 26' 14'' W e 1° 27' 22'' S, com 6,37 m de altitude.

4.2. Caracterização do solo utilizado no experimento

Localizada na região sudeste paraense, a área de coleta do solo vinha sendo cultivada com Soja e milho, há mais de 5 anos. O solo utilizado no experimento como substrato para o crescimento da soja foi classificado, conforme critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013), como Latossolo Amarelo Distrófico, textura muito argilosa.

4.3. Coleta do solo, atributos químicos e granulometria antes da instalação do experimento

A coleta da amostra de solo foi realizada no município de Paragominas-PA, na profundidade de 0-0,20 m em julho de 2013. O solo depois de coletado, foi submetido à secagem ao ar, destorroado e passado em peneira de tela galvanizada com abertura de 6mm. Após o peneiramento, o solo foi homogeneizado e, em seguida, foram coletadas 25 amostras simples, formando-se uma única amostra composta que encaminhada ao laboratório para determinação de atributos químicos e granulometria. Os atributos químicos determinados foram estes: pH em CaCl_2 0,1 mol L⁻¹; MO pelo método Walkley-Black modificado, P, Ca, Mg e K extraídos com resina trocadora de íons; S extraído com $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 0,01 mol L⁻¹, Al trocável extraído com KCl 1 mol L⁻¹; H+Al extraído com tampão SMP; B extraído com água quente; e Cu, Fe, Mn e Zn extraídos com DTPA. A partir dos dados obtidos nas análises foram calculadas soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por

bases (V) e saturação por Al (m). As análises químicas e os cálculos seguiram os procedimentos contidos em RAIJ et al. (2001). Quanto à granulometria, foram determinados os teores de areia, silte e argila pelo método EMBRAPA (1979). Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos químicos e granulometria do solo coletado na camada de 0-0,20 m de profundidade, no município de Paragominas, PA.

pH												
(CaCl ₂)	MO	P (resina)	Ca	Mg	K	SB	S	Al	H+Al	CTC	V	m
	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³			mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³		%			
4,7	49	21	3,1	0,6	0,48	4,18	17	<0,1	5,2	9,3	44	1

Areia											
B	Cu	Fe	Mn	Zn	Grossa			Fina	Total	Silte	Argila
mg dm ⁻³					g kg ⁻¹						
0,42	0,4	69	6,2	2,0	24	33	57	112	831		

4.4. Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos, em número de vinte e cinco, foram arranjados em um esquema fatorial 5x5 constante de quatro valores de %V (55, 65, 75 e 85) obtidas pela aplicação de diferentes doses de calcário, e uma testemunha (com %V igual a 44) sem aplicação de calcário, combinados com cinco doses de B (0,0, 1,0, 2,0, 4,0 e 8,0 mg dm⁻³). O delineamento experimental empregado foi o de blocos ao acaso, com cinco repetições.

4.5. Instalação e condução do experimento

As quantidades de calcário, constantes dos tratamentos estabelecidos, foram misturados ao substrato de solo, e em seguida a mistura foi acondicionada em sacos plásticos com capacidade de 10 L, e incubadas até a estabilização do pH, o que ocorreu em um período de 30 dias. Cada vaso constituiu uma unidade experimental. Os sacos foram umedecidos até aproximadamente 80% da porosidade total do solo. Diariamente a água perdida por evaporação era repostada através de regas com água desmineralizada, baseada no peso dos sacos

plásticos, condição mantida durante todo o transcorrer do experimento.

As fontes de nutrientes utilizadas para o preparo das soluções nutritivas estão apresentadas na Tabela 2. A solução nutritiva comum a todos os tratamentos teve a seguinte composição (em mg L⁻¹): K 72,6; P 382,12; Cu 3,75; Mn 5; Zn 10. Esta solução, depois de distribuída nos vasos, foi acrescida dos tratamentos com B.

Tabela 2. Composição das soluções - estoque, utilizadas no preparo da solução nutritiva.

Solução – estoque (reagentes p.a.)	Proporção de estoque para solução nutritiva
	mL.L ⁻¹
KH ₂ PO ₄ (1M)	1,86
NaH ₂ PO ₄ (1M)	10,47
H ₃ BO ₃ (0,1M)	5,8
CuSO ₄ .5H ₂ O (0,1M)	2,95
MnCl ₂ 4H ₂ O (0,1M)	4,54
ZnSO ₄ .7H ₂ O (0,1M)	7,65

O cálculo das doses de nutrientes foi baseado em recomendação de 1 mg kg⁻¹ de substrato de acordo com o método descrito por NOVAIS et al. (1991). A adubação comum a todos os tratamentos e a boratada foram aplicadas 20 dias após a emergência, quando as plantas encontravam-se no estágio V3 (FEHR & CAVINESS, 1997).

As doses de calcário utilizadas para tentar elevar a porcentagem de saturação em bases do solo (V%) para os valores desejados 55, 65, 75 e 85%, corresponderam a 1,13, 2,16, 3,19 e 4,22 t/ha, respectivamente, obtidas pela expressão seguinte:

$$NC = \frac{(V2 - V1)T}{100} * f$$

Onde,

NC: Necessidade de calagem, em t/ha;

T: Capacidade de troca de cátions obtidos pela soma de bases (Ca, Mg, K, Na) e H + Al;

V1: Saturação de bases atual do solo, obtida pela relação soma de base x 100/CTC;

V2: Saturação de bases desejada;

f: Fator de correção (f=100/PRNT).

O calcário aplicado apresentou as seguintes características: 32% de CaO, 15% de MgO, 94,5% de PN e 91% de PRNT. Durante o período de incubação, a cada 3 dias foi realizada uma nova homogeneização e, se necessário, o reumedecimento afim de garantir a eficiência da reação do calcário com o solo. Ao final deste período, o solo foi posto a secar, novamente peneirado e transferido para vasos com capacidade de 5 dm³.

Após o período de incubação foi feito o semeio da soja [*Glycine max* (L.) Merrill] cultivar M-SOY 8766 colocando-se 6 sementes por vaso e, 10 dias após a emergência (DAE), as plantas foram desbastadas para 4 (NOVAIS et al., 1991). Antes da semeadura, as sementes foram tratadas com fungicida MAXIM XL, para inibir a produção de esporos e micélios controlando assim o crescimento de diferentes classes de fungos, na dose de 1,5 ml para cada 1 kg de sementes. Depois as mesmas foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*, estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 5080, na proporção de 10 g do inoculante comercial para 5 kg de sementes.

4.6. Avaliação dos parâmetros estudados

Após os 30 dias de incubação, foi realizada uma nova amostragem de solo para verificar qual o valor de saturação por bases foi atingido antes da semeadura da soja e, também, os atributos químicos do solo. Foram retiradas 3 amostras simples de cada tratamento para compor uma amostra composta. As amostras foram encaminhadas ao laboratório para determinação de atributos químicos segundo RAIJ et al. (2001).

Na Tabela 3 encontram-se os atributos químicos do solo após 30 dias de incubação e o resultado da elevação da saturação por bases atingida.

Tabela 3. Atributos químicos do solo 30 dias após a incubação com calcário. VD (Saturação por bases desejada). VA (Saturação por bases atingida).

VD	VA	pH (CaCl ₂)	pH (H ₂ O)	Ca	Mg	K	SB	H+Al	CTC
———%———					———cmol _c dm ⁻³ ———			———cmol _c dm ⁻³ ———	
44	44	4,7	5,53	3,1	0,6	0,48	4,18	5,2	9,3
55	53	4,7	5,76	3,1	0,6	0,56	4,26	3,8	6,3
65	62	5,0	5,96	3,6	0,3	0,6	5,1	3,1	6,8
75	67	5,2	6,11	3,5	1,1	0,51	5,11	2,8	7,9
85	73	5,6	6,39	4,0	1,3	0,52	5,82	2,2	8,4
VA		B							
———%———		———mg dm ⁻³ ———							
		0	1	2	4	8			
44		0,20	0,41	0,60	0,75	0,90			
53		0,37	0,42	0,54	0,69	0,88			
62		0,38	0,48	0,53	0,67	0,86			
67		0,29	0,5	0,6	0,71	0,82			
73		0,38	0,47	0,56	0,68	0,80			

No estágio R2 (FEHR & CAVINESS, 1997), correspondente ao florescimento pleno, 53 dias após a semeadura, foram coletadas 4 folhas maduras por vaso para a diagnose foliar, no sentido do ápice para a base (terceiro ou quarto trifólio com pecíolo) (RAIJ et al. 1991). O material vegetal foi colocado em sacos de papel, etiquetado e levado à estufa de circulação forçada de ar a 65°C até atingirem massa constante para então serem moídas em moinho tipo Willey. Esse material foi encaminhado ao laboratório, para determinação dos teores totais de macro e micronutrientes. As digestões das amostras foram as seguintes: sulfúrica (N); nítrico-perclórica (P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn) e incineração (B). As determinações foram: titulometria (N), colorimetria (P, B e Al), turbidimetria (S), fotometria de chama (K), espectrofotometria de absorção atômica (Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn).

No estágio R6 (FEHR & CAVINESS, 1997), correspondente à fase de enchimento dos grãos, 93 dias após a emergência, realizou-se a segunda coleta de amostras para avaliação da biomassa. Foram coletadas duas plantas por vaso, posteriormente, o material vegetal foi colocado em estufa com circulação de ar a 65°C por 72 horas.

No estágio R9 (FEHR & CAVINESS, 1997), 120 dias após a emergência, fase correspondente à maturidade completa, priorizou-se as avaliações de crescimento, correspondente as variáveis biométricas, e os componentes de produção.

4.6.1. Crescimento

a) Altura média das plantas: em cm, medida a partir da superfície do solo até o último nó da folha da haste principal da planta. A média utilizada foi determinada das duas plantas remanescente em cada parcela.

b) Diâmetro médio do coleto: em cm, medida através de um paquímetro digital. Foram realizadas 3 medidas consecutivas em duas plantas de cada parcela. Foi determinada a média dessas medidas.

c) Massa de matéria seca da parte aérea: as duas plantas coletadas foram pesadas em balança de precisão para a determinação da massa seca da parte aérea, que foi particionada em haste, folha e vagem.

4.6.2. Componentes de produção e produtividade de grãos

a) Número de vagens por planta: Determinado por ocasião da maturação (R9), realizando a média do total de vagens de duas plantas em cada parcela (vagem/planta).

b) Número de grãos por planta: Determinado no estágio R9, realizando-se a média do total de grãos de duas plantas em cada parcela (grãos/planta).

c) Massa de 100 grãos: Determinado através da coleta e contagem de 100 grãos por parcela experimental (g/vaso). Em seguida, foram feitas as pesagens com o auxílio de uma balança analítica, com precisão de um miligrama.

d) Produtividade de grãos: Determinada colhendo-se duas plantas de cada parcela. Após a colheita, os grãos de soja foram separados do restante do material. O teor de umidade dos grãos foi corrigido para 13% e a produtividade foi determinada em g/vaso.

4.7. Análises estatísticas

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo Assistat 7.7 beta (SILVA et al., 2009), em esquema fatorial. A avaliação das variáveis quantitativas foi feita por análise de regressão. Foi adotado como critério para escolha do modelo mais adequado, a significância dos coeficientes de regressão pelo teste de t até 5% de probabilidade, além da magnitude e significância dos coeficientes de determinação calculados no mesmo nível. Para a demonstração gráfica dos resultados, foi utilizado o programa estatístico OriginPro 8.0.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Fertilidade do solo antes da semeadura

Através da Tabela 3, pode-se perceber que o resultado da calagem para elevação das saturações por bases desejadas a 55% e 65%, permitiu V% atingidas muito próximas de 53% e 62%, respectivamente, garantindo num período de 30 dias boa reação do calcário no substrato.

Já para as saturações por bases V (75%) e V (85%), os resultados ficaram bem abaixo do que se esperava (67% e 73%, respectivamente). Provavelmente, as doses de calcário aplicadas para elevar a saturação de bases a 75% e 85% devem ter sido tais que não houve tempo suficiente para a reação das partículas de calcário com o solo.

É pertinente destacar que em solos argilosos, como no caso do presente trabalho, o poder de tamponamento oferece maior resistência às mudanças de pH do solo. Dessa forma, é necessário que seja aplicada uma quantidade maior de calcário a fim de efetivar a elevação da saturação por bases ao nível desejado.

De maneira geral, os valores de pH ficaram dentro da faixa adequada para disponibilidade e absorção de nutrientes para a maioria das culturas (5,5-6,5). Os teores disponíveis de K, Ca e Mg na solução do solo ficaram dentro da faixa recomendada para o estado do Pará (BRASIL; CRAVO, 2010a).

5.2. Teor de B no tecido foliar

A Tabela 4 exibe a análise de variância (ANOVA) para o teor de boro no tecido foliar em função das doses de B aplicadas e dos níveis de saturação por bases alcançados. Os resultados obtidos foram submetidos ao teste F e, de acordo com a significância dos dados, foi realizada a análise de regressão.

Tabela 4. Análise de variância para o teor de B no tecido foliar em função das doses de B aplicadas e dos níveis de saturação por bases.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F
Teor de B no tecido foliar (mg kg^{-1})				
Dose de B	4	7338,57	1834,64	8,64**
V(%)	4	2854,50	713,62	3,36*
Dose de B x V(%)	16	9308,02	581,75	2,74**
Resíduo	96	20361,68	212,10	-
CV			16	

*Significativo a 5% de probabilidade; ** Significativo a 1% de probabilidade

A análise de variância encontrou efeito da interação entre os fatores avaliados ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste F. A Figura 1 mostra a representação gráfica da resposta de interação entre as doses de B aplicadas *versus* os níveis de saturação por bases no teor de B do tecido foliar.

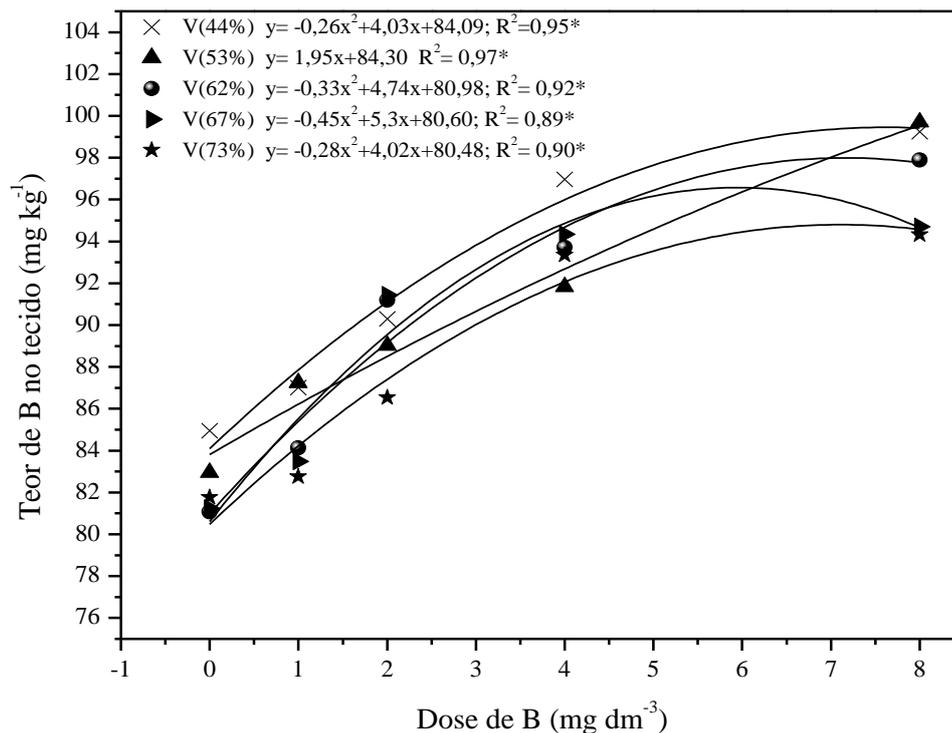


Figura 1. Doses de B e saturação por bases no Teor de B no tecido foliar (Valores médios observados).

A análise de regressão revelou relação polinomial do segundo grau para todas as interações entre as doses de B e o seu teor no tecido foliar, à exceção da saturação por bases de 53%, que apresentou comportamento linear. A combinação entre as doses de B com a saturação de 44% foi a que apresentou maiores teores de B no tecido foliar, com valor máximo de $99,71 \text{ mg.kg}^{-1}$ na dose correspondente a $7,75 \text{ mg.dm}^{-3}$ de B.

A interação entre as doses de B e a saturação de bases de 53% apresentou comportamento linear, de modo que com o aumento das doses de B no solo, houve aumento no teor de B na folha. Possivelmente, uma pequena elevação do nível de saturação por bases inicial do solo a 53% tenha promovido aumento do sistema radicular, mas esse valor de saturação de bases foi insuficiente para disponibilizar o B já que nas outras saturações por bases os teores de B no tecido foram maiores.

As interações entre as doses de B e as saturações de 62% e 67% obtiveram teor máximo de B no tecido foliar de $97,94$ e $96,18 \text{ mg.kg}^{-1}$, nas doses de $7,18$ e $5,88 \text{ mg.dm}^{-3}$, respectivamente. Já a saturação por bases de 85%, o máximo teor de B no tecido foliar ($94,91 \text{ mg.kg}^{-1}$) foi encontrado na dose correspondente a $7,17 \text{ mg.dm}^{-3}$.

A interação da saturação por bases de 85% apresentou os menores teores de B no tecido foliar, o que pode estar relacionado à maior adsorção de B favorecida pelo aumento do pH. A interação entre as doses de B e a saturação por bases inicial do solo, onde não foi aplicado calcário, promoveu os maiores teores de B no tecido foliar.

As interações entre as doses de B e as saturações por bases mostram que, na medida em que se aumentou a saturação por bases, foi menor o teor de B no tecido foliar. Esse comportamento pode ser justificado devido a influência do pH na disponibilidade de B. Geralmente, o B torna-se menos disponível com o aumento do pH da solução do solo. Deve-se esperar, portanto, que a correção da acidez dos solos através da calagem, aumente a adsorção de B naturalmente presente ou daquele adicionado via fertilização.

Não houve manifestação de sintomas de deficiência e de toxidez em resposta às doses de B aplicadas. No tratamento sem B, as plantas apresentaram os menores teores de B no tecido foliar em todas as saturações por bases. Os valores encontrados para teor de B no tecido estão abaixo do que Rahnan et al (1999) estimam como crítico para as plantas de soja apresentarem sintomas de toxidez (114 mg kg^{-1}), vale ressaltar que essa faixa crítica de toxidez varia entre as cultivares.

Avaliando os efeitos da aplicação de calcário e boro nos atributos químicos de um Latossolo, estado nutricional e produtividade da cultura do feijoeiro, Souza et al. (2011) encontraram resultados semelhantes aos obtidos neste trabalho, onde o aumento das doses de calcário, promoveu redução do teor de B no tecido. Os autores explicaram essa resposta com base na redução da disponibilidade de B sob condições de calagem excessiva.

5.3. Crescimento

Na Tabela 5, estão apresentados os resumos das análises de variância (ANOVA), com teste F, para massa seca da parte aérea (MSPA), altura média das plantas (APL) e diâmetro médio do coleto (DM), em função das doses de B e valores de saturação por bases, além da média dos tratamentos para estas variáveis analisadas.

Tabela 5. Valores médios da massa seca da parte aérea, altura e diâmetro em função das doses de B e saturação por bases. Análise de variância para massa seca da parte aérea, altura e diâmetro em função das doses de B e calagem aplicadas.

Dose de B	Altura	Diâmetro	Massa seca da parte aérea	
mg dm⁻³	cm	cm	g	
0	62,87	0,145	11,70	
1	63,95	1,149	12,76	
2	64,53	0,150	12,89	
4	61,33	0,147	12,67	
8	62,24	0,146	11,77	
V(%)				
44%	61,02	0,147	8,82	
55%	61,78	0,144	9,20	
65%	63,06	0,141	11,44	
75%	63,10	0,151	13,66	
85%	65,96	0,154	14,98	
Fonte de Variação	GL	F		
		Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Massa seca da parte aérea (g)
Doses de B	4	0,52 ^{ns}	0,57 ^{ns}	1,26 ^{ns}
V%	4	0,58 ^{ns}	1,13 ^{ns}	5,76 ^{**}
Doses de B x V%	16	0,59 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,59 ^{ns}
Resíduo	96	-	-	-
CV		14,00	9,5	22,00

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns: não significativo.

O efeito das doses de B e calcário aplicadas a partir do teor original de $0,42 \text{ mg dm}^{-3}$ de B e saturação por bases (V%) de 44, respectivamente, não influenciaram de forma significativa na altura da planta e no diâmetro do coleto. A ausência de respostas significativas para estas variáveis pode ser justificada pelo teor inicial de B no solo, que pode ter sido suficiente para o suprimento da planta, além da saturação por bases inicial do solo também ter promovido um crescimento satisfatório em altura e diâmetro.

O efeito das doses de B na massa seca da parte aérea foi não significativa pelo teste F. Provavelmente, o teor inicial de B presente no solo ($0,42 \text{ mg.dm}^{-3}$), foi suficiente para que houvesse o transporte da seiva para os pontos de crescimento da planta. Houve resposta significativa dos níveis de saturação de bases na massa seca da parte aérea, que variaram de 8,82 g a 14,98g (Tabela 5). Os dados obtidos mostram que o aumento da saturação por bases, independente das doses de B aplicadas, promoveu aumento da biomassa da parte aérea.

O modelo de regressão que melhor se ajustou aos dados da relação entre MSPA em função da saturação por bases V (%) foi a linear (Figura 2). O comportamento linear crescente da produção de matéria seca em função da saturação por bases sugere que a correção do solo com calcário melhorou a fertilidade do solo, e assim a nutrição das plantas, levando ao melhor rendimento da biomassa da parte aérea. Segundo SOUSA et al. (2007) o principal objetivo da calagem é favorecer a absorção de nutrientes e água pelas plantas, o que reflete diretamente na produtividade das culturas.

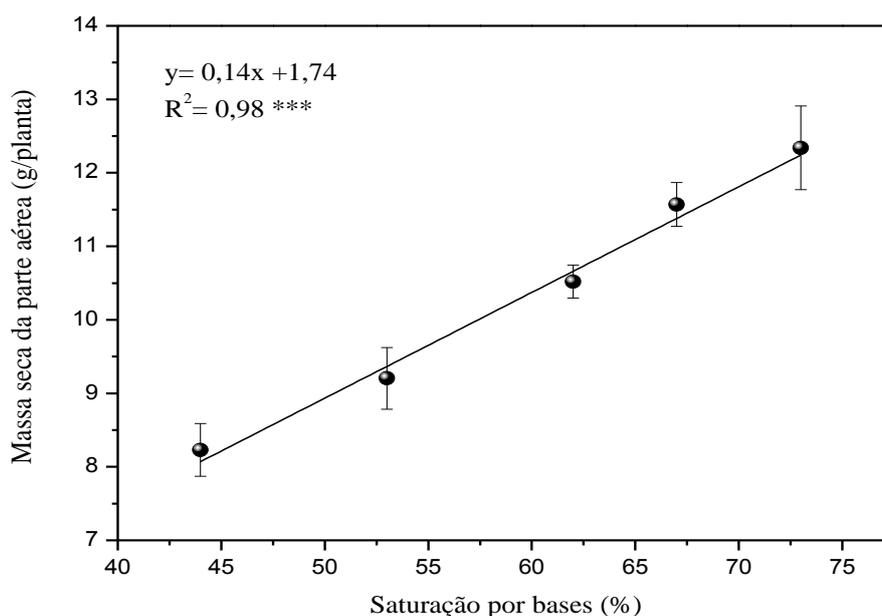


Figura 2. Saturação por bases e massa seca da parte aérea (valores médios \pm erro padrão da média, $n=5$).

A ausência de resposta significativa das doses de B aplicadas, considerando o teor inicial no solo de $0,42 \text{ mg dm}^{-3}$, mostra esta concentração inicial, para as condições do presente trabalho, como suficiente para atender a necessidade do crescimento da planta.

Em outra condição experimental, Moreira et al. (2010) também não obtiveram resposta significativa entre produção de matéria seca de soja e teor de B no solo ao aplicar 6 diferentes níveis de B na adubação (0; 0,25; 0,5; 1; 2 e 4 kg ha^{-1}) com teor inicial no solo de $0,6 \text{ mg dm}^{-3}$ em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico e Latossolo Vermelho Eutroférico.

Em estudo sobre crescimento de soja em resposta a doses de boro e calagem, Pegoraro et al. (2008) obtiveram resposta significativa e, com o aumento das doses de B, houve aumento na absorção de B pelas plantas, mas ocorreu redução na produção de massa seca da parte aérea em três tipos de solo. De maneira que, com a calagem, esse efeito foi minimizado na presença de maior teor de argila.

5.4. Componentes de produção

Na Tabela 6, estão apresentados os resumos das análises de variância (ANOVA) para número de vagem por planta, número de grãos por planta, massa de 100 grãos e produtividade de grãos. Os resultados obtidos foram submetidos ao teste F e, de acordo com a significância dos dados, foi realizada a análise de regressão.

Tabela 6. Análise de variância para o Número de vagem por planta, Número de grãos por planta e Massa de 100 grãos em função das doses de B e calagem aplicadas.

Fonte de variação	GL	F			
		Número de vagens/Planta	Número de grãos/Planta	Massa de 100 grãos	Produtividade
		Unidade		g	g/vaso
Doses de B	4	2,74*	17,08**	11,76**	17,72**
V%	4	2,47*	8,78**	44,84**	10,37**
Doses de B x V%	16	1,06 ^{ns}	2,15*	26,32**	4,20**
Resíduo	96	-	-	-	-
CV		18	17,5	3,5	17

** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ns: não significativo.

Observa-se pelo teste F da análise de variância, que para o número de vagens por planta não foi identificado interação entre os fatores, havendo efeitos isolados dos fatores doses de B e V%. Quanto ao número de grãos por planta, massa de 100 grãos e produtividade, houve interação entre os fatores estudados.

5.4.1. Número de vagem por planta

Independente dos níveis de saturação por bases, houve influência significativa da adubação com B em diferentes doses no número de vagens por planta. O modelo de regressão polinomial que melhor se ajustou aos dados da relação entre as doses de B e o número de vagens por planta foi o do segundo grau (Figura 3). O maior número de vagens por planta foi encontrado na dose de $5,56 \text{ mg.dm}^{-3}$ de B, correspondente a 17 vagens por planta.

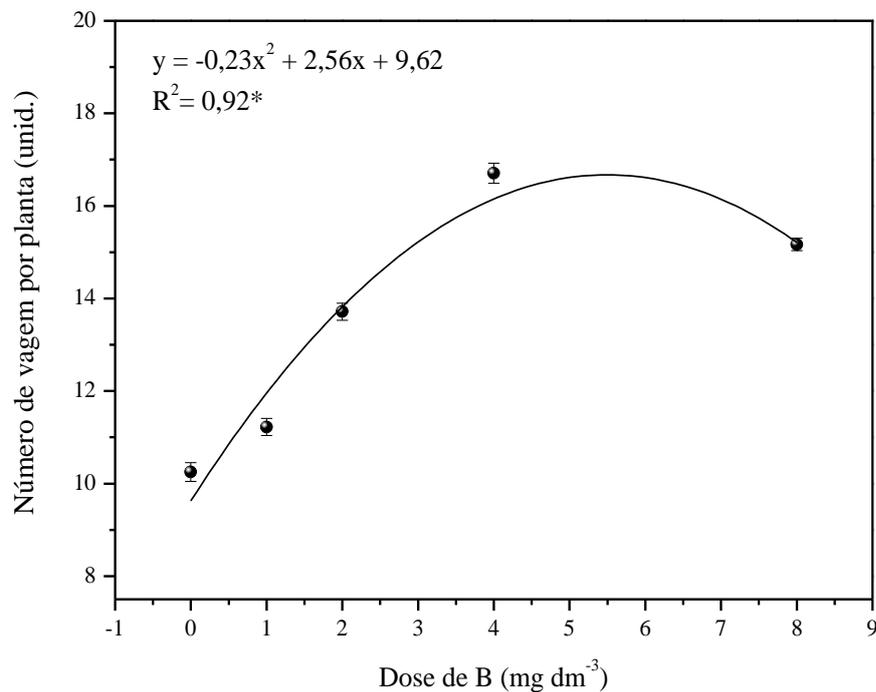


Figura 3. Doses de boro aplicadas no número de vagem por planta (valores médios \pm erro padrão da média, $n=5$).

Apesar do teor inicial de B no solo revelar-se suficiente para o crescimento vegetativo, houve resposta significativa às doses de B aplicadas no número de vagens por planta, sugerindo que o B possa atuar como um nutriente que favorece a retenção das flores de forma que não as deixam cair e, conseqüentemente, seguram as vagens possibilitando melhor rendimento no número de vagem por planta.

As plantas de soja bem nutridas, com boa disponibilidade hídrica, na fase de estabelecimento do cultivo e no estágio reprodutivo, fatos verificados no presente trabalho, permitem a produção de mais flores, conseqüentemente, mais vagens fixadas por planta.

Esses resultados atribuem ao B a sua influência no crescimento do tubo polínico, translocação de açúcar para órgãos propagativos, retenção de flores e frutos que justificam o aumento do número de vagens. Schon e Blevins (1990) em estudos com aplicação foliar de boro em soja encontraram aumento no número final de vagens e de ramos. Os autores relatam que essa resposta pode ter sido estimulada pelas funções do B em atuar efetivamente nas estruturas reprodutivas, assim, a produtividade da soja foi influenciada positivamente com o suprimento contínuo de B.

A elevação da saturação por bases apresentou efeito significativo no número de vagens por planta (NVP), ao nível de 1% de probabilidade. Houve aumento no NVP até a máxima saturação por bases V(72%). O NVP variou, em média, entre 14,75 [V(44%)] e 19,23 vagens por planta em V(72%).

O modelo de regressão que melhor se ajustou aos dados da relação entre o Número de vagem por planta em função da Saturação por bases foi o linear. Esse comportamento traz como evidência o fato da calagem promover melhorias na fertilidade do solo em consequência da elevação do pH à faixa adequada para a disponibilidade de nutrientes às plantas (5,5 - 6,5).

Os dados mostraram que, independente das doses de B aplicadas, o NVP aumentou com a elevação da saturação por bases (Figura 5). Certamente, houve aumento da disponibilidade de nutrientes promovido pela calagem, principalmente nos teores de Ca e Mg, o que pode ter melhorado o balanço fonte-dreno, reduzindo a taxa de aborto das estruturas reprodutivas.

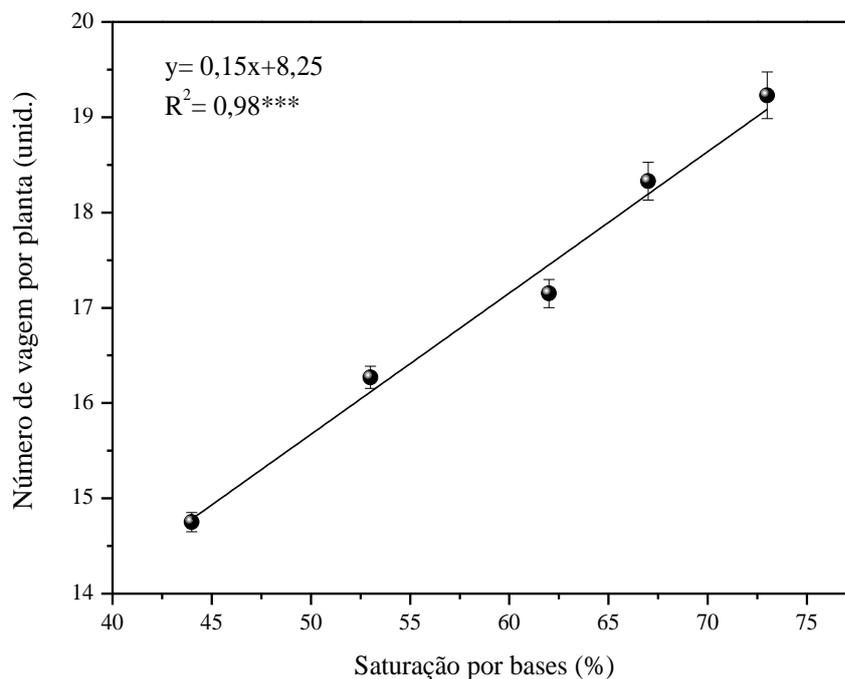


Figura 4. Saturação por bases no número de vagem por planta (valores médios \pm erro padrão da média, n=5).

Resultados semelhantes foram encontrados por FAGERIA et al. (2014), onde o rendimento de grãos e vagens na cultura da soja foram influenciados pela aplicação de calcário. A dose de $2,14 \text{ g kg}^{-1}$ de calcário correspondeu aos melhores rendimentos de grãos, vagens e produção de palha. Os autores propõem que a melhoria no rendimento de grãos pode estar relacionada com o aumento do rendimento de palha e vagens por planta devido à aplicação de calcário.

5.4.2. Número de grãos por planta

A interação entre as doses de B aplicadas e a elevação da saturação de bases promoveu efeito significativo no número de grãos por planta (NGP) a 5% de probabilidade pelo teste F. A Figura 6 apresenta a resposta da interação entre esses dois fatores no NGP. O modelo de regressão polinomial que melhor se ajustou aos dados foi o de segundo grau.

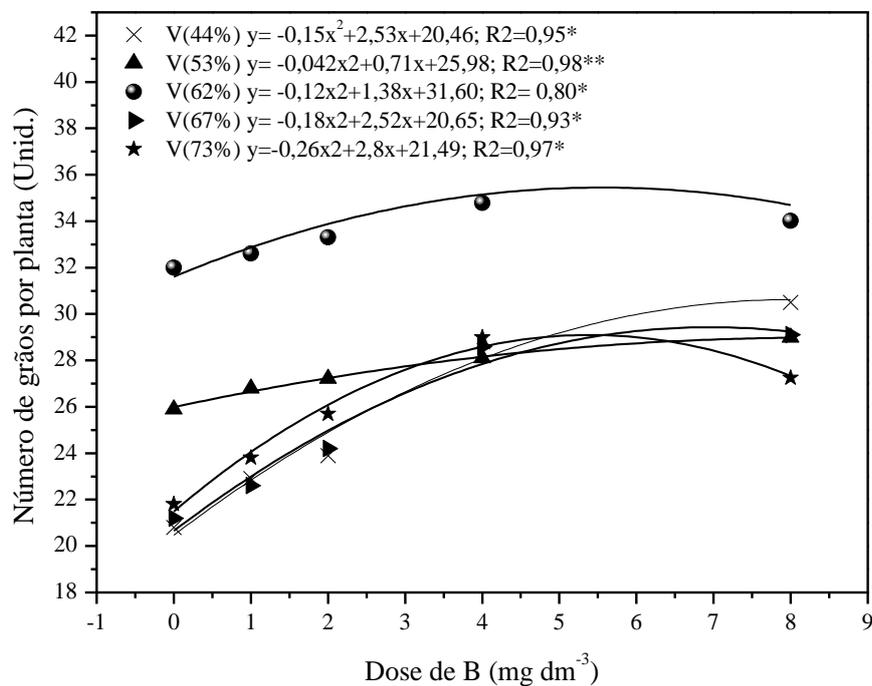


Figura 5. Interação entre as doses de boro aplicadas e os níveis de saturação por bases no número de grãos por planta (valores médios observados).

A interação entre as doses de B aplicadas e a saturação por bases de 62% apresentaram os melhores rendimentos no número de grãos por planta (35,6 grãos), com ponto de máxima em 5,75 mg dm⁻³ de B. Provavelmente, a saturação por bases de 62% promoveu a melhor condição para absorção de níveis adequados de B pela soja, de modo a fazê-la render mais grãos por planta.

Rosseto et al. (1994), ao estudarem o efeito do calcário aplicado convencionalmente na produção e qualidade fisiológica das sementes de soja, verificaram que esta prática propiciou maior produção de grãos e sementes, favorecendo a uniformização da produção de sementes de maior tamanho e massa.

Os efeitos diretos do B na produção de grãos estão relacionados ao fato de desempenhar função no crescimento do tubo polínico e na germinação do grão de pólen, de maneira que, inadequadamente supridas por B há maiores distúrbios na formação das estruturas reprodutivas prejudicando a formação dos frutos.

Agarwala et al. (1981) ao testarem várias doses de B em milho, perceberam que plantas pouco supridas desse nutriente desenvolveram a germinação dos grãos de pólen de forma deficiente, concluindo que a nutrição insuficiente de B afeta a formação dos gametas funcionais, prejudicando a viabilidade dos grãos de pólen.

A análise das demais interações com as saturações por bases utilizadas nesse estudo [V(44%); V(53%); V(67%) e V(73%)], apresentaram resultados inferiores no NGP. As saturações por bases acima de 65%, ou seja, V(67%) e V(73%) apresentaram rendimento de grãos similares a V(44%) e V(53%). Essas respostas podem ter ocorrido, provavelmente, devido à adsorção de B em condições de maiores concentrações de OH⁻, favorecidas pelas maiores doses de calcário aplicadas.

5.4.3. Massa de 100 grãos

A interação entre as doses de B aplicadas e a elevação da saturação de bases promoveu efeito significativo na massa de 100 grãos (M100G) a 1% de probabilidade pelo teste F. A Figura 7 representa a resposta da interação entre esses dois fatores na massa de 100 grãos. O modelo de regressão polinomial que melhor se ajustou aos dados foi o de segundo grau.

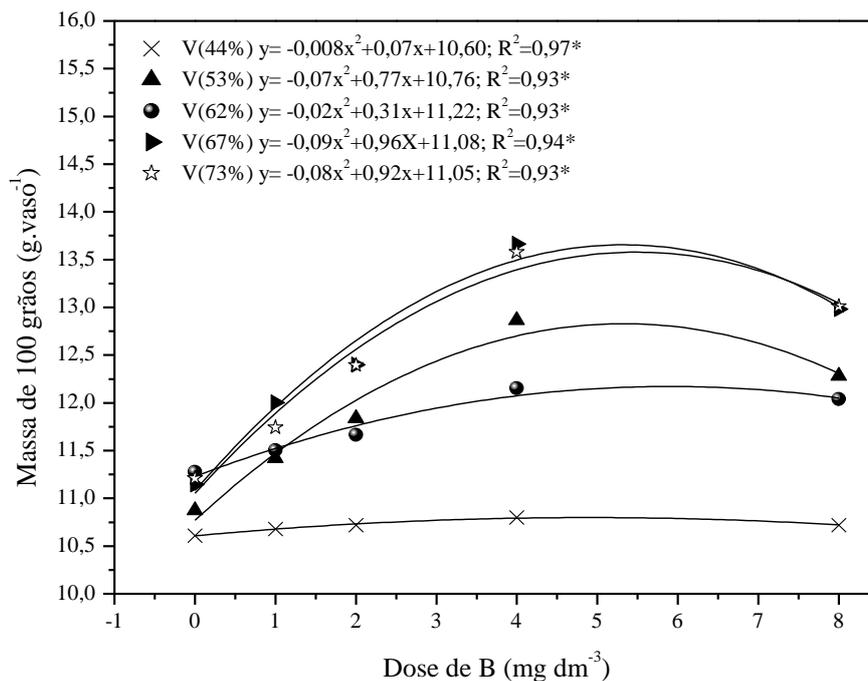


Figura 6. Interação entre as doses de B aplicadas e os níveis de saturação de bases na massa 100 de grãos (valores médios observados).

O teor inicial de B no solo ($0,42 \text{ mg dm}^{-3}$) considerado médio (CRAVO et al., 2010a), alcançou os menores rendimentos na massa de 100 grãos. O aumento da saturação por bases na interação com as doses de B promoveu efeito positivo na massa de 100 grãos. Possivelmente, com o aumento das doses de calcário ocorreram alterações químicas que melhoraram os índices de acidez do solo, facilitando a absorção de nutrientes e promovendo suprimento adequado para aumentar a massa dos grãos.

A interação das doses de B em V(67%), obteve os melhores resultados na massa de 100 grãos ($13,7 \text{ g/vaso}$), com ponto de máxima em $5,33 \text{ mg dm}^{-3}$ de B. Esses resultados sugerem que o B tenha auxiliado o óvulo das plantas a fertilizar de forma eficiente os ovários e promover suprimento adequado de carboidratos essenciais para o enchimento dos grãos, refletindo em maiores produtividades. Leite et al.(2009) ao avaliarem a influência do boro na

síntese de polióis e outros açúcares, encontraram efeito significativo, onde o suprimento desse elemento nas plantas apresentou acréscimos significativos dos compostos avaliados.

As interações das doses de B em V(44%) foram as que apresentaram os menores rendimentos na massa de 100 grãos (M100G), seguido pelas interações com V(62%), V(53%) e V(73%). Os valores máximos de M100G obtidos pela interação entre as doses de B e as saturações por bases de V(44%), V(62%), V(53%) e V(73%) foram 10,75; 12,42; 12,87 e 13,68 g correspondentes a 4,37; 7,75; 5,5 e 5,75 mg dm⁻³ de B, respectivamente.

Os resultados obtidos neste trabalho mostram o benefício da interação entre a adubação boratada e a calagem no rendimento de grãos de soja, comprovado pelo aumento na massa de 100 grãos. É provável que esse benefício esteja relacionado ao fato de o B auxiliar na translocação de açúcares para órgãos propagativos e assim aumentar a eficiência da produção, além da calagem promover melhorias no pH do solo, nos teores de Ca e Mg trocáveis e aumento da CTC, reduzindo a acidez potencial, concentrações de Al e Mn consideradas tóxicas para as plantas.

5.5. Produtividade

A análise de variância para a produtividade da soja mostrou diferença significativa na interação entre doses de B e níveis de saturação por bases a 1% de probabilidade (Tabela 5), apresentada anteriormente. O modelo de regressão polinomial que melhor se ajustou aos dados foi o do segundo grau (Figura 8).

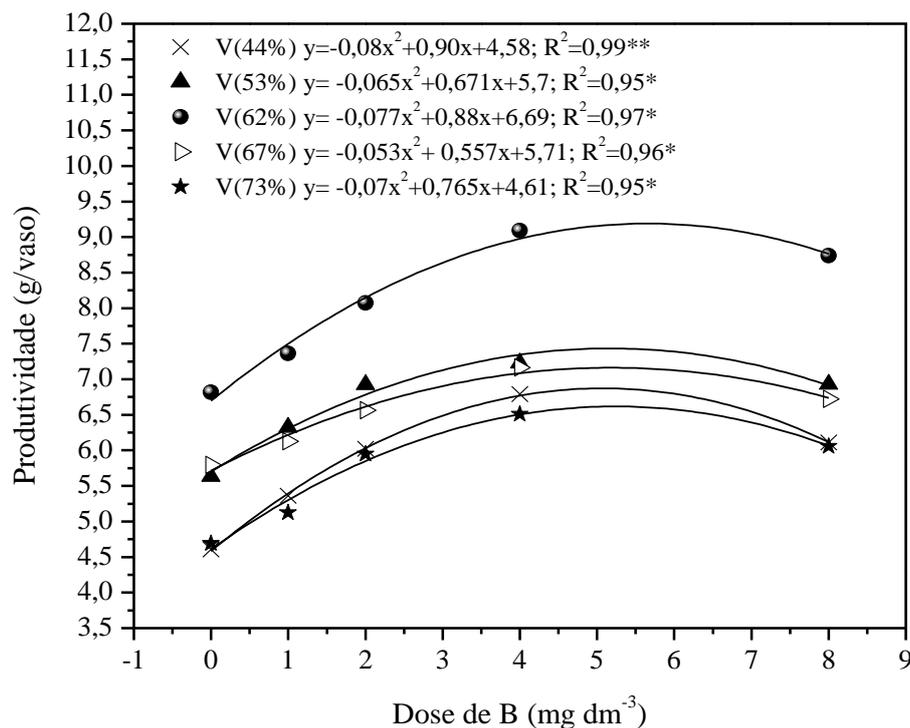


Figura 7. Interação entre as doses de B e as saturações por bases na produtividade.

A saturação por bases correspondente a 62% combinada com as doses de B foi a que obteve melhores respostas na produtividade de grãos, quando comparada às outras saturações por bases, com máximo de 9,02 g/vaso na dose 5,71 mg.dm⁻³ de B. Este trabalho encontrou valores que estão de acordo com Cravo et al. (2010b). Estes autores sugerem que a recomendação de calagem para solos cultivados com soja no estado do Pará deva atingir valores aproximados a 60% da saturação por bases.

A interação das saturações bases abaixo de 62% com as doses de B não apresentaram bons resultados na produtividade de grãos, mostrando que abaixo desse nível, a dose de

calcário não é suficiente para criar uma condição ótima de absorção de nutrientes e aumento de produtividade.

A interação das saturações por bases acima de 62% com as doses de B também não apresentaram resultados satisfatórios para produtividade. Esses resultados sugerem que acima de 62% de V, possa ocorrer adsorção de B devido ao aumento do pH tornando-o menos disponível.

Através da Figura 8 verificou-se também que, com o aumento das doses de B até certo limite, em todas as saturações por bases, houve aumento na produtividade de grãos. O sistema de fixação biológica do nitrogênio requer uma nutrição de B adequada, portanto, é provável que o B tenha aumentado a eficiência da formação e desenvolvimento de nódulos, influenciando positivamente na produtividade. Respostas que confirmam essa hipótese foram encontradas por Rahman et al (1999). Estes autores encontraram respostas significativas à aplicação de B na solução nutritiva em três fases de desenvolvimento de nódulos em soja, onde as plantas tratadas com B apresentaram os maiores números de nódulos.

A Figura 9 exibe o efeito da interação entre os teores de B no tecido foliar e as saturações por bases na produtividade de grãos ao nível de 5% de probabilidade. O modelo de regressão não linear que melhor se ajustou aos dados foi o de Gauss. Percebe-se que em todas as interações houve aumento da produtividade com o aumento do teor de B no tecido foliar até o ponto máximo, localizado na crista da curva de regressão, onde a partir do qual, ocorreu redução na produtividade com o aumento do teor de B no tecido foliar.

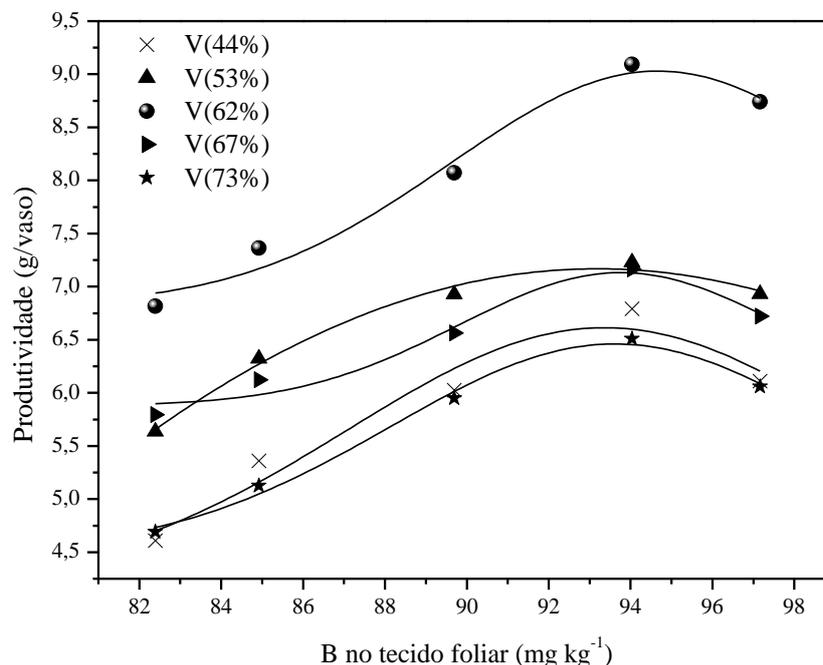


Figura 8. Interação entre os teores de B no tecido foliar e as saturações por bases na produtividade de grãos.

As equações de regressão do gráfico ilustrado pela Figura 9 são as seguintes:

$$V(44\%) = 4.17 + \left(\frac{38.35}{12.54 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{2}}} \right) \cdot e^{\left(-2 \cdot \left(\frac{x-93.36}{12.54} \right)^2 \right)} ; R^2 = 0.80 *$$

$$V(53\%) = -18.65 + \left(\frac{2010.05}{62.12 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{2}}} \right) \cdot e^{\left(-2 \cdot \left(\frac{x-93.19}{62.12} \right)^2 \right)} ; R^2 = 0.96 *$$

$$V(62\%) = 6.82 + \left(\frac{28.06}{10.14 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{2}}} \right) \cdot e^{\left(-2 \cdot \left(\frac{x-94.67}{10.14} \right)^2 \right)} ; R^2 = 0.91 *$$

$$V(67\%) = 5.88 + \left(\frac{12.45}{7.92 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{2}}} \right) \cdot e^{\left(-2 \cdot \left(\frac{x-93.76}{7.92} \right)^2 \right)} ; R^2 = 0.87 *$$

$$V(73\%) = 4.49 + \left(\frac{26.92}{10.92 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{2}}} \right) \cdot e^{\left(-2 \cdot \left(\frac{x-93.62}{10.92} \right)^2 \right)} ; R^2 = 0.97 *$$

Para 44% da saturação de bases, o teor de B no tecido foliar de 94 mg.kg⁻¹ proporcionou a maior produtividade de grãos, correspondente a 6,62 g/vaso. Para a saturação por bases de 53%, o teor de B de 94,12 mg.kg⁻¹ correspondeu a máxima produtividade com 7,16g/vaso. Já para 62% da saturação de bases, 94,01 mg.kg⁻¹ foi o teor de B no tecido foliar que promoveu a máxima produtividade correspondente a 9 g/vaso. A saturação de bases de 67% obteve máxima produtividade de grãos (7,13 g/vaso) quando o teor de B no tecido foliar alcançou 93,99 mg kg⁻¹. A saturação por bases de 73% obteve máxima produtividade de grãos (6,45 g/vaso) com teores de B correspondentes a 94 mg kg⁻¹.

De maneira geral, os dados demonstram que teores de B no tecido foliar próximos de 94 mg.kg⁻¹ influenciam de maneira positiva no alcance da máxima produtividade, em todas as saturações por bases. Neste sentido, o efeito da interação entre os teores de B no tecido foliar

e a saturação por bases de 62% foram os tratamentos que resultaram nos melhores rendimentos em produtividade.

As relações dos teores foliares de B com a produtividade de soja apresentaram efeito significativo. Isso sugere que o B é um nutriente limitante à produtividade, havendo justificativa para preocupações maiores. Em concordância com o que está sendo proposto, Santos et al. (2008) relacionaram o teor de B com a textura do solo e a produtividade da soja, de modo que os seus dados mostraram que o B é o micronutriente que se apresenta como o limitante mais provável para a produtividade da soja.

Os dados obtidos neste trabalho confirmam o efeito positivo do B na melhoria dos componentes de produção. E estes resultados foram comprovados através do aumento da produtividade de grãos. Apesar de não ter atuado de forma significativa nas variáveis de crescimento, há fortes evidências de que este nutriente eleva a eficiência das estruturas reprodutivas, uma vez que houve resposta significativa para todos os componentes de produção.

Assim como no presente trabalho, Schon e Blevins (1990) encontraram respostas significativas no aumento do número de vagens por planta nos tratamentos em que foram aplicados B através de pulverização foliar. Os autores atribuem o aumento da produtividade devido ao efeito no B no crescimento do tubo polínico, na melhoria da translocação de açúcar e retenção de flores e frutos que aumentaram o número de vagens por planta.

Além do efeito do B no número de vagens por planta, o aumento no número de grãos e a massa de 100 grãos também obtiveram respostas significativas, sendo fundamentais para justificar o efeito do B no aumento de produtividade. Os resultados deste trabalho indicam o potencial que o B tem de melhorar as estruturas reprodutivas, confirmados neste trabalho pelo aumento dos componentes de produção e produtividade.

6. CONCLUSÕES

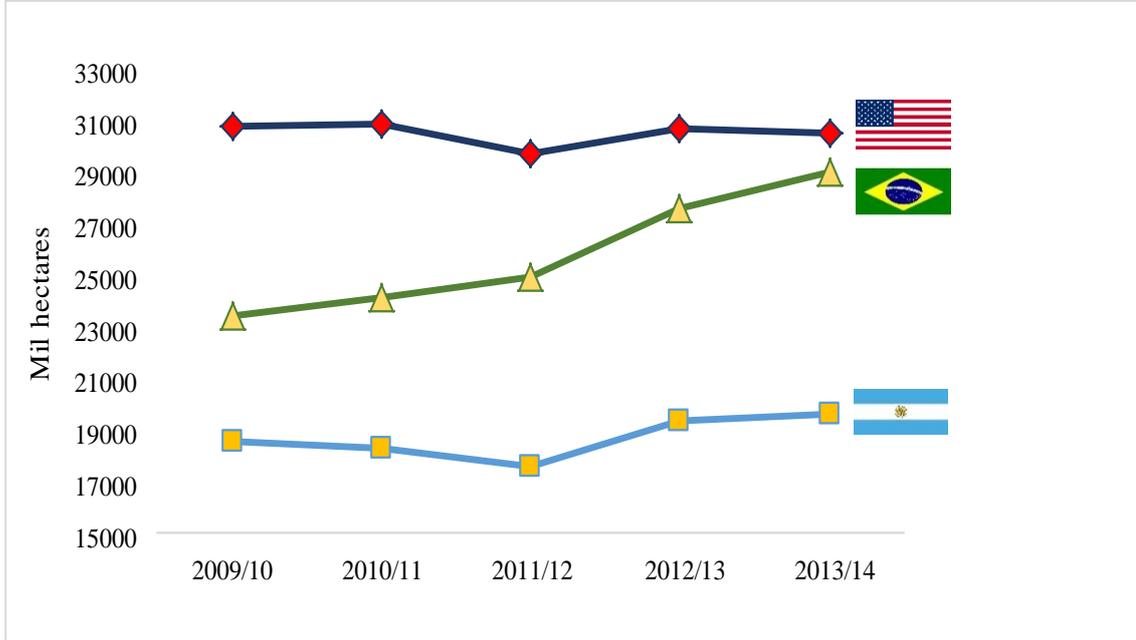
A calagem de forma isolada proporciona aumento significativo na produção da massa de matéria seca da parte aérea e do número de vagens por planta;

Considerando o teor inicial de B no solo em torno de $0,42 \text{ mg.dm}^{-3}$, a adubação boratada não promove efeito sobre o crescimento da soja, atuando, entretanto, de maneira expressiva na maioria dos componentes de produção;

Recomendação de calagem, cujo valor atingido de saturação por bases esteja próximo a 60% combinado a doses de B entre $5,71$ e $7,18 \text{ mg.dm}^{-3}$ eleva o teor de B no tecido foliar da soja, aumenta o número de grãos por planta e, conseqüentemente, a produtividade é maior.

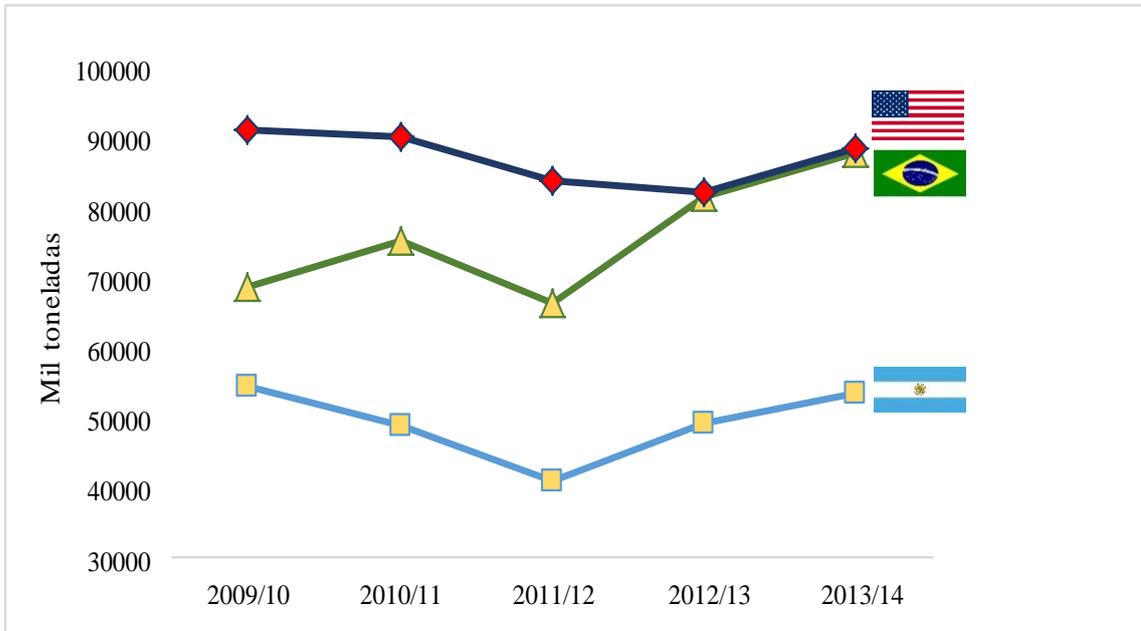
ANEXOS

ANEXO A. Área de soja plantada na Argentina, Brasil e Estados Unidos (mil hectares).



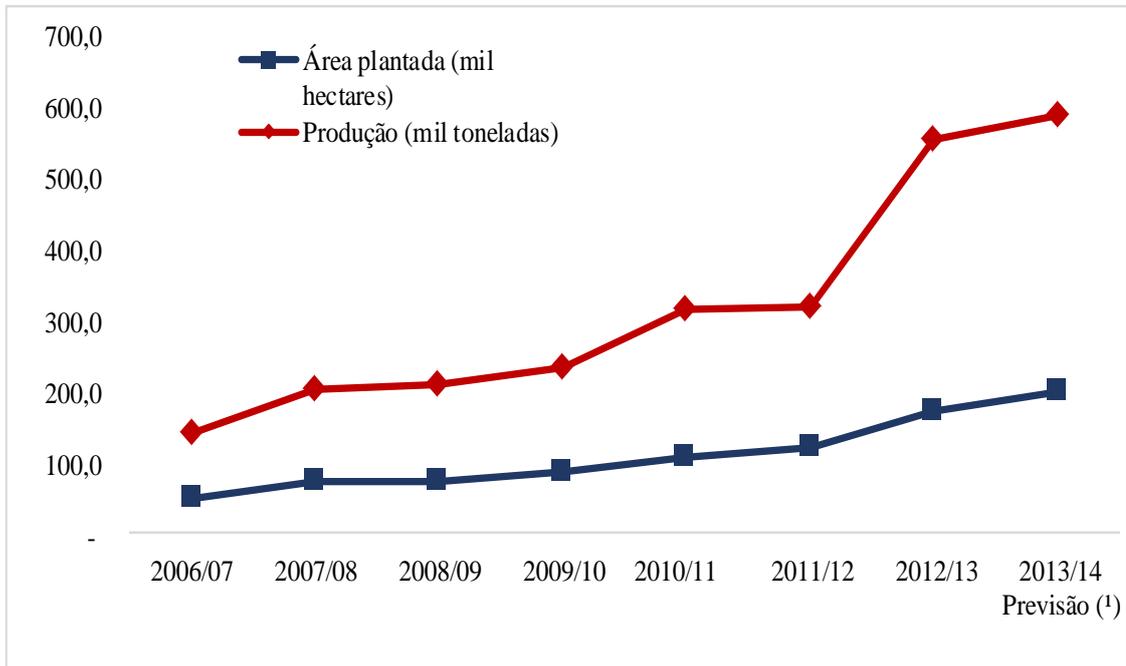
Fonte: USDA Foreign Agricultural Services (FAS)

ANEXO B. Evolução da produção da soja nos principais produtores.



Fonte: USDA Foreign Agricultural Services (FAS)

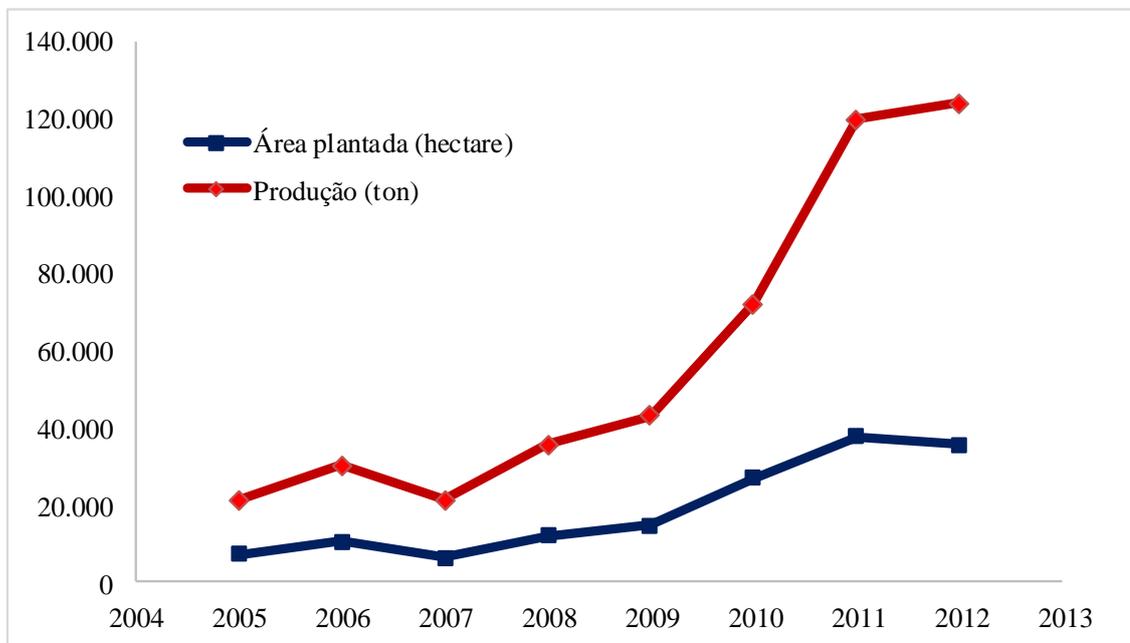
ANEXO C. Evolução de área plantada e produção de soja no Estado do Pará.



Fonte: CONAB, 2014

Legenda: (¹) Previsão em fevereiro de 2014

ANEXO D. Evolução da área plantada e produção de soja no município de Paragominas-PA.



Fonte: IBGE, 2014

REFERÊNCIAS

- ABREU, C. A.; LOPES, A. S. & SANTOS, G. **Micronutrientes**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.645-736.
- AGARWALA, S.C., SHARMA, P.N.; CHATTERJEE, C. SHARMA CP. DEVELOPMENT AND ENZYMATIC CHANGES DURING POLLEN DEVELOPMENT IN BORON DEFICIENT MAIZE PLANTS. **J. PLANT NUTR**, 1981, 3: 329-336.
- ALBRECHT, L. P. et al. Sementes de soja produzidas em épocas de safrinha na região oeste do Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, .v. 31, n. 01, p. 121-127, 2009.
- BERGER, K. C., AND E. TRUOG. Boron availability in relation to soil reaction and organic matter content. **Soil Sci. Soc**, 1945. Am. Proc. 10:113Y116.
- BLEVINS, D. G.; LUKASZEWSKI, K. M. Boron plant structure and function. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 49, p. 481 – 500, 1998.
- BOARETTO, R.M. **Boro em laranjeira: absorção e mobilidade**. 2006. 120p. Tese de doutorado - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- BROWN, P. H.; BELLALOU, N.; SAH, R. N.; BASSIL, E.; HU, H. Uptake and transport of boron. In: GOLDBACH, H. E et al. **Boron in plant and animal nutrition**. New York: Kluwer Academic, 2002. p. 87-103.
- BROWN, P.H; HU, H. Does boron play only a structural role in growing tissues of higher plants? **Plant soil**, Dordrecht, v.196, p.211-215, 1997)
- BROWN, P.H. & SHELPS, B.J. Boron mobility in plants. **Plant soil**, 193:85-101, 1997.
- CRAVO, M.S.; BRASIL, E.C. Interpretação dos Resultados de Análise de Solo. In: CRAVO, M.S.; VIÉGAS, I.J.N.; BRASIL, E.C. **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado do Pará**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2010a. p. 43-48.
- CRAVO, M.S.; FILHO, A.S.; EL-HUSNY, J.C. Soja. In: In: CRAVO, M.S.; VIÉGAS, I.J.N.; BRASIL, E.C. **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado do Pará**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2010b. p. 157-160.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v.1, n. 1 Brasília. 2013. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em 29 de abril 2014.
- DANTAS, J.P. Boro. In: FERREIRA, M.E.F.; CRUZ, M.C.P.C., (Eds.) **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba, Potafos, 1991. p.113-130.

- DECHEN, A. R. & NACHTIGALL, G. R. **Micronutrientes**. In Fernandes, M. S. (ed.). *Nutrição Mineral de Plantas*. SBCS, Minas Gerais, 2006. p. 327-354.
- DUPAS, E. **Nitrogênio, potássio e boro: aspectos produtivos, morfológicos, nutricionais e frações fibrosas e proteicas do capim-tanzânia**. 2012. 89f. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2012.
- ELRASHIDI, M. A., AND G. A. O’CONNOR. Boron sorption and desorption in soils. **Soil Sci. Soc**, 1982. Am. J. 46:27Y31.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2013. 353p.
- FAGERIA, N.K.; MOREIRA, A.; MORAES, L.A.C.; MORAES, M.F. Influence of lime and gypsum on yield and yield components of soybean and changes in soil chemical properties. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, vol. 45: 271-283, 2014.
- FEHR, W.A.; CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University, (Iowa Agriculture Experimental Station Bulletin, 80), 1997. 11p
- FURLANI, A, M, C.; TANAKA, R, T.; TARALLO, M.; VERDIAL, M, F.; MASCARENHAS, H, A, A. Exigência a boro em cultivares de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 25, núm. 4, 2001, pp. 929-937.
- GOLDBERG, S.; SUAREZ, D. L. Distinguishing Boron Desorption from Mineral Dissolution in Arid-Zone Soils. **Soil Chemistry**; 75: 1347-1353. 2011.
- GOLDBERG, S. Reactions of boron with soils. *Plant and Soil*; 193, 35-48, 1997.
- GOLDBERG, S.; SUAREZ, D.L. Role of Organic Matter on Boron Adsorption-Desorption Hysteresis of Soils. **Soil Science Society of America Journal**; 177: 417-423, 2012.
- GOLDBACH, H.E.; YU, Q.; WINGENDER, R.; SCHULZ, M.; WIMMER, M.; FINDEKLEE, P. & BALUSKA, R. Rapid response reactions of roots to boron deprivation. *J. Plant Nut. Soil Sci.*, 164:173-181, 2001.
- GUPTA, U, C. **Deficiency, sufficiency, and toxicity levels of boron in crops**. In: GUPTA, U, C., ed. *Boron and its role in crop production*. Boca Raton, CRC Press, 1993. p.137-145.
- GUPTA, U. C. Boron nutrition of crops. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.31, p. 273 – 307, 1979.
- HU, H.; BROWN, P. H. Localization of boron in cell walls of squash and tobacco and its association with pectin. Evidence for a structural role of boron in the cell wall. **Plant Physiology**, Rockville, v. 105, p. 681-689, 1994.
- HU, H.; BROWN, P. H. Absorption of boron by plant roots. In: DELL, B.; BROWN, P. H.; BELL, R. W. *Plant science. Boron in soils and plants: Reviews*. Dordrecht: Kluwer Academic, 1997. p. 49–58.

IBGE – Instituto Brasileiro Geográfico e Estatístico. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=150550&idtema=16&search=||s%EDntese-das-informa%E7%F5es>>. Acesso em: 16 Maio 2014.

ICONE - Instituto de Estudo do Comércio e Negociações Internacionais. **Análise estratégica para produção de soja responsável no Brasil e na Argentina**.2011. Disponível em: <<http://www1.ifc.org/wps/wcm/connect/cd60bf004a96003aad4aedeec99f439e/Soja+Gap+Analysis.portugues.pdf?MOD=AJPERES>> Acesso em: 25 de abril 2014.

LEITE, S.M.M.; VALLE, C.F.; BONINE, C.A.V.; MARINO, C.L. Boron influence on concentration of polyols and other sugars in Eucalyptus. **R. Árvore**, Viçosa, v.32, n.5, p.815-820, 2008.

LIMA, E do V. **Plantas de cobertura e calagem superficial na fase de implantação do sistema de plantio direto em região de inverno seco**. 2004. 133p. Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

LOPES, A. S.; GUIMARÃES, L. R. G. Interpretação de análise de solo, conceito e aplicações. Boletim técnico N°2. Associação Nacional par Difusão de Adubos. 2004.

LOPES, J. C. et al. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja produzidas em Alegre-ES. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 24, n. 01, p. 51-58, 2002.

MALAVOLTA, E. **Elementos de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MARSCHNER, H. Functions of mineral: Micronutrients. In: MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. Ed. San Diego: Academic Press, 1997. P. 313-404.

MOREIRA, A.; CASTRO, C. & OLIVEIRA, A. A. Produção, teor de boro e avaliação de extratores em solos cultivados com soja. **Ci. Agrotec.**, 34:367-373, 2010.

NABLE, R.O.; BAÑUELOS. G, S.; PAULL, J,G. Boron toxicity. **Plant and Soil**. 193, 181-198, 1997.

NETO, W. O.; MUNIZ, A. S.; SILVA, M. A. G.; CASTRO, C.; BORKET, C. M. Boron extraction and vertical mobility in Paraná state oxisol, Brazil. **R. Bras. Ci. Solo**, 33:1259-1267, 2009.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. N.; BARROS, N. F. **Ensaio em ambiente controlado**. In: MPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília, DF, 1991. p. 189-253

PEGORARO, R. F.; SANTOS NETO. J. A.; SILVA, I. R.; FONTES. R. L. F.; FARIA, A. F. & MOREIRA, F. F. Crescimento de soja em solos em resposta a doses de boro, calagem e textura do solo. **Ci. Agrotec.**, 32: 1092-1098, 2008.

RAHMAN, M.H.H.; ARIMA, Y.; WATANABE, K.; SEKIMOTO, H. Adequate range of boron nutrition is more restricted for root nodule development than for plant growth in young

soybean plant. **Soil Science and Plant Nutrition**, 45 (2), 287-296, 1999.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônômico, 2001. 285p.

RAIJ, B. V.; BATAGLIA, O. C. **Análises de laboratório**. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília, DF, 1991. p. 81-101.

RAIJ, B. V.; HIROCE, R.; LEPSH, I. F.; MENK, J. R. F. **Amostragem e banco de amostras e de informações**. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília, DF, 1991. p. 63-79.

REIS, M. S.; FERNANDES, A. R.; GRIMALDI, C.; DESJARDINS, T.; GRIMALDI, M. Características químicas dos solos de uma Topossequência sob pastagem em uma frente pioneira da Amazônia oriental. **Revista de Ciências Agrárias**, n. 52, p. 37-47, 2009.

ROSSETO, C. A. V.; FERNANDEZ, E. M.; NAKAGAWA, J.; ROSOLEM, C. A. Efeito do calcário na produção e qualidade fisiológica das sementes de soja (*glycine max* (L.) Merrill)1. **Rev. Bras. Sementes**, v.16, 16, p.208-215,1994.

SANTOS, F.C.; NOVAIS, R.F.; NEVES, C.L.; FOLONI, J.M.; FILHO, M.R.A.; KER, J.C. Produtividade e aspectos nutricionais de plantas de soja cultivadas em solos de cerrado com diferentes texturas. **R. Bras. Ci. Solo**, 32: 2015-1025, 2008.

SCHON, M.K.; BLEVINS, D.G. Foliar boron applications increase the final number of branches and pods on branches of field-grown soybeans. **Plant Physiology**, 92, 602-607, 1990.

SEDIYAMA, T. (Org.). **Tecnologias de produção e usos da soja**. 1. ed. Londrina, PR: Mecenas, 2009, v. 1. 314 p.

SFREDO, G. J. Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral. Londrina, PR. Embrapa Soja, 2008. 148p. (Embrapa Soja. Documentos, 305).

SILVA, A.C.; LIMA, A.P.C.; BATISTA, H.R. A importância da soja para o agronegócio brasileiro: uma análise sob o enfoque da produção, emprego e exportação 2011. Disponível em:

http://www.apec.unesc.net/V_EEC/sessoes_tematicas/Economia%20rural%20e%20agricultura%20familiar/A%20IMPORT%C3%82NCIA%20DA%20SOJA%20PARA%20O%20AGRONEG%C3%93CIO%20BRASILEIRO.pdf > Acesso em: 29 de abril 2012.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. **Acidez do solo e a sua correção**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.205-274.

SOUZA, L.C.D.; SÁ, M.E.; CARVALHO, M.A.C.; SIMIDU, H.M. Produtividade de quatro cultivares de soja em função da aplicação de fertilizante mineral foliar a base de cálcio e boro. **Revista de biologia e ciências da terra**. V.8, n.2, 2008

SOUZA, H.A.; NATALE, W.; ROZANE, D.E.; HERNANDES, A.; ROMUALDO, L.M. Calagem e adubação boratada na produção de feijoeiro. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, n. 2, p.249-257, 2011.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Economic Research Service. Soybean Supply and use, selected countries and global totals. Disponível em: <http://www.nal.usda.gov/fnic/cgi-bin/nut_search.pl> Acesso em: 29 de abril de 2014.