



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

VANESSA OHANA GOMES MOREIRA

**APLICAÇÕES DE ZINCO E BORO EM MILHO CULTIVADO EM
CAMBISSOLO DA CHAPADA DO APODI – CE**

FORTALEZA

2017

VANESSA OHANA GOMES MOREIRA

APLICAÇÕES DE ZINCO E BORO EM MILHO CULTIVADO EM CAMBISSOLO
DA CHAPADA DO APODI – CE

Dissertação de mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de Concentração: Química, Fertilidade e Biologia do Solo.

Orientador: Prof. PhD Boanerges Freire de Aquino

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- M839a Moreira, Vanessa Ohana Gomes.
Aplicações de zinco e boro em milho cultivado em Cambissolo da Chapada do Apodi-CE / Vanessa Ohana Gomes Moreira. – 2017.
63 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Me. Boanerges Freire de Aquino.
1. Micronutriente. 2. Nutrição.. 3. Adubação.. I. Título.

CDD 630

VANESSA OHANA GOMES MOREIRA

APLICAÇÕES DE ZINCO E BORO EM MILHO CULTIVADO EM CAMBISSOLO
DA CHAPADA DO APODI – CE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Química, Fertilidade e Biologia do solo.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. PhD Boanerges Freire de Aquino, PhD
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr Francisco Marcus Lima Bezerra
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr Geocleber Gomes de Sousa
Universidade da Integração Internacional
da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

A Deus,

aos meus pais, Sebastião Neto e Glória Gomes
por serem minha base desde sempre, e ao meu
orientador Prof. Boanerges pela paciência que
teve comigo durante a pesquisa científica.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela sabedoria, discernimento e as oportunidades dadas por ele em toda a minha vida.

A minha família, pelo apoio e confiança depositados em vários anos de estudo, principalmente ao meu pai, que serviu de base para que eu chegasse até aqui.

A Universidade Federal do Ceará/UFC, pelo excelente ambiente de estudos e pesquisa que me ofereceu durante o meu período de mestrado. E, também, a CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

Ao meu excelente orientador Professor Boanerges Freire de Aquino, pelo conhecimento que passou no tempo em que me orientou e por me ajudar em tudo que precisei durante a pesquisa.

Ao Doutor Lindemberg Crisóstomo, pela ajuda nas análises de micronutrientes realizadas nos laboratórios do CNPAT- CE.

Aos professores Marcus Bezerra e Geocleber Gomes pelas colaborações.

A todos os amigos que fiz durante este período, em especial as minhas amigas Edilaine e Nayara pelo companheirismo, amizade e por me ajudar em tudo que precisei durante o período de mestrado e da pesquisa científica.

Aos técnicos de Laboratório Antonio José e Tavares pelos conhecimentos transmitidos e pela ajuda durante as análises realizadas.

E a todos que contribuíram para o sucesso desse trabalho.

“O que prevemos raramente ocorre;
o que menos esperamos geralmente acontece.”

(Benjamin Disraeli)

RESUMO

Os micronutrientes são elementos essenciais na nutrição vegetal e a falta destes elementos pode comprometer diretamente a produção agrícola. O presente estudo, realizado em casa de vegetação, objetivou determinar o efeito de doses crescentes de zinco e boro em milho, cultivado em Cambissolo Háplico Eutrófico da Chapada do Apodi – CE, sobre a absorção de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, B e Zn); altura das plantas; e produção de massa verde e seca. Foram realizados dois experimentos em delineamento inteiramente casualizado durante um período de 50 dias após a germinação das sementes (DAE). O experimento I consistiu na aplicação de doses de zinco ($Zn_1 = 0 \text{ mg kg}^{-1}$, $Zn_2 = 2 \text{ mg kg}^{-1}$, $Zn_3 = 4 \text{ mg kg}^{-1}$ e $Zn_4 = 6 \text{ mg kg}^{-1}$) e o experimento II na aplicação de doses de boro ($B_1 = 0 \text{ mg kg}^{-1}$, $B_2 = 1 \text{ mg kg}^{-1}$, $B_3 = 2 \text{ mg kg}^{-1}$ e $B_4 = 3 \text{ mg kg}^{-1}$) com quatro repetições para cada dose. Cada parcela experimental foi constituída por um vaso com 5 dm^3 de solo, com três plantas/vaso. Ao final do experimento avaliou-se a altura das plantas, massa verde e seca da parte aérea e acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, Zn e B em função dos tratamentos. As adubações com Zn aumentaram significativamente a altura e produção de massa verde e seca da parte aérea do milho, sendo que no tratamento com a maior dose (6 mg kg^{-1}) houve decréscimo destas variáveis. Em relação à absorção de nutrientes, o incremento das doses causou diferenças significativas ($P \leq 0,01$) apenas para os teores de P e Zn na massa seca. As doses de boro aumentaram significativamente a altura e a produção de massa fresca e seca da parte aérea do milho cultivado em vaso. Em relação a absorção dos nutrientes, os tratamentos causaram diferença significativa, ($P \leq 0,01$), para os teores acumulados de N, P, K, Mg e Zn e B na massa seca. Conclui-se que, no experimento I, houve efeito significativo na absorção de P e Zn, e a maior dose de Zn causou efeito depressivo no crescimento do milho e acúmulo de biomassa. Em relação ao experimento II, com o incremento das doses de boro, houve efeito significativo na absorção de todos os nutrientes analisados com exceção do Ca e um aumento na altura e acúmulo de biomassa das plantas.

Palavras-chave: Micronutriente. Nutrição. Adubação.

ABSTRACT

Micronutrients are essential elements in plant nutrition and the lack of these elements may directly affect agricultural production. The objective of this study was to determine the effect of increasing doses of zinc and boron in maize, cultivated in the Haplic Cambisol of Apodi - CE, on nutrient uptake (N, P, K, Ca, Mg, B and Zn); Plant height; and mass production green and dry. Two experiments were carried out in a completely randomized design during a period of 50 days after seed germination (DAE). The experiment I consisted of the application of zinc doses (Zn1 = 0 mg kg⁻¹, Zn 2 = 2 mg kg⁻¹, Zn 3 = 4 mg kg⁻¹ and Zn 4 = 6 mg kg⁻¹) and experiment II in the application of (B1 = 0 mg kg⁻¹, B2 = 1 mg kg⁻¹, B3 = 2 mg kg⁻¹ and B4 = 3 mg kg⁻¹) with four replicates for each dose. Each experimental plot consisted of a pot with 5 dm³ of soil, with three plants/pot. At the end of the experiment the plant height, mass green and dry of the aerial part and accumulation of N, P, K, Ca, Mg, Zn and B as a function of the treatments. Fertilizers with Zn significantly increased the height and yield of green and dry mass of the aerial part of the corn, and in the treatment with the highest dose (6 mg kg⁻¹) there was a decrease in these variables. In relation to nutrient absorption, the increment of the doses caused significant differences ($P \leq 0,01$) only for the contents of P and Zn in the dry mass. Boron doses significantly increased the height and the yield of fresh and dry mass of the aerial part of the corn cultivated in pot. In relation to the nutrient absorption, the treatments caused a significant difference, ($P \leq 0,01$), for the accumulated contents of N, P, K, Mg and Zn and B in the dry mass. It was concluded that in experiment I, there was a significant effect on the absorption of P and Zn, and the higher Zn dose caused a depressive effect on maize growth and biomass accumulation. In relation to experiment II, with the increment of boron doses, there was a significant effect on the absorption of all analyzed nutrients with the exception of Ca and an increase in the height and accumulation of biomass of the plants.

Keywords: Micronutrient. Nutrition. Fertilizing.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	122
2	HIPÓTESE.....	133
3	OBJETIVOS	133
3.1	Objetivo Geral	133
3.2	Objetivo Específico	133
4	REVISÃO DE LITERATURA.....	144
4.1	Necessidades nutricionais das plantas	144
4.2	A cultura do milho.....	155
4.3	Micronutrientes	16
4.3.1	<i>Zinco (Zn)</i>	16
4.3.2	<i>Boro (B)</i>	18
4.3.3	<i>Ferro (Fe)</i>	19
4.3.4	<i>Cobre (Cu)</i>	200
4.3.5	<i>Manganês</i>	211
4.3.6	<i>Molibdênio (Mo)</i>	222
4.3.7	<i>Cloro (Cl)</i>	233
4.3.8	<i>Níquel</i>	233
4.4	Disponibilidade dos micronutrientes no solo	233
5	MATERIAL E MÉTODOS	25
5.1	Localização e Caracterização da área do solo utilizado no experimento	255
5.2	Coleta das amostras de solo	255
5.3	Condução do experimento	27
5.4	Delineamento experimental	27
5.5	Tratos culturais.....	27
5.6	Características avaliadas da planta	28
5.6.1	<i>Altura da planta</i>	28
5.6.2	<i>Massa verde e seca da parte aérea</i>	28
5.6.3	<i>Teores de macronutrientes e micronutrientes</i>	29
5.7	Análise estatística.....	29
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
6.1	Experimento I – Aplicações de zinco	30

6.1.1	<i>Macronutrientes e zinco</i>	34
6.1.2	<i>Micronutrientes e zinco</i>	41
6.2	Experimento II – Aplicações de boro	43
6.2.1	<i>Macronutrientes e boro</i>	47
6.2.2	<i>Micronutrientes e boro</i>	52
7	CONCLUSÃO	54
	REFERÊNCIAS	567

1 INTRODUÇÃO

Apesar de serem absorvidos em baixas concentrações, os micronutrientes são considerados essenciais às plantas, pois nas suas deficiências há o comprometimento de alguns processos metabólicos essenciais à vida das mesmas, podendo surgir sintomas de deficiência e o comprometimento na produção.

A Chapada do Apodi caracteriza-se como um importante pólo agrícola do Estado do Ceará. Nesta região, são encontrados, principalmente as classes de solo do tipo Cambissolos, Chernossolos, Vertissolos, Neossolos Litólicos e solos transicionais entre Argissolos e Latossolos, numa ocorrência bastante complexa.

No caso dos Cambissolos são os solos dominantes e caracterizam-se como solos jovens, com horizonte B ainda em formação. Possuem relativa fertilidade natural e, devido serem de origem calcária, apresentam pH natural de neutro a alcalino. A principal implicação disso é a precipitação de micronutrientes, reduzindo a disponibilidade destes elementos para serem absorvidos e utilizados pelas plantas. Apesar dos solos terem potenciais para a exploração agrícola, torna-se necessário o monitoramento de todos os fatores a eles relacionados, a fim de evitar problemas ambientais e queda na produção das culturas exploradas.

O milho (*Zea mays L.*) é uma cultura plantada em todo território brasileiro, se destacando entre os grãos mais produzidos no país. O fornecimento adequado de nutrientes é fundamental para o seu ótimo desenvolvimento, crescimento e obtenção de altas produções. As deficiências nutricionais de micronutrientes mais frequentes para esta cultura estão relacionadas ao boro (B) e ao zinco (Zn), o que compromete a sua produtividade.

O zinco é essencial para diferentes mecanismos enzimáticos da planta, controlando a produção de reguladores de crescimento, carboidratos, proteínas, e também, à formação de auxinas e ribossomos, enquanto o boro é essencial para crescimento das células, gemas, raízes e inflorescências.

Com isso, este trabalho teve como o objetivo avaliar a resposta do crescimento vegetativo do milho, especificamente o crescimento, produção de biomassa e absorção de nutrientes, submetido à aplicações de doses de B e Zn, afim de se obterem curvas de resposta, em Cambissolo da Chapada do Apodi – CE.

2 HIPÓTESE

Milho cultivado em Cambissolo da Chapada do Apodi-CE responde às aplicações crescentes dos micronutrientes boro e zinco.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Avaliar a resposta do crescimento vegetativo do milho, especificamente o crescimento, produção de biomassa e absorção de nutrientes, submetido à aplicações de doses de B e Zn, afim de se obterem curvas de resposta, em Cambissolo da Chapada do Apodi – CE.

3.2 Objetivo Específico

Avaliar o efeito das diferentes doses de B e Zn na produção de massa verde, seca e altura das plantas de milho.

Determinar o acúmulo de nutrientes na parte aérea e raízes do milho.

Obter curvas de resposta em relação os parâmetros avaliados e as doses de boro e zinco

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Necessidades nutricionais das plantas

Para o elemento ser essencial às plantas, deverá satisfazer os critérios diretos e indiretos (MALAVOLTA et al., 1997). O critério direto é quando o elemento participa de alguma reação, sem o qual a planta não sobrevive. O critério indireto refere-se a efeitos que o nutriente apresenta à planta, no qual, na sua ausência, a planta fica impossibilitada de completar seu ciclo de vida (DECHEN; NACHIGALL, 2007).

Os elementos considerados essenciais para as plantas são divididos, de acordo com a necessidade das plantas, em macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S). Estes são absorvidos em maiores quantidades pelos vegetais; e micronutrientes: boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), zinco (Zn) (FAQUIN, 2002) e níquel (Ni) (RODAK et al., 2013) absorvidos em menores quantidades (KIRKBY; ROMHELD, 2007).

Macro e micronutrientes exercem grande importância para as plantas durante as fases de formação, desenvolvimento e maturação, principalmente na constituição das membranas e no acúmulo de carboidratos, lipídios e proteínas (TEIXEIRA et al., 2005). A falta ou excesso destes elementos provocam manifestações visíveis nos vegetais. Inicialmente há alteração no nível molecular, não se forma um composto ou uma reação não se processa. Em seguida, há alterações celulares, no tecido e aparecem os sintomas visíveis nas plantas, que afetam o crescimento e produção das mesmas (MALAVOLTA, 2002).

Avaliar o estado nutricional das plantas é de fundamental importância para o crescimento e produção das mesmas. Usualmente, é realizada através de análises químicas ou pela diagnose visual das folhas e outros órgãos da planta. A análise do tecido vegetal, fornece indicações sobre o estado nutricional da planta mais precisamente (MARTINEZ et al., 2003) enquanto a diagnose visual pode apresentar limitações (ZUNIGA, 2012).

4.2 A cultura do milho

O milho (*Zea mays L.*) é uma espécie diplóide, alógama, anual e herbácea pertencente à família Poacea (Gramineae), originado aproximadamente de sete a dez mil anos atrás no México e na América Central (GUIMARÃES, 2007). É cultivada em muitas partes do mundo devido a sua grande adaptabilidade, representada por variados genótipos, permitindo o seu cultivo em climas tropicais, subtropicais e temperados (BARROS; CALADO, 2014).

Com uma produtividade média anual que atinge próximo de 5.370 kg ha de milho no Brasil (CONAB, 2015), a cultura do milho possui importância mundial na alimentação animal, na forma de farelos, silagem ou componente de rações; e na alimentação humana, na forma de milho-verde e subprodutos como a pamonha, canjica, pão, entre outros (PAIVA, 2011).

O ciclo da cultura compreende as seguintes etapas de:

(i) germinação e emergências: período compreendido desde a sementeira até o aparecimento da plântula, dura em média 5 a 12 dias; (ii) crescimento vegetativo: período compreendido entre a emissão da segunda folha e o início do florescimento, a duração de tal etapa é bem variável dependendo da genética do grão; (iii) florescimento: período compreendido entre o início da polinização e o início da frutificação, cuja duração não ultrapassa 10 dias; (iv) frutificação: período que ocorre enchimento dos grãos, com duração de 40 a 60 dias; (v) maturidade: período indicativo ao final do ciclo de vida da planta, denominado ponto de maturidade fisiológica (BALDO, 2007).

O grão de milho é uma cariopse formada por quatro estruturas: o endosperma, o gérmen, a casca e a ponta, as quais diferem em composição química. O peso individual do grão varia de 250 a 300 mg e sua composição, em média, contém 72% de amido, 9,5% proteínas, 9% fibra e 4% de óleo (EMBRAPA, 2006).

Na produção de grãos e na produção de silagem, proveniente do cultivo de milho, é necessário disponibilizar à planta a quantidade total de nutrientes que esta requer, fornecidos pelo solo e/ou através de fertilizantes (COELHO; FRANÇA, 2006). Um dos períodos de maior exigência nutricional da cultura ocorre durante o desenvolvimento vegetativo onde há maior taxa diária de absorção de elementos e maior acúmulo de matéria seca, e o potencial para a produção de grãos está, ainda, sendo definido (SANTANA, 2012).

Dos macronutrientes, o N é o nutriente exigido em maior quantidade pela cultura do milho, exercendo maior influência na produtividade dos grãos, além de ser o que mais encarece o custo de produção (FARINELLI; LEMOS 2012), sendo absorvido até próximo da maturidade fisiológica (FIORINI, 2011), depois o K, em seguida P, o Ca e o Mg (FERREIRA, 2012).

Em relação aos micronutrientes, em geral, a necessidade por parte da cultura é pequena, no entanto a carência desses elementos é tão prejudicial quanto à de macronutrientes e até mesmo de água (SANTOS, 2013), sendo que a cultura possui alta sensibilidade à deficiência de zinco, média para cobre, ferro e manganês e baixa para boro e molibdênio (EMBRAPA, 2011).

4.3 Micronutrientes

Os micronutrientes são requeridos em menor quantidade pelas culturas, contudo são essenciais, pois desempenham funções vitais ao metabolismo das mesmas (NACKE, 2011). Suas deficiências podem causar sérios problemas ao desenvolvimento da planta, queda de produtividade e possivelmente a morte (GUPTA, 2001).

4.3.1 Zinco (Zn)

O zinco (Zn) é absorvido pelas plantas na forma Zn^{2+} , sendo considerado de grande importância no metabolismo das plantas, pois faz parte de enzimas, tais como as desidrogenases, proteinases, peptidases e fosfohidrolase (NACKE, 2011). Além disso, participa de reações na produção de carboidratos, proteínas e fosfatos, e na formação de RNA, ribossomos e triptofano, precursor da auxina; está relacionado à multiplicação celular e à fertilidade do grão de pólen (PRADO, 2008).

O zinco é encontrado nos solos principalmente nas formas de óxidos, silicatos e carbonatos; é encontrado também como cátion trocável, dissolvido na solução do solo e na matéria orgânica com a qual pode formar quelatos (JAMAMI, 2001). Solos derivados de rochas ígneas básicas são mais ricos, e solos derivados de rochas sedimentares, mais pobres (ABREU et al., 2007).

Em alguns solos tropicais, há o predomínio de baixa concentração de zinco e a deficiência deste micronutriente é reconhecida como problema nutricional mundial para a produção dos cereais (PUGA, 2011). De todos os micronutrientes, é o mais

frequentemente deficiente na produção de milho e com maior probabilidade de obter uma resposta de rendimento quando aplicado como adubo (BUTZEN, 2015).

O suprimento de Zn pelo solo depende de vários fatores, como, o material de origem, a quantidade de matéria orgânica e óxidos (afetam a retenção de água e os sítios de adsorção específica), o pH do solo (disponibilidade é maior em valores de 5,0 a 6,5), a concentração de fósforo, entre outros (PEREIRA et al., 2007). Ainda é pouco conhecida a influencia da relação do P com o Zn no solo, existindo controvérsias a respeito de processos que afetam a sua disponibilidade (MUNER et al., 2010). Essa interação é bastante estudada, e muito importante para o manejo de solos tropicais, pois existem evidências que sugerem a existência de antagonismo mútuo entre P e Zn, quando ambos os nutrientes excedem seus valores críticos no solo, (CORREA et al., 2014). Algumas das evidências é a existência de inibições na translocação do Zn da raiz para a parte aérea da planta em solos com elevadas concentrações de P (MUNER et al., 2010). Isso pode ser explicado pelo P insolubilizar o Zn na superfície das raízes ou precipitá-lo como fosfato de zinco, impedindo a absorção do nutriente pelas plantas (CORREA et al., 2014).

O Zn é adsorvido pelos colóides do solo que expõem cargas negativas, o que ajuda a diminuir as perdas por lixiviação, aumentando o seu efeito residual; portanto, solos arenosos ou com baixa CTC, também, podem apresentar deficiências deste elemento (ABREU et al., 2007).

A deficiência de zinco causa, principalmente, o nanismo das plantas (encurtamento dos internódios). Ferreira (2012) em experimento com a cultura do milho, em casa de vegetação, percebeu que sob deficiência de Zn no solo, as plantas adquiriram uma leve diminuição do porte e as folhas mais novas continham arroxamento internervural inicialmente e, posteriormente, adquiriram uma espécie de desbotamento internerval, surgindo da base em direção ao ápice.).

A toxicidade deste elemento pode ocorrer em solos contaminados pela mineração, atividades de fundição, em solos urbanos enriquecido por aportes antropogênicos de Zn, ou em solos de pH baixo (BROADLEY et.al, 2007). As elevadas concentrações deste metal, pode causar problemas ambientais, contaminação do solo e da água e prejuízo as culturas, provocando sintomas como, redução no crescimento e clorose de folhas.

4.3.2 Boro (B)

O boro (B) é importante para o crescimento meristemático, síntese da parede celular, funcionamento da membrana celular, transporte de hormônios, como auxina (AIA) e metabolismo de carboidratos (ARAÚJO; SILVA, 2012). Também está associado à formação do tubo polínico e ao desenvolvimento e funcionamento das raízes (MALAVOLTA et al., 2002)

É absorvido pelas plantas na forma de ácido bórico ($H_3BO_3^-$) ou como ânion borato ($B(OH)_4$), em valores de pH elevados, (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). O elemento pode ocorrer no solo na forma de vários compostos orgânicos e inorgânicos. Os borossilicatos são os minerais primários mais importantes, liberando o boro para diversos compostos e para o próprio solo (JAMAMI, 2001). Sua distribuição na rocha, diferente dos outros elementos, é mais predominante em rochas sedimentares (ABREU et al., 2007). Na solução do solo, assim como o zinco, tem sua disponibilidade influenciada, também, pelo teor de matéria orgânica, pH e tipo de argila do solo (LEMISKA et al., 2014).

O milho tem um baixo requisito para B, mas pode ser muito sensível ao excesso deste (KAUR; NELSON, 2015). Contudo, a deficiência deste micronutriente pode interferir no crescimento e desenvolvimento da cultura (REIS et al., 2009), paralisando o crescimento dos meristemas apicais, tanto das raízes como da parte aérea, e interferindo na produção dos grãos (FAQUIN, 2002), reduzindo o desenvolvimento e o tamanho da espiga (FERREIRA et al., 2001).

A deficiência de boro é uma das mais comuns no Brasil, em diversas culturas (MALAVOLTA et al., 2002) (DIÓGENES, 2012). Isto pode ser ocasionada por diversos fatores, estando diretamente relacionada ao tipo de solo. Em experimento em casa de vegetação com a cultura do milho, observou-se que sob a deficiência de boro, as plantas apresentaram uma diminuição acentuada do porte e uma coloração verde muito intensa.

Os sintomas foram mais evidentes nas folhas mais novas por ser um elemento pouco móvel na planta (FERREIRA, 2012). Diante desta deficiência, pode ocorrer, também, a morte das gemas terminais e o superbrotamento com folhas menores e deformadas; o escurecimento interno do caule, pecíolo, flores e frutos e prejuízos no transporte de açúcares das folhas para outros órgãos (MALAVOLTA et al., 2002). Contudo, devido o limite entre toxidez e adequabilidade serem muito estreito deste

nutriente, pode ocorrer à possível toxidez, quando os valores estão acima das exigidas pelas culturas (DIÓGENES, 2012).

Segundo Faquin (2002), em relação aos sintomas de toxidez, há a manifestação de uma clorose malhada, queda das folhas e manchas necróticas nos bordos das folhas mais velhas, que coincidem com as regiões da folha onde há maior transpiração (MALAVOLTA et al., 2002).

4.3.3 Ferro (Fe)

O ferro (Fe) é um elemento considerado essencial para a vida das plantas, pois está relacionado com várias atividades metabólicas, participando da síntese de enzimas (catalase, peroxidase, citocromos, oxidase) e de processos vitais como, respiração, fotossíntese, fixação de nitrogênio e transferência de elétrons (ALEXANDRE, et. al., 2012). Este elemento, no solo, provém da decomposição da pirita, de compostos ferromagnesianos e de outros materiais primários. A absorção deste elemento pelas plantas ocorre nas formas Fe^{3+} e Fe^{2+} , sendo esta última, a forma metabolicamente ativa e preferencialmente absorvida pelas plantas

A disponibilidade e aproveitamento deste elemento pelas culturas são afetados por diversos fatores, sendo o pH o mais comum, pois em altos valores – quer por efeito de calagens excessivas ou por se tratar de solos naturalmente alcalinos – há a redução na disponibilidade, pois há a oxidação do Fe^{2+} em Fe^{3+} e sua precipitação como hidróxido de ferro, forma insolúvel e indisponível às plantas (MALAVOLTA, 1967). Outros fatores que podem afetar a disponibilidade do Fe é o excesso de P no solo e na planta, altos teores de carbonatos, e desequilíbrios com outros micronutrientes, tais como Cu e Mn (ABREU et al., 2007) .

Por 80% deste elemento está presente nos cloroplastos das folhas de plantas, a ausência de ferro afeta os processos fotossintéticos (KIRKBY; ROMHELD, 2007). Há o acréscimo de pigmentos amarelos devido ao aumento de carotenóides nestas organelas. Por isso, os sintomas de deficiência caracterizam-se por folhas jovens amareladas e com tamanho reduzido (FERRAREZI, 2006).

Não se espera toxicidade do ferro devido à rápida conversão do ferro na forma solúvel, aplicado por meio de fertilizantes, para a forma insolúvel, porém o excesso deste elemento pode tornar as folhas mais claras, com lesões desde enegrecidas até cor de palha nas margens (GUPTA, et al., 2001) e causar menor absorção de nutrientes como P, K, Ca, Mg e Mn, devido a inibição competitiva (SOARES, 2008).

4.3.4 Cobre (Cu)

Entre vários micronutrientes, o cobre (Cu) é importante devido ao seu papel vital e indispensável no crescimento das plantas. Constitui enzimas importantes, como citocromo-oxidase e oxidase do ácido ascórbico, além de promover a formação de vitamina A em plantas (SHARMA et al., 2012). O elemento é absorvido pelas plantas na forma Cu^{2+} e importante para os processos da fotossíntese e de transporte de elétrons na respiração, na formação da parede celular, produção de etileno e síntese de polifenóis (BARKER; PILBEAM, 2015).

É um elemento largamente encontrado em rochas ígneas, portanto, solos delas derivados, não possuem problemas com a deficiência deste micronutriente (MELLO et al., 1985). O elemento cobre (isolado) apresenta baixa solubilidade no solo, e essa característica influencia na sua disponibilidade para as plantas, pois o elemento pode ser fortemente retido pelas partículas do solo, tornando-se indisponível e insuficiente ao suprimento para as mesmas (RESENDE et al., 2009)

A disponibilidade de cobre é afetada, principalmente, pelo pH do solo (FERREIRA et al., 2001) tendo sua solubilidade reduzida em solos de pH elevado (TROEH; THOMPSON, 2005), (acima de 7,0) devido a ligação do elemento com os componentes químicos do solo, contrariamente, em condições ácidas, há o aumento da quantidade do elemento na solução do solo (BARKER; PILBEAM, 2015).

A deficiência de cobre pode ocorrer em solos com altos teores de matéria orgânica, nos quais este elemento é complexado em formas orgânicas insolúveis, não disponíveis às plantas (FERREIRA et al., 2001). Pode ocorrer deficiência, também, em locais com solos originados de sedimentos ricos em sílica e carbonatos (MELLO et al., 1985). Elevados teores de zinco podem inibir a absorção do cobre e vice-versa, devido à competição pelos mesmos sítios de absorção, causando sintomas de deficiência nas plantas (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Os principais sintomas de deficiência deste elemento é a clorose, que devido a pouca mobilidade do nutriente na planta, ocorre inicialmente nas folhas mais novas, semelhante à deficiência do ferro (TROEH; THOMPSON, 2005). As folhas enrolam-se, murcham e se tornam quebradiças; há o abortamento de grande número de flores produzindo espigas pouco granadas, nos cereais; há o comprometimento no transporte de água e solutos no xilema devido a redução na lignificação (DECHEN; NACHTIGALL, 2007)

Em quantidades excessivas no solo (acima de 20 mg kg^{-1}) o elemento pode causar toxidez às plantas, limitando o crescimento vegetal e causando desequilíbrios na absorção e translocação de nutrientes (FREITAS et al., 2013). Em quantidades tóxicas nos tecidos das plantas (20 a 100 mg kg^{-1}) (CHAVES et al., 2010), o Cu catalisa a produção de espécies reativas de oxigênio, como o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), prejudicial para componentes celulares tais como DNA, proteínas e lipídios, reduzindo o desenvolvimento e causando danos aos tecidos das culturas (THOUNAOJAM et al., 2014).

4.3.5 Manganês

O manganês (Mn) é um elemento que desempenha importantes funções, entre elas, a participação na fotossíntese, produção de aminoácidos aromáticos e hormônios como, as auxinas (BASSO et al., 2011). Além disso, é responsável pela formação de lignina, substância presente na parede celular, em que lhe confere impermeabilidade (TEIXEIRA et al., 2005).

Depois do ferro, o manganês é o elemento mais abundante na terra, sendo encontrado, principalmente em rochas ferro-magnesianas (RESENDE, 2009) e como componente de óxidos, carbonatos, silicatos e sulfetos (DECHEN; NACHIGALL, 2007), sendo a pirolsita, hausmanita e manita os minerais com mais comuns que contém este elemento (MELLO et al., 1985).

Uma pequena quantidade do elemento manganês é essencial e grandes quantidades podem ser tóxicas para as plantas (VELOSO et al., 1995). Este elemento pode existir em vários estados de oxidação diferentes, mas pesquisas indicam que a maior parte do manganês na solução do solo e nas rochas está presente como Mn^{2+} (forma absorvida pelas plantas) (TROEH; THOMPSON, 2005).

A disponibilidade do manganês depende, principalmente do pH, isso porque em solos muito ácidos o manganês está frequentemente presente em concentrações tóxicas, e sua disponibilidade pode ser reduzida mediante a elevação do pH, por exemplo, com a prática de calagem (SALVADOR et al., 2003).

Na deficiência de Mn ocorre clorose internerval nas folhas, surgindo primeiramente nas folhas mais jovens. Nas dicotiledôneas, frequentemente aparecem pequenas manchas amarelas nas folhas mais jovens. Nas monocotiledôneas, os sintomas de deficiência de Mn aparecem na parte basal das folhas como manchas ou listras cinza-esverdeada (KIRKBY; ROMHELD, 2007). Como sintomas de toxidez há o surgimento

de manchas marrons, principalmente em plantas jovens (DECHEN; NACHIGALL, 2007).

4.3.6 Molibdênio (Mo)

O molibdênio (Mo) participa na formação do grão de pólen, do metabolismo das proteínas e dos ácidos nucleicos, da absorção e transporte de ferro (MALAVOLTA et al., 2002). É essencial na fixação biológica do nitrogênio, pois ativa a enzima redutase do nitrato (ARAÚJO et al., 2008). Dessa forma, com a melhor assimilação do nitrogênio inorgânico pelas plantas, melhor será também todas as reações bioquímicas da mesma, pela suficiente produção de proteínas e enzimas (POSSENTI; VILLELA, 2010).

O Mo é um dos micronutrientes exigidos em menor quantidade pelas plantas, aparecendo no tecido foliar em menor proporção: da ordem de 1 décimo de mg por kg de matéria seca (MALAVOLTA et al., 2002). Contudo, diversos estudos mostram respostas interessantes à sua aplicação nas adubações em diversas culturas, como por exemplo, no milho, indicando possíveis limitações no suprimento deste elemento em solos brasileiros (PEREIRA et al., 2012).

Este elemento ocorre nas rochas associados a diversos minerais: olivina, piroxênio, plagioclásios, minerais de argila, entre outros. No solo, aparece na forma orgânica e como íon MoO_4^{2-} trocável ou na solução do solo (MELLO et al., 1985), sendo sua solubilidade afetada, sobretudo pelos valores do pH e pelo teor de P (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Deficiências deste elemento são, portanto, mais provável de ocorrer em solos ácidos (pH 5,0 – 5,5) (TROEH & THOMPSON, 2005) e sua concentração aumentar nas folhas, em pH entre 5,6 e 6,4 (DECHEN; NACHTIGALL, 2007), ou seja, ao contrário do que ocorre com os elemento B, Fe, Mn, e Cu, o pH elevado aumenta a sua disbonibilidade, devido a maior concentração dos ions OH^- , provocando a troca com o MoO_4^{2-} e, conseqüentemente, disponibilizando-o na solução do solo (MALAVOLTA, 1967).

A toxicidade do molibdênio não é comum, mas pode ser encontrada apenas quando há a presença de teores muito elevados, podendo apresentar, dependendo da cultura, desde coloração violeta nas folhas, redução na fixação biológica do nitrogênio até mesmo toxicidade para animais que se alimentarem da plantas (no caso de

pastagens), contudo, é mais frequente em solos alcalinos ou naqueles que receberam calagem pesada (GUPTA et al., 2001),.

4.3.7 Cloro (Cl)

O cloro (Cl) é necessário para as reações de quebra da molécula de água na fotossíntese, produzindo oxigênio (CLARKE; EATON RYNE, 2000), sendo essencial, também, para a divisão celular (HARLING, 1997).

Sintomas típicos de deficiência deste nutriente incluem murcha das folhas, enrolamento dos folíolos e clorose, similares à deficiência de Mn, e severa inibição do crescimento radicular (BERGMANN, 1992).

4.3.8 Níquel

O Ni foi o último micronutriente considerado essencial para as plantas. Isso devido, este elemento ser catalisador da urease (transformação da uréia em NH_4^+), o que o torna extremamente importante para o metabolismo de nitrogênio (CAMPANHARO et al., 2013).

É considerado o 23º elemento mais abundante na crosta da Terra, onde sua concentração nos solos varia 5 a 500 mg kg^{-1} , e nas folhas, a quantidade do elemento em plantas cultivadas em solos não contaminados, varia entre 0,05 e 5 mg kg^{-1} . A dificuldade de quantificação deste elemento pela falta de dispositivos apropriados e sensíveis a quantificação do mesmo, foi, também, uma das razões pelas quais este elemento foi o último incluído na lista de micronutrientes (RODAK et al., 2015).

4.4 Disponibilidade dos micronutrientes no solo

A disponibilidade dos micronutrientes depende das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, como: pH, teor de matéria orgânica, teor de óxidos de ferro, de alumínio e de manganês (CAMARGO, 2000), competição por outros íons pelos sítios de adsorção, entre outros. (HOODA; ALLOWAY, 1996).

O potencial hidrogeniônico (pH), afeta a solubilização dos micronutriente no solo e, conseqüentemente, a disponibilidade dos mesmos. O aumento do pH diminui a presença dos micronutrientes, principalmente, Cu, Fe, Mn e Zn e B (ABREU et al., 2007). A calagem consiste em uma prática eficiente de aumentar o pH com a aplicação de calcário no solo (CAIRES et al., 2000), e tem sido utilizada como prática capaz de amenizar a toxidez de micronutrientes como o Fe e Mn em algumas regiões, porém esta

prática pode ser prejudicial em outras situações (KALBAZI et al., 1978), como em solos do semiárido, que possuem baixa fertilidade (SILVA; MENEZES, 2010), devido a diminuição, ainda mais, da disponibilidade dos micronutrientes, principalmente do Zn (KALBAZI et al., 1978).

A matéria orgânica tem importância fundamental nos solos, pois promove melhorias nas suas características físicas, químicas e biológicas (PIGOZZO et al., 2008). Contudo, esses compostos orgânicos afetam a solubilidade de micronutrientes, como o Fe, o Mn, o Cu e o Zn, reduzindo a disponibilidade destes elementos, em virtude da formação de complexos com ácidos húmicos. Contrariamente, pode aumentar a disponibilidade de micronutrientes, em virtude da complexação com ácido fúlvicos e outros compostos (STEVENSON; ARDAKANI, 1972).

Os óxidos de Fe e Mn têm efeito significativo nas reações dos micronutrientes do solo, podendo associar-se a estes, afetando diretamente a disponibilidade dos micronutrientes às plantas. (ABREU et al., 2007).

Também podem ocorrer interações antagônicas entre nutrientes no solo e na planta, provocando problemas de desbalanço nutricional. Por exemplo, altas concentrações de P podem induzir a carência de Zn, comprometendo o crescimento das plantas; níveis elevados de Cu inibem a absorção de Zn e vice versa (o mesmo ocorre na interação Fe-Mn); a absorção de Mo pode ser comprometida por efeito competitivo como o sulfato. Outros possíveis tipos de antagonismo são relatados na literatura, mas ainda não foram investigados com detalhes (RESENDE, 2009).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização e Caracterização da área do solo utilizado no experimento

O experimento foi realizado em casa de vegetação, pertencente ao Departamento de Ciências do Solo, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici em Fortaleza, Ceará. As amostras foram coletadas de uma área nativa (Figura 1) da Chapada do Apodi, localizada no município de Limoeiro do Norte, Estado do Ceará, a 198 km de distância da capital Fortaleza. O solo que foi utilizado no experimento é classificado como Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013).

Figura 1 - Local da coleta das amostras de solo utilizadas no experimento (Chapada do Apodi – CE)



Fonte: Vanessa Ohana G. Moreira (2015).

5.2 Coleta das amostras de solo

Foi realizada a remoção da cobertura vegetal do solo e após, coletada a camada superior (0-25 cm) em uma área de mata nativa. As amostras foram colocadas em sacos plásticos com capacidade de aproximadamente 60 kg. Logo após, foram transportadas para a casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará. Posteriormente, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de malha de 2 mm de abertura. Uma análise de caracterização do solo foi realizada antes da instalação do experimento. As características físicas e químicas do solo se encontram na Tabela 1.

Tabela 1 – Características físicas e químicas do solo utilizado no experimento.

pH (H ₂ O)	6,6
CE (ds m ⁻¹)	0,26
M.O (g kg ⁻¹)	27,68
C (g kg ⁻¹)	16,06
N (g kg ⁻¹)	1,65
P (mg kg ⁻¹)	18
K ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,36
Ca ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	6,30
Mg ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	2,40
Fe (mg kg ⁻¹)	3,5
Na ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,16
Cu (mg kg ⁻¹)	0,6
Zn (mg kg ⁻¹)	2,9
B (mg kg ⁻¹)	0,23
H ⁺ + Al ³⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	2,31
Al ³⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,10
SB (%)	9,2
T (%)	11,5
V (%)	80
m (%)	1
PST	1
Areia Grossa (g kg ⁻¹)	413
Areia Fina (g kg ⁻¹)	102
Silte (g kg ⁻¹)	173
Argila (g kg ⁻¹)	312
Argila Natural (g kg ⁻¹)	212
Densidade global (g cm ³)	1,34
Classificação Textural	Franco argilo arenosa

Fonte: Laboratório de Análises de solo e água – Universidade Federal do Ceará (2016).

5.3 Condução do experimento

Após a secagem das amostras de solos, foi realizado o enchimento dos vasos com 5 kg de solo para o cultivo do milho. O plantio das sementes, fornecidas pela Secretaria do Desenvolvimento Agrário - SDA, sede em Fortaleza-CE, foi realizado em Janeiro de 2016. Os experimentos tiveram duração de 50 dias após a emergência das sementes (DAE).

5.4 Delineamento experimental

Foram realizados dois experimentos em delineamento inteiramente casualizado (Figura 2AB). O Experimento I consistiu-se da aplicação de doses de zinco ($Zn_1 = 0 \text{ mg kg}^{-1}$, $Zn_2 = 2 \text{ mg kg}^{-1}$, $Zn_3 = 4 \text{ mg kg}^{-1}$ e $Zn_4 = 6 \text{ mg kg}^{-1}$) e o experimento II da aplicação de doses de boro ($B_1 = 0 \text{ mg kg}^{-1}$, $B_2 = 1 \text{ mg kg}^{-1}$, $B_3 = 2 \text{ mg kg}^{-1}$ e $B_4 = 3 \text{ mg kg}^{-1}$) com quatro repetições cada dose. Desta forma, cada experimento consistiu de 16 parcelas.

Figura 2 - (A) Vista da disposição dos vasos, correspondendo às unidades experimentais; (B) Vista da identificação dos vasos, plantas com 5 DAE.



Fonte: Vanessa Ohana Gomes Moreira (2016).

5.5 Tratos culturais

Foram plantadas sete sementes em cada vasos contendo os 5 kg de solo,. Com 7 DAE das sementes, foi realizado o desbaste, deixando-se três plantas por vaso.

A adubação básica foi constituída de Sulfato de Amônio - $(NH_4)_2SO_4$, (1º aplicação: $1 \text{ g de N vaso}^{-1}$; 2º aplicação: $0,5 \text{ g N vaso}^{-1}$), Cloreto de Potássio – KCl (1º e 2º aplicação: $0,5 \text{ g de K vaso}^{-1}$); Superfosfato Triplo - $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ ($0,6 \text{ g de P vaso}^{-1}$

¹) e Micronutrientes: Sulfato Manganoso Hidratado – $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (25 mg de Mn vaso⁻¹), Fe-EDTA (12 mg de Fe vaso⁻¹), Sulfato Cúprico Hidratado – $\text{Cu}_5\text{O}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (5 mg de Cu vaso⁻¹), Tetraborato de Sódio Hidratado – $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (8 mg de B vaso⁻¹) (dose utilizada no experimento do zinco), Molibdato de Amônio – $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (1 mg de Mo vaso⁻¹) e Sulfato de Zinco Hidratado – $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (16 mg de Zn vaso⁻¹) (dose utilizada no experimento do boro). O nitrogênio e potássio foram reaplicados 20 dias após a primeira adubação.

Aos 20 DAE houve ataque da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*), na qual, foi imediatamente controlada com produtos de natureza biológica e química com o objetivo de não prejudicar e interferir nos resultados deste estudo. A irrigação, com água destilada, foi realizada diariamente com base no peso dos vasos, procurando-se manter o teor de umidade na capacidade de campo. Por fim, a coleta do material para análises ocorreu aos 50 dias após a emergência das sementes (DAE).

5.6 Características avaliadas da planta

5.6.1 Altura da planta

A altura da planta foi medida aos 50 DAE, com o auxílio de uma trena. Essa medição foi realizada desde a superfície do solo até a ponta da curvatura da maior folha de cada planta.

5.6.2 Massa verde e seca da parte aérea

Ao final do experimento, as plantas foram cortadas rente ao solo para a coleta da parte aérea. Foi realizada a pesagem da massa fresca logo após o corte das plantas, com uso de balança. Também foi realizada a pesagem da massa seca, para isto, a parte aérea das plantas foi acondicionada em sacos de papel e, posteriormente, secas em estufa de circulação forçada de ar (65°C), até atingir peso constante em, aproximadamente, 72 horas. Logo em seguida, o material foi pesado em balança para a obtenção da produção de massa seca da parte aérea.

5.6.3 Teores de macronutrientes e micronutrientes

Foram determinadas as concentrações dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), e dos micronutrientes boro (B) e zinco (Zn) na parte aérea das plantas de milho, utilizando o método proposto pela EMBRAPA (2009).

Segundo essa metodologia, obtém-se os extratos por digestão úmida com utilização do ácido sulfúrico (extração do nitrogênio) e ácido nitroperclórico (extração dos demais macronutrientes e os micronutrientes). Na digestão sulfúrica foram utilizados 0,2 g da amostra e 7 mL da mistura digestora. As amostras foram colocadas em tubos e submetidas ao processo de digestão. No bloco digestor, as mesmas foram aquecidas lentamente até 350°C, as quais permaneceram em extração por até 4 horas, ou até a obtenção de um líquido esverdeado. Na obtenção do extrato nitroperclórico, pesou-se 0,5g do material vegetal em tubos de vidro e em seguida adicionou-se 6,0 mL da mistura de ácido nítrico (HNO₃) + ácido perclórico (HClO₄) na proporção (3:1), deixando em repouso por 3 a 4 horas. Em seguida, os tubos foram colocados em uma placa digestora onde a temperatura foi gradativamente elevada até atingir 120 °C, permanecendo nesta temperatura até o volume se reduzir a metade. Passado esse tempo, a temperatura foi elevada até 250 °C e mantida até o extrato ficar incolor. Após o resfriamento, o extrato foi avolumado com água destilada em um balão volumétrico de 50 mL.

Após obtenção dos extratos foi realizada a determinação dos nutrientes por meio do uso de equipamentos específicos. Para o nitrogênio foi utilizado o método de titulação com o destilador Kjeldahl. Os elementos cálcio, magnésio, boro e zinco foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. O fósforo foi determinado com utilização do fotocolorímetro e o potássio com uso do fotômetro de chama.

Todas as análises foram realizadas, com as quatro repetições, nos laboratórios do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará – UFC e do CNPAT- CE

5.7 Análise estatística

As variáveis estudadas foram submetidas à análise de variância (ANOVA), relacionando as doses e os parâmetros avaliados. Sendo as médias avaliadas pelo teste de Tukey a 1%, utilizando o programa uso do software SAS. Além disso, foram

realizadas análises de regressão com as variáveis analisadas e as doses dos micronutrientes boro e zinco.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Experimento I – Aplicações de zinco

Produção de Massa Fresca, Seca e Altura da planta

De acordo com os resultados do teste F apresentados na Tabela 2, a aplicação de doses crescentes de zinco causou diferenças significativas na produção de massa fresca (MF) e seca (MS) e na altura das plantas (AP).

Tabela 2 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para os parâmetros: MF, MS e AP do experimento I.

Parâmetros avaliados	Experimento I
Massa Fresca	134,62**
Massa Seca	85,54**
Altura	14,25**

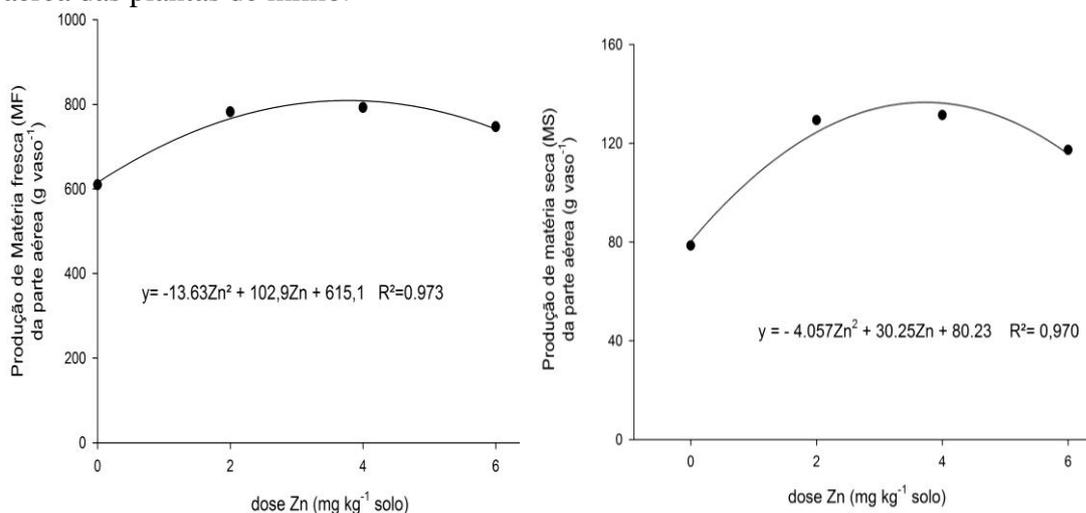
F = Estatística do teste F; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

De acordo com os valores médios obtidos de MS e MF, observa-se que o milho mostrou-se responsivo às aplicações de zinco no solo em estudo, em relação à produção de biomassa, e que houve diferenças significativas entre os resultados dos tratamentos, sendo as menores médias (609,75 e 78,60 g vaso⁻¹) encontradas no tratamento que não houve aplicação de Zn (testemunha).

A dose de 4 mg kg⁻¹ foi a que promoveu o maior acúmulo de massa seca e fresca, contudo, sem diferir estatisticamente dos resultados encontrados para o tratamento com a dose de 2 mg.kg⁻¹. A aplicação da dose de 6 mg.kg⁻¹ causou uma redução significativa nos valores destes parâmetros, concordando com Malavolta et al., (1980), onde afirma que o excesso na concentração de um nutriente qualquer pode interferir em algum processo fisiológico específico, reduzindo o crescimento e o desenvolvimento das plantas.

Com o aumento da dose de Zn, houve incremento na concentração do micronutriente no solo e, com isso, o fornecimento do nutriente para a planta foi maior, comprometendo a absorção de outros elementos e, reduzindo o acúmulo de biomassa. Diante disso, o modelo quadrático foi o que melhor se ajustou ao comportamento dos dados de MF e MS (Figura 3).

Figura 3 - Efeito das diferentes doses de zinco sobre a produção de MF e MS da parte aérea das plantas de milho.



Fonte: elaborado pelo autor.

O efeito da aplicação de Zn no incremento da produção de biomassa do milho tem sido amplamente relatado na literatura (GALRÃO; MESQUITA FILHO, 1981a, 1981b). De acordo com Malavolta et al. (1991), isso ocorre pelo fato do nutriente promover maior desenvolvimento da planta, alongando o entre nó do caule com reflexo na produção biomassa. Contudo, alguns estudos relatam que doses elevadas de Zn podem causar decréscimo no acúmulo de biomassa nas plantas (SOARES, 2008). Portanto, o zinco em altas concentrações na planta, pode provocar toxidez e com isso afetar a produção de massa verde e seca.

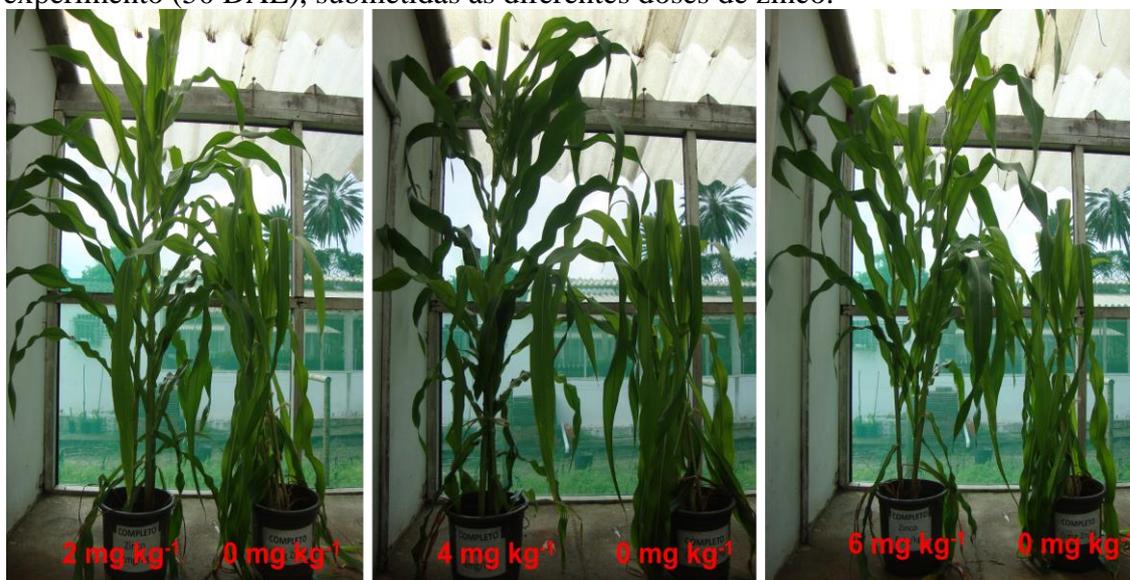
Em relação a AP, de acordo com os resultados obtidos, a maior média encontrada foi com a aplicação de 4 mg kg⁻¹ (1,46 m), porém não diferiu significativamente das doses de 2 mg kg⁻¹ (1,28 m) e 6 mg kg⁻¹ (1,20 m). A menor média foi obtida na dose 0 mg kg⁻¹, diferindo estatisticamente das demais, mostrando, dessa forma, que o milho respondeu significativamente à aplicação de doses de zinco no solo em estudo, em relação ao crescimento das plantas (Figuras 4 e 5).

Figura 4 - Diferença na altura das plantas de milho, ao final do experimento (50 DAE), submetidas às diferentes doses de zinco.



Fonte: Vanessa Ohana G. Moreira (2016).

Figura 5 - Diferença na altura das plantas de milho, em relação a testemunha, ao final do experimento (50 DAE), submetidas às diferentes doses de zinco.



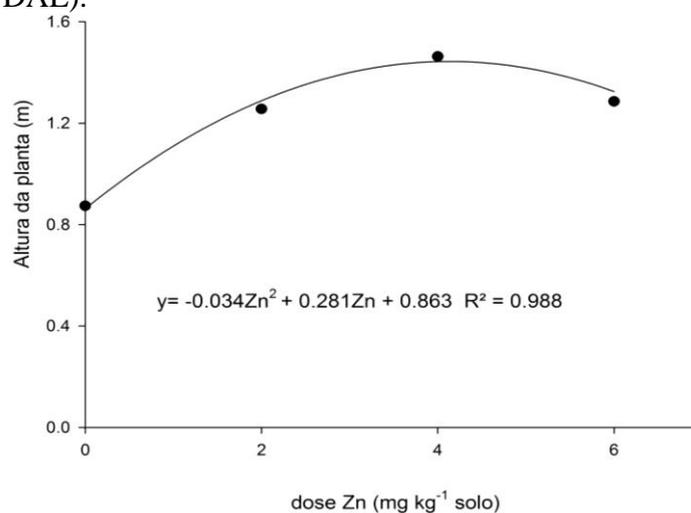
Fonte: Vanessa Ohana G. Moreira (2016).

Hernandes et al. (2009), em um experimento em vasos, também notaram decréscimo no crescimento do capim Tanzânia em função da aplicação de altas doses de Zn. Furlani e Furlani (1996), trabalhando com solução nutritiva, afirmam que a altura é a variável que melhor reflete o estresse provocado por baixos teores de zinco na planta, pelo fato do Zn ter importante função na produção de reguladores de crescimento. A

menor AP foi obtida no tratamento em que não se utilizou Zn. Contudo, houve redução neste parâmetro, mesmo que não significativa, entre a dose de 4 mg kg⁻¹ e a dose de 6 mg kg⁻¹. A hipótese para a redução é que houve um possível efeito de competição entre os nutrientes, ou seja, a absorção de algum elemento essencial foi prejudicada devido a presença em excesso de Zn, interferindo no crescimento da planta (MALAVOLTA et al., 1991). Contudo, devido à baixa diferença entre as médias, concluiu-se que foi mínimo o possível efeito competitivo entre os mesmos.

Diante dos resultados obtidos para este parâmetro, o modelo polinomial quadrático foi o melhor que se ajustou aos resultados obtidos da AP das plantas (Figura 6).

Figura 6 - Efeito das diferentes doses de zinco na AP das plantas de milho, ao final do experimento (50 DAE).



Fonte: elaborado pelo autor.

Os dados encontrados neste estudo não concordam com os de Nogueira (2016), em Latossolo Vermelho distrófico, e Soares (2003) em Nitossolo Vermelho eutrófico que trabalhando com B e Zn na cultura do milho, em solos de regiões tropicais, relatam que não houve diferenças significativas na altura das plantas quando submetidas as diferentes doses desses nutrientes. Os autores mencionam que as prováveis explicações para estes resultados são: as quantidades de B e Zn nos solos já se encontravam adequadas para as necessidades da cultura; e que o híbrido utilizado no experimento não era exigente nestes micronutrientes.

Acúmulo de macro e micronutrientes na parte aérea da planta

Na tabela 3, estão os dados referentes ao resumo da ANOVA para o acúmulo de macro e micronutrientes absorvidos do solo e concentrados na parte aérea do milho. Em relação aos tratamentos com zinco, o incremento das doses provocou diferença significativa para os teores de P e Zn acumulados.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para quantidade total de macronutrientes (N,P,K,Ca,Mg) e micronutrientes (B e Zn) absorvidos pelo milho em função das diferentes doses de Zn.

TESTE F	
Parâmetros avaliados	Experimento I
Nitrogênio	4,817ns
Fósforo	23,62**
Potássio	2,719ns
Cálcio	0,247ns
Magnésio	3,32ns
Zinco	85,23**
Boro	0,601ns

F= Estatística do teste F; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade

6.1.1 Macronutrientes e zinco

Nitrogênio (N)

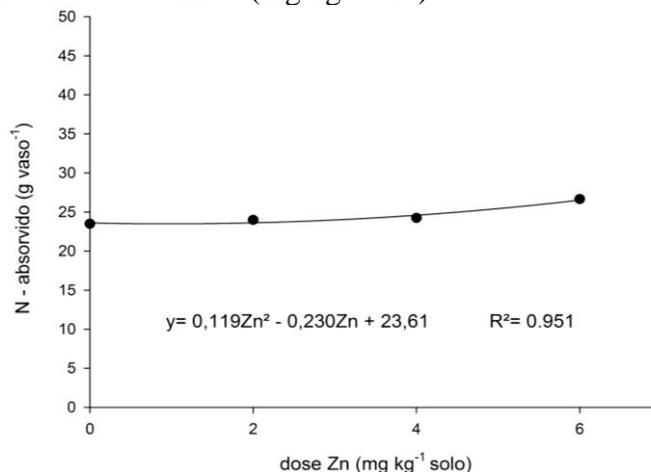
Dentre os principais nutrientes que determinam a produtividade do milho, destaca-se o N, exigido em maior quantidade pela cultura. O N atua em diversas funções fisiológicas na planta, como a divisão celular, participa de diversos componentes orgânicos das plantas, como aminoácidos, proteínas e enzimas vitais para o crescimento vegetal (MALAVOLTA et al., 1997; TAIZ; ZEIGER, 2004).

De acordo com o teste de Tukey, a 1% de probabilidade, não foi encontrada diferença significativa entre as diferentes doses de zinco e o acúmulo do N na parte aérea do milho. Evidenciando que, as doses crescentes do micronutriente não afetaram significativamente na quantidade de N absorvido pelas plantas nas condições deste estudo.

A menor média do N absorvido (23,49 g kg⁻¹) foi obtida no tratamento com aplicação da dose 0 (testemunha), e a maior média (26,65 g kg⁻¹) obtida quando aplicada a maior dose de Zn (6 mg kg⁻¹). Apesar de não ter sido constatada diferença significativa nos resultados, verificou-se que a dose de 6 mg kg⁻¹ proporcionou maior

acúmulo de N, com isso, o modelo polinomial quadrático foi o que melhor se ajustou ao comportamento dos dados (Figura 11).

Figura 7 - Acúmulo do nitrogênio na parte aérea da planta de milho (g vaso^{-1}) em função das crescentes doses de zinco (mg kg^{-1} solo).



Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados encontrados neste estudo, concordam com Prado et al., (2007) que testando interações entre a absorção de nutrientes com as doses de Zn, não encontraram diferença significativa para o acúmulo de N na parte aérea da cultura do milho, concordando com os resultados obtidos neste estudo.

El-Habbasha et al., (2013) estudando a interação entre os nutrientes N e Zn na cultura do milho, verificaram que houve efeito sinérgico entres os mesmos em todos os estágios de desenvolvimento da planta, ou seja, houve efeito positivo na combinação destes elementos. Os autores chegaram a esta conclusão através do cálculo de eficiência do uso de N pela planta, com isso, concluíram que a aplicação de Zn aumenta a absorção de N pela cultura do milho.

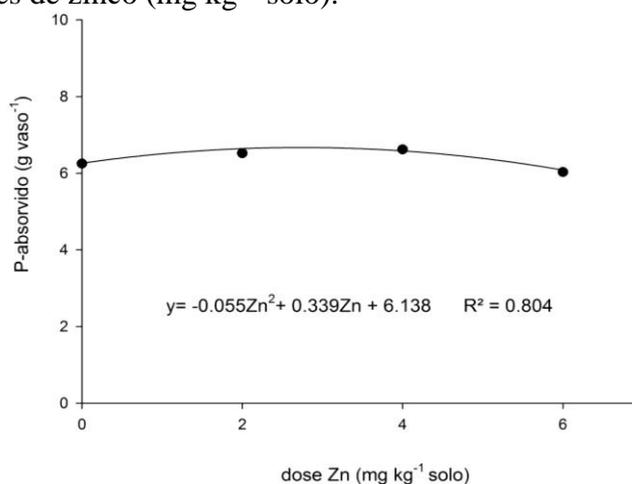
Fósforo (P)

De acordo com o teste de Tukey, a 1% de probabilidade, houve diferença significativa entre as diferentes doses de zinco e o acúmulo do fósforo (P) na parte aérea do milho. Evidenciando que, as doses crescentes do Zn influenciaram significativamente na absorção do P pelas plantas nas condições deste estudo.

A menor média do P absorvido ($6,03 \text{ g kg}^{-1}$) foi obtida no tratamento com a dose 6 mg kg^{-1} , diferindo significativamente dos demais. A maior média ($6,62 \text{ g kg}^{-1}$) foi obtida quando aplicada a dose de 4 mg kg^{-1} de Zn ($6,62 \text{ g kg}^{-1}$). Percebe-se que, o

incremento nas doses aumentou o acúmulo de P na parte aérea das plantas, contudo, na maior dose aplicada, houve redução significativa na absorção do P. Diante disso, o modelo quadrático foi o que melhor se ajustou ao comportamento dos dados (Figura 12).

Figura 8 - Acúmulo do fósforo na parte aérea da planta de milho (g vaso^{-1}) em função das crescentes doses de zinco (mg kg^{-1} solo).



Fonte: elaborado pelo autor.

Diversos são os relatos da interação P e Zn em solos tropicais. Os autores afirmam que os problemas gerados pela interação ocorrem no solo, onde a disponibilidade e a taxa de difusão de Zn são reduzidas por um elevado suprimento de P. Outros relatam que a interação ocorre na planta em função da interferência do P na absorção, translocação e utilização do Zn pela planta. De maneira geral, os efeitos do P sobre a resposta da planta ao Zn são complexos, envolvendo fenômenos distintos, que podem ocorrer separadamente ou em conjunto, dependendo da espécie e das condições ambientais (OLSEN, 1972; LONERAGAN et al., 1979; LONERAGAN & WEBB 1993; MARSCHNER, 1995).

Sabe-se que o desenvolvimento das culturas depende de vários fatores, dentre os quais a disponibilidade de nutrientes em quantidade e em equilíbrio, pois a deficiência ou a toxidez de um determinado elemento influenciam na atuação dos demais, promovendo redução na produção das culturas (SOARES, 2008).

Neste estudo, as plantas submetidas ao tratamento com a maior dose de Zn reduziram significativamente o acúmulo de P na parte aérea, mostrando que existe uma interação negativa entre estes elementos, quando o Zn excede a sua concentração no solo. Portanto, o comportamento dos mesmos muda em função das suas

disponibilidades no meio. Segundo Malavolta et al. (1997) o excesso de Zn faz diminuir a absorção de P.

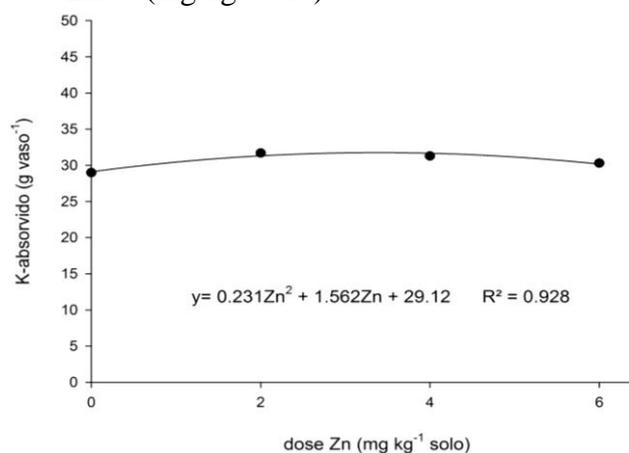
A menor concentração de P foi encontrada nos tratamentos submetidos à dose de 6 mg kg⁻¹ de Zn, no qual houve menor produção de MF e MS, e menor crescimento das plantas (AP), mesmo com a maior acúmulo de N. Sabe-se que o P desempenha importante papel como ativador enzimático, contribuindo para funções vitais que possibilitam o maior acúmulo de matéria seca do produto agrícola (PRADO, 2008). É um nutriente que mais limita a produção das culturas nos solos que predominam em regiões tropicais. Por tanto, a menor absorção deste nutriente pela planta pode interferir no crescimento vegetal.

Potássio (K)

Após o N, o potássio (K) é o nutriente requerido em maiores quantidades pelas culturas (MARTINS, 2014). De acordo com o teste de Tukey, a 1% de probabilidade, os resultados para o acúmulo de K na parte aérea das plantas não diferiram significativamente entre as diferentes doses de zinco. Por tanto, as doses crescentes de Zn não influenciaram na absorção do K pelas plantas neste estudo.

A menor média do K absorvido (29,0 g kg⁻¹) foi obtida nos tratamentos com a dose 0 mg kg⁻¹ e a maior média (31,70 g kg⁻¹) obtida quando aplicada a dose de 2 mg kg⁻¹ de Zn, contudo não diferiram significativamente entre si e dos demais tratamentos. O modelo quadrático foi o que melhor se ajustou ao comportamento dos resultados de acúmulo de K na planta (Figura 13).

Figura 9 - Acúmulo do potássio na parte aérea da planta de milho (g vaso⁻¹) em função das crescentes doses de zinco (mg kg⁻¹ solo).



Fonte: elaborado pelo autor.

A interação Zn e K é pouco relatada na literatura. Rozane et al., (2009) e Prado et al. (2008) testando doses de Zn em milho, obtiveram aumento significativo no acúmulo de K nas plantas com o aumento das doses do micronutriente, discordando dos resultados encontrados neste estudo.

Cálcio (Ca)

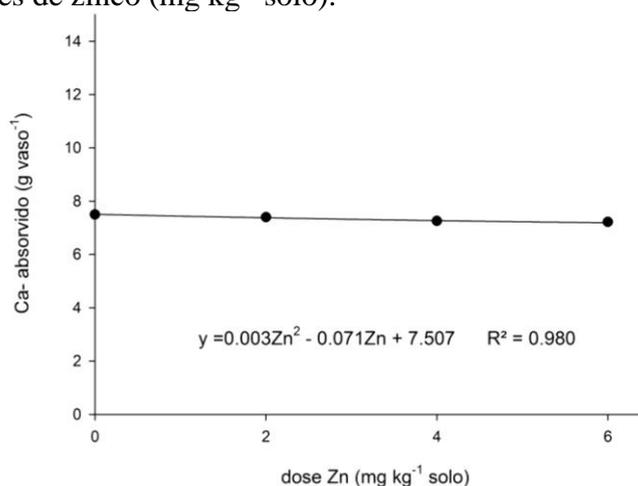
Os resultados para o acúmulo de Ca na parte aérea das plantas mostram que não houve diferença significativa entre as diferentes doses de zinco. Por tanto, as doses crescentes de Zn não influenciaram na absorção do Ca pelas plantas, nas condições deste estudo.

A menor média do Ca absorvido ($7,22 \text{ g kg}^{-1}$) foi obtida no tratamento com a dose 6 mg kg^{-1} e a maior média ($7,50 \text{ g kg}^{-1}$) obtida quando aplicada a dose de 0 mg kg^{-1} de Zn, contudo, não diferiram significativamente entre si e dos demais tratamentos.

Taiz e Zeiger (2013) afirmam que o Ca participa como ativador enzimático no processo de crescimento da membrana plasmática das células, isto através de bombas de Ca^{+2} situadas entre o tonoplasto e a membrana, portanto, com o aumento da absorção de Ca pode-se levar a ganhos na produção de massa seca das plantas. Como já mencionado, na maior dose aplicada neste estudo, houve menor absorção de Ca e, com isso, menor AP e acúmulo de MS e MF pelas plantas, concordando com a citação dos autores mencionados.

Prado et al., (2007) obtiveram redução no acúmulo de Ca quando doses maiores de Zn foram aplicadas. Esta interação competitiva pode estar relacionada com a precipitação de Zn na superfície radicular. Percebe-se que, houve redução no acúmulo de Ca nas plantas, mesmo que não significativo, com o incremento das doses de Zn. Diante disso, o modelo quadrático foi o que melhor se ajustou ao comportamento dos resultados de acúmulo de Ca nas plantas (Figura 14).

Figura 10 - Acúmulo do cálcio na parte aérea da planta de milho (g vaso^{-1}) em função das crescentes doses de zinco (mg kg^{-1} solo).



Fonte: elaborado pelo autor.

Estes resultados concordam com os obtidos por Nogueira (2016), onde a aplicação do Zn reduziu a absorção de Ca. O cálcio pode apresentar interação antagônica com o zinco, interferindo na absorção do mesmo ou vice-versa, como cita Olsen (1972). Possivelmente, essa interferência seja oriunda do efeito da inibição competitiva de absorção entre cátions de mesma valência.

Resultados semelhantes foram encontrados por Paiva (2003) em plantas de cedro, onde verificou redução no acúmulo de Ca nas raízes, caules e folhas da planta, em consequência de doses crescentes de Zn. Porém, devido não haver diferença significativa entre as médias obtidas, conclui-se que foi mínima a competição entre estes elementos nas condições deste estudo.

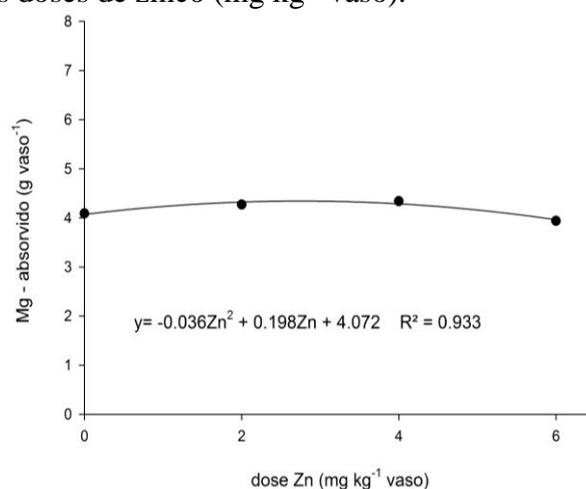
Magnésio (Mg)

Não houve diferença significativa ($P \leq 0,01$) entre as diferentes doses de Zn para o acúmulo de Mg na parte aérea do milho. Por tanto, as doses crescentes de Zn não influenciaram na absorção do Mg pelas plantas neste estudo.

A menor média do Mg acumulado nas plantas ($3,94 \text{ g kg}^{-1}$) foi obtida no tratamento com a dose 6 mg kg^{-1} e a maior média ($4,34 \text{ g kg}^{-1}$) obtida quando aplicada a dose de 4 mg kg^{-1} de Zn, contudo, não diferiram significativamente entre si e dos demais tratamentos. No tratamento com a maior dose aplicada, houve redução, não significativa, no acúmulo de Mg nas plantas. Diante disso, o modelo quadrático foi o

que melhor se ajustou ao comportamento dos resultados de acúmulo deste elemento nas plantas de milho (Figura 15).

Figura 11 - Acúmulo do magnésio na parte aérea da planta de milho (g vaso^{-1}) em função das crescentes doses de zinco (mg kg^{-1} vaso).



Fonte: elaborado pelo autor.

Sadana e Takkar (1983) ao estudarem o efeito do magnésio na absorção e translocação de Zn em mudas de arroz, observaram redução na absorção de zinco pelas raízes, com o aumento da concentração de Mg na solução. Segundo os autores, o magnésio possui valência, grau de hidratação e raio iônico semelhantes ao zinco (KABATA PENDIAS; PENDIAS, 1984), podendo a absorção desse nutriente ser negativamente afetada quando doses crescentes de Zn forem aplicadas, ou vice-versa (MOREIRA et al., 2003).

Paiva (2003) observou redução no acúmulo de Mg em diferentes partes das plantas de cedro com o aumento de doses de zinco, sugerindo para explicar tal fato, a existência de uma competição iônica entre estes elementos, devido aos mesmos possuírem a mesma valência, interferindo na absorção pelas plantas.

Tais resultados concordam com os resultados obtidos neste experimento para as plantas de milho quando submetida a maior dose de Zn. Entretanto, devido não haver diferença significativa entre as médias obtidas, conclui-se que foi mínima a competição entre estes elementos nas condições deste experimento.

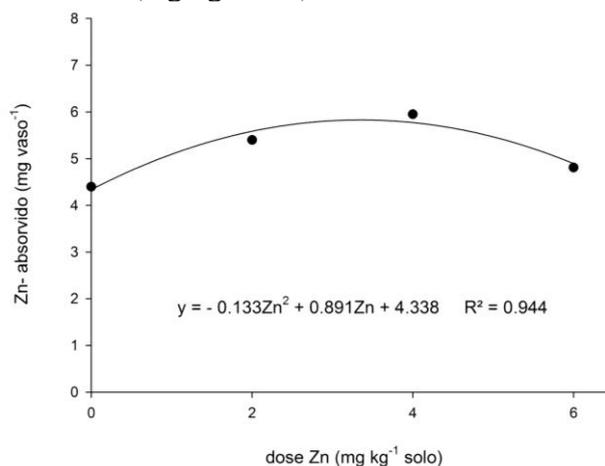
6.1.2 Micronutrientes e zinco

Zinco (Zn)

O acúmulo de Zn na parte aérea do milho foi influenciado significativamente ($P \leq 0,01$) com o incremento das doses de Zn. Por tanto, nas condições deste estudo, as doses crescentes de Zn influenciaram na absorção do mesmo pelas plantas.

A menor média do Zn acumulado nas plantas ($4,44 \text{ mg kg}^{-1}$) foi obtida no tratamento com a dose 0 mg kg^{-1} e a maior média ($5,95 \text{ mg kg}^{-1}$) obtida quando aplicada a dose de 4 mg kg^{-1} . Houve redução significativa no acúmulo de Zn na parte aéreas das plantas quando as mesmas foram submetidas ao tratamento com a dose de 6 mg kg^{-1} , na qual os resultados não diferiram estatisticamente da testemunha. Portanto, o comportamento quadrático foi o melhor que se ajustou para os resultados do Zn absorvido pelas plantas (Figura 16).

Figura 12 - Acúmulo do zinco na parte aérea da planta de milho (mg vaso^{-1}) em função das crescentes doses de zinco (mg kg^{-1} solo).



Fonte: elaborado pelo autor.

Neste estudo, as plantas submetidas à dose 6 mg kg^{-1} de Zn tiveram menor AP e menor acúmulo de MS e MF, e como já mencionado, menor acúmulo de Zn na parte aérea das plantas. Devido a redução no crescimento e na produção de biomassa do milho, evidencia-se a ocorrência de efeito depressivo sobre as plantas, para estas variáveis, com a aplicação da maior dose de Zn.

A ocorrência de toxidez de Zn é relatada por Silva et al., (2010) onde trabalhando com milheto submetido a diferentes doses deste micronutriente, em Latossolo Vermelho Distrófico, observou que as maiores doses diminuíram o

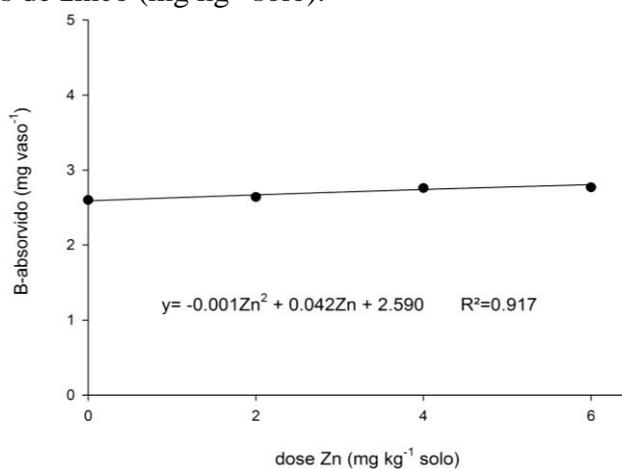
crescimento e a produção de matéria seca das plantas. Contudo, nas plantas, não foram identificados outros sintomas de toxidez, como por exemplo, o aparecimento de um pigmento pardo-avermelhado nas folhas (Malavolta et al.,1997). Diante disso, concluiu-se que a variedade de milho utilizada neste experimento é pouco tolerante ao excesso de zinco, afetando, principalmente, o crescimento e o acúmulo de biomassa.

Boro (B)

Não houve diferença significativa ($P \leq 0,01$) entre as diferentes doses de Zn para o acúmulo de B na parte aérea do milho. Por tanto, nas condições deste estudo, as doses crescentes de Zn não influenciaram significativamente na absorção do B pelas plantas.

A menor média do B acumulado nas plantas ($2,60 \text{ mg kg}^{-1}$) foi obtida no tratamento com a dose 0 mg kg^{-1} e a maior média ($2,77 \text{ mg kg}^{-1}$) obtida quando aplicada a dose de 6 mg kg^{-1} de Zn, contudo não diferiram significativamente entre si e dos demais tratamentos. Diante dos resultados, o comportamento quadrático foi o melhor que se ajustou aos dados obtidos neste estudo para o B absorvido pelas plantas (Figura 17).

Figura 13 - Acúmulo do boro na parte aérea da planta de milho (mg vaso^{-1}) em função das crescentes doses de zinco (mg kg^{-1} solo).



Fonte: elaborado pelo autor.

Vários estudos demonstram a interação entre B e Zn em diversas culturas. Moreira et al., (2003) observaram interação positiva entre a absorção de zinco e boro em cafeeiros. Nogueira (2016) e Jamami (2001) obtiveram interação significativa e positiva entre a adubação destes micronutrientes em milho, havendo aumento na absorção de B

com a aplicação de Zn. Araújo & Silva (2012), trabalhando em casa de vegetação com algodoeiro, demonstram que o acúmulo de B na parte aérea das plantas foi influenciado pelas concentrações de Zn, de maneira que as maiores concentrações de Zn no solo proporcionaram maior absorção e extração de B pelas plantas.

Nas condições deste estudo, não foram encontradas diferenças significativas na interação entre estes micronutrientes, corroborando com os dados encontrados por Jamami et al., (2006) que estudando a interação de B e Zn em milho, cultivado em Latossolo Vermelho, não constataram elevação no acúmulo desses nutrientes e interação entre as doses de B e de Zn.

6.2 Experimento II – Aplicações de boro

Produção de Massa Fresca e Seca e Altura da planta

De acordo com os resultados do teste F apresentados na tabela 2, a aplicação de doses crescentes de boro causou diferenças significativas na produção de massa fresca (MF) e seca (MS) e na altura das plantas (AP).

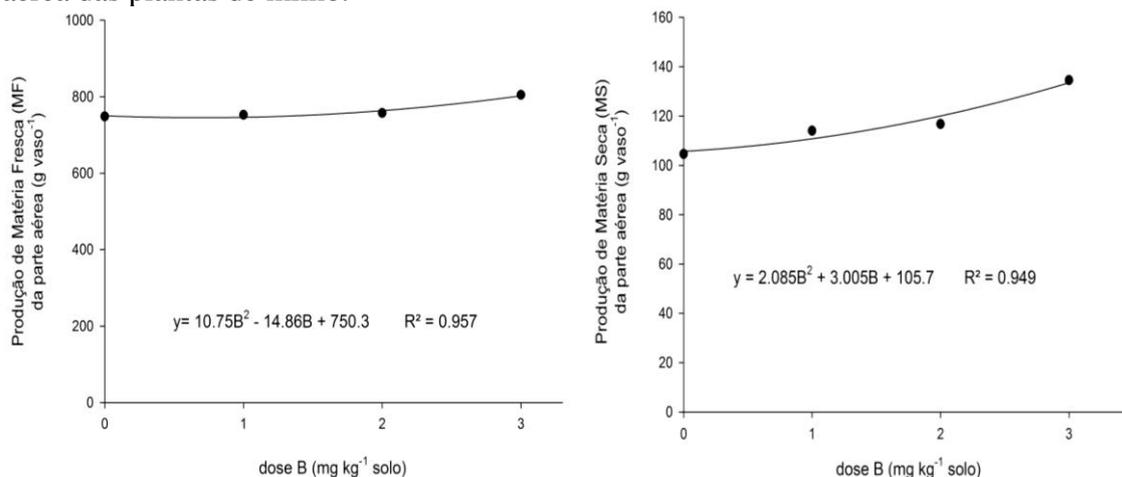
Tabela 4 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para os parâmetros: MF, MS e AP do experimento II

Parâmetros avaliados	TESTE F
	Experimento II
Massa Fresca	67,25**
Massa Seca	14,14**
Altura das plantas	9,15**

F= Estatística do teste F; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Segundo os dados, observa-se que o aumento das doses de boro promoveu um aumento linear e significativo na MF e MS. Contudo, o tratamento com a aplicação da maior dose (3 mg kg⁻¹) foi a que promoveu maior acúmulo de MF e MS. As menores médias deste parâmetros foram obtidas quando não se aplicou o B. Dessa forma, fica claro que houve respostas do milho às aplicação de B, no solo em estudo, em relação ao acúmulo de MS e MF. Com isso, o modelo linear foi o melhor que se ajustou aos dados para MF e o modelo quadrático para os resultados de MS (Figura 7).

Figura 14 - Efeito das diferentes doses de boro sobre a produção de MF e MS da parte aérea das plantas de milho.



Fonte: elaborado pelo autor.

Houveram diferenças significativas para estes parâmetros entre a menor (1 mg kg⁻¹) e maior dose (3 mg kg⁻¹) aplicada, obtendo-se maior acúmulo de biomassa da parte aérea das plantas quando submetidas ao tratamento com a maior dose. Sabe-se que a faixa limiar entre toxidez e adequabilidade das doses de boro é estreita, porém, segundo Chapman et al. (1997), existem trabalhos que colocam em dúvida essa teoria, mostrando que não há evidência que suporte a idéia da faixa estreita entre deficiência e toxidez de B no solo, indicando assim, a possibilidade de se testar doses de B mais elevadas para cultura do milho sem a presença de toxidez.

Em goaibeira, Salvador et al. (2003) trabalhando com diversas doses de B, não obtiveram diferença significativa na produção de massa seca entre os tratamentos, demonstrando, também, que a faixa entre eficiência e toxidez do B não é estreita, como define o dogma para a maioria das culturas. Leite et al., (2003) trabalhando com milho em casa de vegetação, também obtiveram resultados mostrando que a faixa entre deficiência e toxicidade de B na cultura do milho não é tão estreita como tem sido comumente reportado.

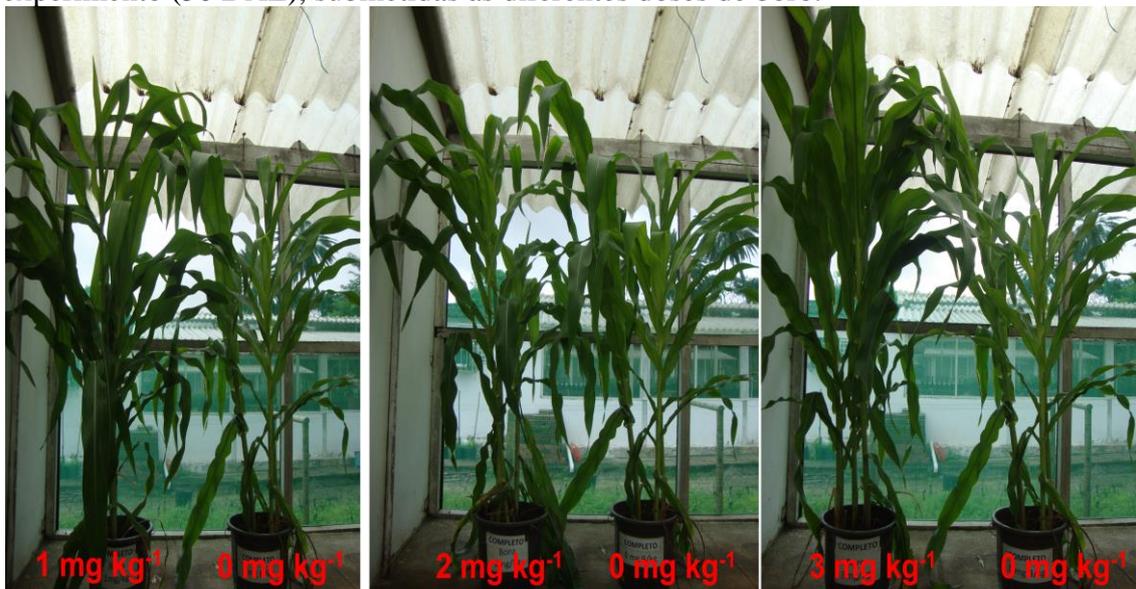
Para os resultados da AP das plantas, houve crescimento significativo das plantas com a aplicação de 3 mg kg⁻¹, diferindo estatisticamente das demais. A menor média foi obtida no tratamento com a dose 0 mg kg⁻¹, contudo, não diferiu dos tratamentos com as doses de 1 mg kg⁻¹ e 2 mg kg⁻¹ (Figuras 8 e 9).

Figura 15 - Diferença na AP das plantas de milho, ao final do experimento (50 DAE), submetidas às diferentes doses de boro.



Fonte: Vanessa Ohana G. Moreira

Figura 16 - Diferença na AP das plantas de milho, em relação à testemunha, ao final do experimento (50 DAE), submetidas às diferentes doses de boro.

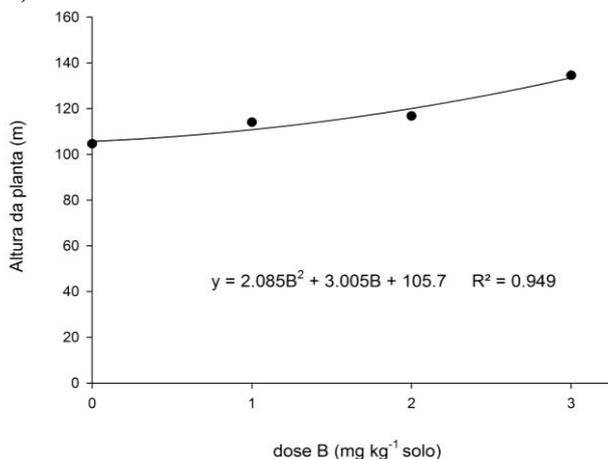


Fonte: Vanessa Ohana G. Moreira

O aumento linear nos valores obtidos destes parâmetros, com o incremento das doses de B (Figura 10), pode ser explicado pela deficiência deste nutriente no solo em estudo, comprovando assim solo em estudo responde positivamente no crescimento do milho quando aplicada doses de B, e a importância das funções do elemento na planta, como o metabolismo de carboidratos e o transporte de açúcares através das membranas, a síntese de ácidos nucleicos (RNA e DNA) e de fitohormônios, a formação de paredes

celulares, a divisão celular e o desenvolvimento de tecidos, que auxiliam no crescimento vegetativo (BORKERT, 1989; DECHEN; HAAG; CARMELLO, 1991)

Figura 17 - Efeito das diferentes doses de boro na AP das plantas de milho, ao final do experimento (50 DAE).



Fonte: elaborado pelo autor.

Acúmulo de macro e micronutrientes na parte aérea da planta.

Na tabela 5, estão os dados referentes ao resumo da ANOVA para o acúmulo de macro e micronutrientes absorvidos do solo e concentrados na parte aérea do milho. Em relação aos tratamentos com zinco, o incremento das doses provocou diferença significativa ($P \leq 0,01$) para os teores de P e Zn acumulados. Em relação ao experimento com boro, houve diferença significativa, ($P \leq 0,01$), para os teores acumulados de N, P, K, Mg e Zn e B.

Tabela 5 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a quantidade total de macronutrientes (N, P K, Ca, Mg) e micronutrientes (B e Zn) absorvidos pelo milho em função das diferentes doses de B e Zn.

Parâmetros avaliados	Doses – Boro
Nitrogênio	9,741**
Fósforo	10,21**
Potássio	12,97**
Cálcio	2,366ns
Magnésio	25,11**
Zinco	42,81**
Boro	9,89**

F = Estatística do teste F; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

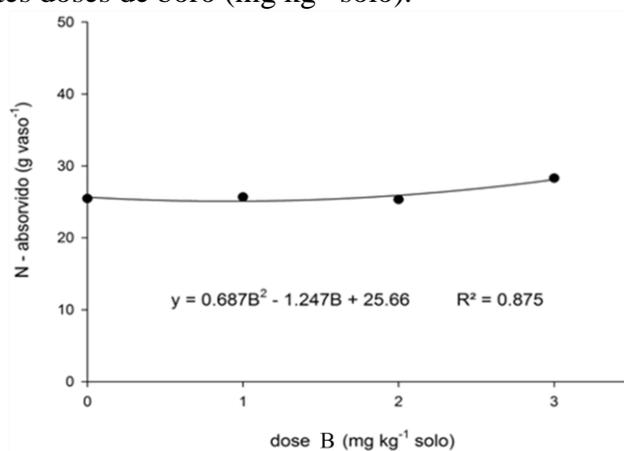
6.2.1 Macronutrientes e boro

Nitrogênio (N)

De acordo com os dados obtidos, houve diferença significativa ($P \leq 0,01$) entre as diferentes doses aplicadas de boro e o acúmulo do N na parte aérea do milho. A menor média do N absorvido ($24,47 \text{ g kg}^{-1}$) foi obtida no tratamento que não foi aplicado B (0 mg kg^{-1}). A maior média ($28,30 \text{ g kg}^{-1}$) foi obtida quando aplicada a maior dose (3 mg kg^{-1}), diferindo estatisticamente de todos os outros tratamentos. As doses de 0, 1 e 2 mg kg^{-1} , não diferiram entre si.

Houve maior acúmulo de N na parte aérea das plantas submetidas à maior dose de boro. Uma hipótese para este fato é que, como o aumento das doses de B promoveu maior crescimento das plantas, houve, também, uma maior necessidade das mesmas em absorver nutrientes e água. O N, que estava disponível para ser extraído do solo pelas raízes das plantas, fornecidos através da adubação mineral, foi absorvido em maior quantidade. O modelo quadrático foi o que melhor se ajustou ao comportamento destes dados (Figura 18).

Figura 18 - Acúmulo do nitrogênio na parte aérea da planta de milho (g vaso^{-1}) em função das crescentes doses de boro (mg kg^{-1} solo).



Fonte: elaborado pelo autor.

Esses resultados corroboram com os obtidos por Mozafart (1990) em milho, Araújo & Silva (2012) em algodoeiro e Lopes-Lefebvre et al., (2002) em plantas de tabaco, que observaram efeito positivo no acúmulo do N com o aumento das doses de B. Os autores também observaram que, além do suprimento de B estimular a assimilação e utilização do N pelas plantas, houve um progressivo acúmulo de

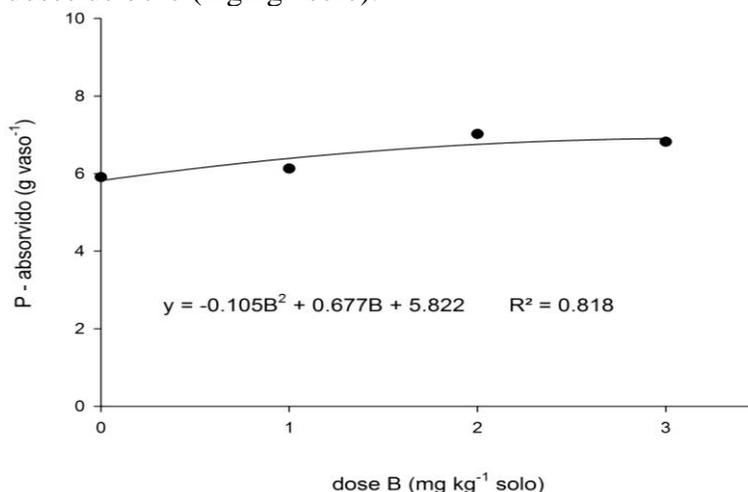
aminoácidos e proteínas, o que impulsionou a produção de matéria seca pelas plantas. Neste estudo, como já foi mencionado, na dose maior de B (3 mg kg^{-1}), houve também, maior acúmulo de MF e MS.

Fósforo (P)

Houve diferença significativa ($P \leq 0,01$) entre as diferentes doses aplicadas de boro e o acúmulo do P na parte aérea das plantas. A menor média do P absorvido ($5,91 \text{ g kg}^{-1}$) foi obtida no tratamento que não foi aplicado B (0 mg kg^{-1}). A maior média ($7,02 \text{ g kg}^{-1}$) foi obtida quando aplicada a dose de 2 mg kg^{-1} , contudo, não diferiu estatisticamente do tratamento com a dose de 3 mg kg^{-1} ($6,82 \text{ g kg}^{-1}$). A diferença significativa ocorreu entre o tratamento que não foi aplicado B e o tratamento com a maior dose (3 mg kg^{-1}).

Com a aplicação da maior dose de Zn, houve redução, não significativa, no acúmulo de P nas plantas, portanto, o modelo quadrático se ajustou melhor a estes dados (Figura 19).

Figura 19 - Acúmulo do fósforo na parte aérea da planta de milho (g vaso^{-1}) em função das crescentes doses de boro (mg kg^{-1} solo).



Fonte: elaborado pelo autor.

Araújo & Silva (2012) trabalhando com a absorção de P em relação a doses de B pela cultura do algodoeiro, verificaram que o acúmulo de P na parte aérea foi menor quando as plantas não foram submetidas à aplicação do B. Esses resultados foram semelhantes aos encontrados por Esringu et al. (2011) para a cultura do morango e por Dursun et al. (2010) para as culturas do tomate, pepino e pimenta.

A interação positiva e significativa entre estes elementos é decorrente do B auxiliar o transporte do P através das membranas. Muitos casos de deficiência de P podem ser reflexos da carência de B nas culturas (Salvador et al., 2003).

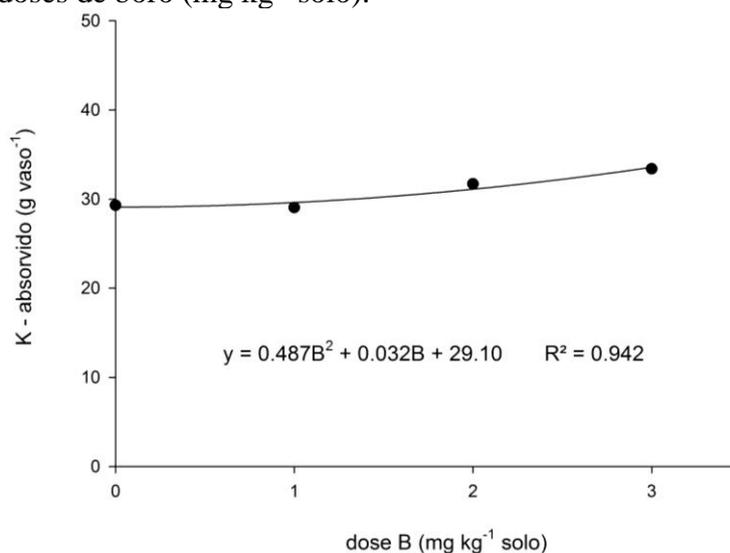
Potássio (K)

Houve diferença significativa ($P \leq 0,01$) entre as diferentes doses aplicadas de boro e o acúmulo de K na parte aérea das plantas. A menor média de K absorvido pelas plantas ($29,05 \text{ g kg}^{-1}$) foi obtida quando aplicado a dose de 1 mg kg^{-1} de B, contudo, diferiu estatisticamente apenas do tratamento com a dose de 3 mg kg^{-1} , no qual foi obtido a maior média entre os tratamentos ($33,4 \text{ g kg}^{-1}$).

Trabalhos que envolvam a interação entre B e K são escassos na literatura. Entretanto, Echer et al., (2009) trabalhando com diferentes doses de B e K na cultura da batata-doce, verificaram um efeito sinérgico entre os nutrientes, pois adição de B potencializou a utilização de K pela planta, resultando em maior produtividade. Davis et al. (2003) na cultura do tomate, demonstraram que o aumento do fornecimento de B aumentou o acúmulo e translocação de K, o mesmo foi verificado por Schon & Blevins (1990) em soja. A absorção de K aumenta com o fornecimento de B e quase não ocorre na sua ausência. Tem sido proposto que o B ativar a bomba de H^+ , promovendo a hiperpolarização da plasmalema, e subseqüentemente, a absorção de K, como forma para manutenção do equilíbrio eletroquímico celular (Schon et al., 1990).

Neste estudo, nos tratamentos com as doses de 2 e 3 mg kg^{-1} obtiveram-se o maior acúmulo de K, concordando com os resultados encontrados pelo autores mencionados, onde o aumento da quantidade de B no solo, aumentou consideravelmente a absorção de K pelas plantas (Figura 20).

Figura 20 - Acúmulo do potássio na parte aérea da planta de milho (g vaso^{-1}) em função das crescentes doses de boro (mg kg^{-1} solo).



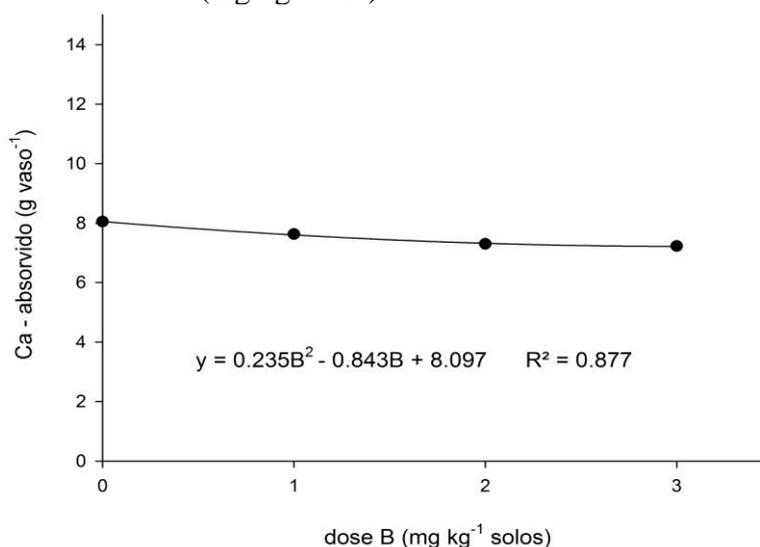
Fonte: elaborado pelo autor.

Cálcio (Ca)

Para o desenvolvimento das gemas e das extremidades das raízes, o cálcio e o boro são dois nutrientes de fundamental importância. Sem estes, tanto as novas brotações como o crescimento de novas raízes são paralisados (MALAVOLTA, 1980).

As doses crescentes de B não influenciaram estatisticamente na absorção do Ca pelas plantas neste estudo. A menor média do Ca absorvido ($7,21 \text{ g kg}^{-1}$) foi obtida no tratamento com a dose 2 mg kg^{-1} e a maior média ($8,05 \text{ g kg}^{-1}$) obtida quando aplicada a dose de 0 mg kg^{-1} de B, contudo não diferiram estatisticamente entre si e dos demais tratamentos. Percebe-se que houve redução no acúmulo de Ca nas plantas, mesmo que não significativo, com o incremento das doses de B, da mesma forma que ocorreu no experimento com as doses de Zn. Com isso, o modelo quadrático foi o que melhor se ajustou ao comportamento dos dados de acúmulo de Ca nas plantas (Figura 21).

Figura 21 - Acúmulo do cálcio na parte aérea da planta de milho (g vaso^{-1}) em função das crescentes doses de boro (mg kg^{-1} solo).



Fonte: elaborado pelo autor.

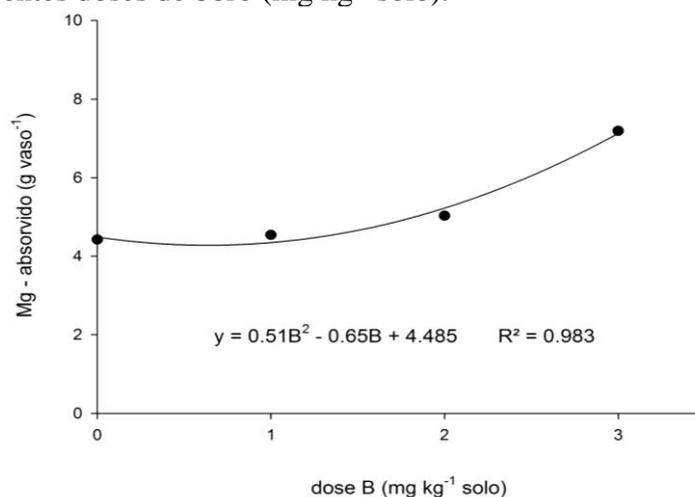
Santos (2013) estudando o efeito da aplicação foliar de cálcio e boro em pré e pós-floração, na cultura da soja, em relação aos componentes de produção: número de vagens por planta e número de grãos por vagem, observou que não houve efeito significativo nos tratamentos, ou seja, a aplicação de doses crescentes de B e Ca não promoveu aumento da produção da planta em nenhum estágio avaliado pelo autor.

Os resultados deste estudo, discordam dos resultados de Penalosa et al. (1987) no qual citam que, a deficiência de boro acarreta na diminuição significativa do teor de cálcio na folha, e de Yamauchi et al. (1986) onde verificaram que a deficiência de B induziu a diminuição de Ca na fração pectina da parede celular em folhas de tomate.

Magnésio (Mg)

Análises estatísticas para os teores foliares de Mg mostram que houve interação significativa no acúmulo de Mg na planta em função das doses de B. A menor média do Mg absorvido ($4,42 \text{ g kg}^{-1}$) foi obtida no tratamento que não foi aplicado B (0 mg kg^{-1}). A maior média ($7,19 \text{ g kg}^{-1}$) foi obtida quando aplicada a maior dose (3 mg kg^{-1}), diferindo estatisticamente de todos os outros tratamentos. As doses de 0, 1 e 2 mg kg^{-1} , não diferiram entre si. Com isso, percebe-se que houve aumento do acúmulo de Mg na parte aérea do milho com o aumento das doses de B, sendo que o modelo quadrático foi o que melhor se ajustou aos resultados (Figura 22).

Figura 22 - Acúmulo do magnésio na parte aérea da planta de milho (g vaso^{-1}) em função das crescentes doses de boro (mg kg^{-1} solo).



Fonte: elaborado pelo autor.

Reinbott & Blevins (2008) estudando os efeitos de boro e magnésio na produção da cultura da soja, verificaram que as aplicações de B e Mg, separadamente, não influenciaram na produção das plantas. No entanto, a combinação B + Mg resultou no aumento da produção de soja, aumento no número de vagens e ramos na planta, ao longo de um período de dois anos.

6.2.3 Micronutrientes e boro

Os dados referentes as médias dos valores obtidos dos teores de zinco e boro acumulados na parte aérea do milho nos tratamentos com as diferentes doses de boro estão expostos na tabela 9.

Tabela 6 - Média dos valores de zinco e boro (mg vaso^{-1}) avaliados em função das diferentes doses de boro.

Parâmetros avaliados	Doses – boro			
	0 mg kg^{-1}	1 mg kg^{-1}	2 mg kg^{-1}	3 mg kg^{-1}
Zinco	6,05c	6,53b	6,69ab	6,85a
Boro	2,50b	2,62b	2,59b	3,49a

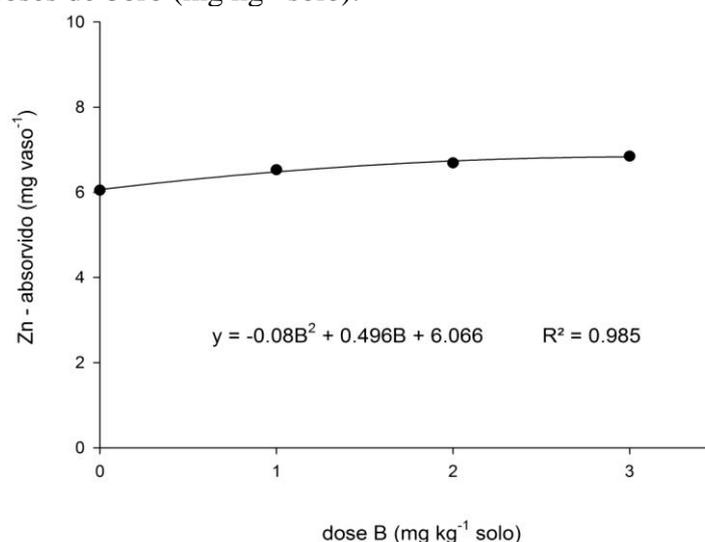
Médias seguidas de letras iguais nas linhas são estatisticamente iguais, ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Tukey

Zinco (Zn)

A absorção de Zn foi influenciada estatisticamente pelas doses crescentes de B. A menor média do Zn absorvido ($6,05 \text{ mg kg}^{-1}$) foi obtida no tratamento com a dose 0

mg kg⁻¹ e a maior média (6,85 mg kg⁻¹) obtida quando aplicada a dose de 3 mg kg⁻¹, contudo, não diferiram significativamente entre si e dos demais tratamentos. Percebe-se que, houve aumento no acúmulo de Zn nas plantas, com o incremento das doses de B, ou seja, houve efeito sinérgico na interação B e Zn, pois a maior dose de B proporcionou maior acúmulo de Zn na parte aérea do milho. Diante disso, o modelo quadrático foi o que melhor se ajustou ao comportamento dos dados de acúmulo de Zn nas plantas em função das doses de B (Figura 23).

Figura 23 - Acúmulo de zinco na parte aérea da planta de milho (g vaso⁻¹) em função das crescentes doses de boro (mg kg⁻¹ solo).



Fonte: elaborado pelo autor.

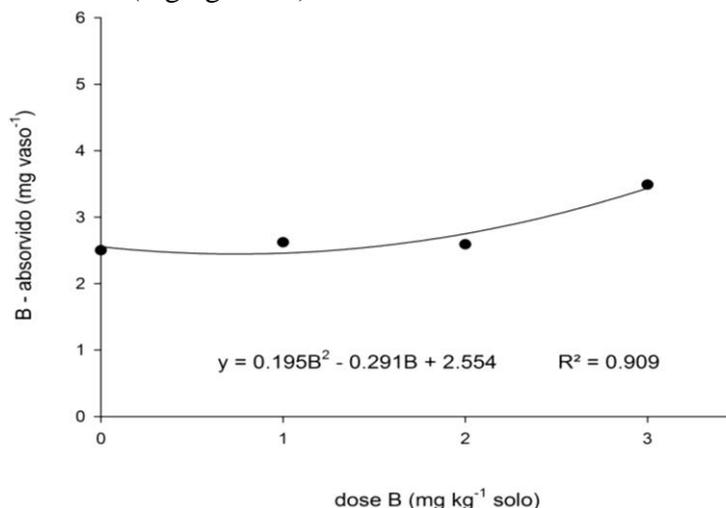
A interação entre boro e zinco é relatada por Malavolta (1980). O autor observou que o aumento da produção de massa seca do cafeeiro ocorria com o aumento das doses de zinco apenas quando se elevava o teor de boro no solo. Ou seja, a resposta ao zinco dependia de um teor mínimo de boro no solo. Este mesmo fenômeno também foi relatado para a cultura do tabaco, cujo elevada concentração de B proporcionou aumento no acúmulo de Zn na raiz (López-Lefebvre et al. 2002).

Boro (B)

A absorção de B pelas plantas de milho diferiu estatisticamente apenas no tratamento no qual foi aplicado 3 mg kg⁻¹ de B. A menor média do B absorvido (2,50 mg kg⁻¹) foi obtida no tratamento com a dose 0 mg kg⁻¹ e a maior média (3,49 mg kg⁻¹) obtida quando aplicada a dose de 3 mg kg⁻¹. Os tratamentos com as doses de 0, 1 e 2 mg kg⁻¹ não diferiram estatisticamente entre si

O aumento das doses de B promoveu maior acúmulo do nutriente na parte aérea das plantas. O modelo quadrático foi o que melhor se ajustou aos resultados encontrados (Figura 22).

Figura 24 - Acúmulo de boro na parte aérea da planta de milho (g vaso^{-1}) em função das crescentes doses de boro (mg kg^{-1} solo).



Fonte: elaborado pelo autor.

Na planta de milho, o boro é transportado pelo xilema, através do fluxo transpiratório, até um determinado órgão da planta onde permanece imóvel, não se redistribuindo para outras partes. Com isso, os sintomas de deficiência surgem inicialmente nas folhas novas, como por exemplo, o decréscimo no alongamento foliar e a menor expansão das folhas, o que não ocorreu no decorrer deste estudo, como já mencionado. Não foram observados sintomas de toxidez no decorrer do experimento, ou seja, não houve evidências que a maior doses de B provocou danos ao crescimento das plantas.

7 CONCLUSÃO

- 1- O aumento das doses de zinco afetou significativamente o crescimento, a produção de matéria fresca e seca da parte aérea das plantas e o acúmulo de P e Zn.
- 2- Houve redução significativa no crescimento e produção de matéria fresca e seca nas plantas submetidas ao tratamento com a dose de 6 mg kg^{-1} de zinco.

3- As doses crescentes de boro promoveram aumento linear e significativo no crescimento das plantas e no acúmulo de massa verde e seca, afetando significativamente a absorção de todos os nutrientes analisados, com exceção do Ca.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C.A.; LOPES, A.S.; SANTOS, G.C.G.; Fertilidade do solo – SBCS, Viçosa – Minas Gerais. 2007. Eds Novais, R.F.; Alvarez, V.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F.,; Cantaretti, R.B.; Neves, J.C.L. 2007.
- ALEXANDRE, J.R.; OLIVEIRA, M.L.F. SANTOS, T.C.; CANTON, G.C.; CONCEIÇÃO, J.M.; EUTRÓPIO, J.F.; CRUZ, Z.M.A.; DOBBS, L. B.; RAMOS, A.C.; Zinco e ferro: micronutrientes contaminantes. **Natureza Online**. 2012
- ARAÚJO, G.A.A; SILVA, A.A; THOMAS, A.; ROCHA, P.R.R.; Mistura de herbicidas com adubo molibdênio na cultura do feijão. **Planta Daninha**. Viçosa, v. 26. n.1 , p. 237- 247. 2008.
- ARAÚJO, E de O.; SILVA, M. A. C. da; Efeito de doses de boro e zinco na absorção de nitrogênio e fósforo pelo algodoeiro em cultivo hidropônico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. .7, n.4, p.574-579, out.-dez., 2012. Recife, PE
- ARAÚJO, E. de O; SILVA, M.A.C da.; Interação boro e zinco no crescimento, desenvolvimento e nutrição do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. V.7, p. 720 – 727. Recife, 2012.
- BARROS, J.F.C.; CALADO, J.C.; A CULTURA DO MILHO. Texto de apoio para unidades curriculares de sistemas e tecnologias agropecuárias, tecnologias do solo e das culturas. **Noções básicas de agricultura e fundamentos de agricultura geral**. Évora. 2014.
- BASSO, C. J.; SANTI, A.L.; LAMEGO, F.P.; GIROTTO, E.; Aplicações foliar de manganês em soja transgênica tolerante ao glifosato. **Ciência Rural**. Vol 41. n. 10. Santa Maria. 2011.
- BALDO, M.N.; Comportamento anatômico, fisiológico e agrônômico do milho submetido a estresses de ambiente em diferentes estádios fenológicos. Dissertação de Mestrado. Piracicaba. 2007.
- BARKER, A.V.; PILBEAM, D.J.; Handbook of plant nutrition. 2ed. Nova York. 2015.
- BERGMANN, W. Nutritional disorders of plants: development, visual and analytical diagnosis. Stuttgart: **Gustav Fisher Verlag**, 1992. 741 p
- BORKERT, C. M; ROSOLEM, C. A. Micronutrientes na planta. In: BÜLL, L. T.; Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1989. p. 309-329.
- BROADLEY, M.R; WHITE, P.J.; HAMMOND, J.P.; ZELKO, I. LUX, A.; Zinc in plants. **New Phytologist** **173**. Slovakia. 2007.

BUTZEN, S.; Zinc deficiencies and fertilization in corn production. **Agronomy Information Manager**. Fonte: www.agronomylibrary.com.br. Acesso em: 10.11.2015.

CAIRES, E.F.; BANZATTO, D.A.; FONSECA, A.F.; Calagem na superfície em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. Ponta Grossa – PR. 2000.

CAMPANHARO, M; MONNERAT, P.H.;ESPINDULA,M.C.; RABELLO, W.S.; Doses de níquel em feijão caupi cultivado em dois solos. **Revista Caatinga**. Mossoró, v.26, n.4, p. 10-18. 2013.

CAMARGO, O.A.; Reações e interações de micronutrientes no solo. 2000. Artigo em hipertexto. Disponível em: www.infobibos.com. Acesso em: 28.07.2015.

CHAVES, L. H. G.; FRANÇA, E.F.M.; ARAÚJO, P.L.; FRANÇA, C.P. Crescimento, distribuição e acúmulo de cobre e zinco em plantas de pinhão-manso. **Rev. Agrônômica**. v. 41, n 2, Fortaleza. 2010.

CHAPMAN, V. J., D. J. EDWARDS, F.B.C. BLAMEY AND C.J. ASHER. Challenging the Dogma of a Narrow Supply Range Between Deficiency and Toxicity of Boron. In: Boron in Soils and Plants, Beli, R.W. and B. Rerkasem (Eds.). **Agricultural Engineering**. Croatia. 1997.

CLARKE, S. M.; EATONRYE, J. J. Amino acid deletions in loop C of the chlorophyll a binding protein CP47 alter the chloride requirement and/or prevent the assembly of photosystem II. **Plant Molecular Biology**, New York, v. 44, p. 591-601, 2000.

COELHO, A.M.; FRANÇA,G.E.; **Nutrição e adubação do milho**. Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica 88. 2006.

COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO-CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 3 -Safra 2015/2016, n. 3 –Terceiro levantamento, Brasília, p. 1-152, dezembro. 2015

CORREA, M.C.M.; ALMEIDA, B.E.I; MARQUES, V.B; SILVA, J.C.V.; AQUINO, B.F.; Crescimento inicial de pitaia em função de combinações de fósforo e zinco; **Revista Bras. Fruticultura**. Jaboticabal. Vol 21. 2014.

DAVIS JM; SANDERS DC; NELSON PV; LENGNICK L; SPERRY WJ. Boron improves growth, yield, quality and nutrient content of tomato. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, 128: 441-446. 2003.

DECHEN, A. R; HAAG, H. P.; CARMELLO, Q. A. unções dos micronutrientes nas plantas. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (Coord.) Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: Instituto de Potássio e Fosfato, 1991.p. 65-78.

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R.; **Fertilidade do solo** - SBCS. Viçosa, Minas Gerais. 2007.

DIÓGENES, T.B.A.; Resposta da mamoeira a doses de potássio, boro, zinco, cobre, manganês e fontes de nitrogênio. (Dissertação de Mestrado). Mossoró – RN. 2012.

DURSUN, A.; TURAN, M.; EKINCI, M.; GUNES, A.; ATAOGU, N.; ESRINGU, A.; YILDIRIM, E. Effects of boron fertilizer on tomato, pepper and cucumber yields and chemical composition. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.41, n.13, p. 1576-1593, 2010.

ECHER, F.R.; DOMINATO, J. C.; SANTOS, D.H; Fertilização de cobertura com boro e potássio na nutrição e produtividade da batata-doce. **Horticultura Brasileira**. p171-175. 2009.

EL-HABBASHA, S.F. AND TAHA, M.H. AND JAFAR, N.A. Effect of nitrogen fertilizer levels and zinc foliar application on yield, yield attributes and some chemical traits of groundnut. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**. v.9. p. 1-7. 2013.

EMBRAPA. Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão do milho. Circular Técnica 78. Sete Lagoas. 2006.

EMBRAPA. Sistemas de produção. Circular Técnica 56. ed. 2011.

ESRINGU, A.; TURAN, M.; GUNES, A.; ESITKEN, A.; SAMBO, P. Boron application improves on yield and chemical composition of strawberry. **Plant Soil Science**, v.61, n.3, p.1651-1913, 2011.

FAQUIN, V.; Nutrição mineral de plantas. Lavras- ESAL. FAEPE. 2002.

FARINELLI, R.; LEMOS, L. B.; Nitrogênio em cobertura na cultura do milho, em preparo convencional e plantio direto consolidados. **Pesq. Agropec. Trop.** Goiânia. 2012.

FERRAREZI, R.S.; Fontes de ferro no desenvolvimento de portas-enxertos cítricos produzidos em substrato. Dissertação de Mestrado. Campinas – SP. 2006.

FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.P.; RAIJ, B.V.; ABREU, C.A.; Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal. SP. 1º Ed. 2001.

FERREIRA, M.M.M; Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho híbrido BRS 1010. **Revista Agroambiente Online**. V.6, n.1. 2012.

FIORINI, I.V.A. Resposta do milho a diferentes fontes de enxofre e formas de aplicação de micronutrientes. Dissertação de Mestrado. Lavras- MG. 2011.

FREITAS, T.A.; SILVA, J.V.S.; FERNANDES, J.S; MANGABEIRA, P.A.O.; JESSUS, R.M.; Efeitos da toxicidade do cobre na nutrição mineral de plantas jovens de *Inga subnuda* subsp. *Iushmathiana* (FABACEAE). In: 64º Sociedade Botânica do Brasil. Belo Horizonte – MG. 2013.

FURLANI, A. M. C.; FURLANI, P. R. Resposta de cultivares de milho a zinco em solução nutritiva. **Bragantia**, Campinas, v. 55, n. 2, p. 365-369, 1996

GALRÃO, E. Z.; MESQUITA FILHO, M. V. Efeito de fontes de zinco na produção de matéria seca do milho em um solo sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 5, p. 167-70, 1981.

GUIMARÃES, P.S.; Desempenho de híbridos simples de milho e correlações entre heterose e divergências genéticas entre as linhagens parentais. Dissertação de Mestrado. Campinas. 2007.

GUPTA, U.C.; Micronutrientes e elementos tóxicos em plantas e animais. In: Ferreira, M. E.; Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal. POTAFOS. 2001.

HARLING, H. A plant cation chloride co transporter promoting auxin independent tobacco protoplast division, **EMBO**, New York, v. 16, p. 5855 -5866, 1997.

HERNANDES, A.; PRADO, R.M.; PEREIRA, F.S.; MODA, L.R.; ICHINOSE, J.G.S.; GUIMARAES, R.C.M. Desenvolvimento e nutrição do Capim-Tanzânia em função da aplicação de zinco. **Scientia Agraria**, v.10, n.5, p. 383-389, 2009.

HOODA, P.S.; ALLOWAY, B.J.; The effects of liming on heavy metal concentrations in wheat, carrots na spinach grown on previously ludge – applied soils. **J. Agric. Sci, Cambridge**, v.17, n.2, 1996.

JAMAMI, N.; Efeito do boro e zinco na cultura do milho. Dissertação de Mestrado, São Paulo. 2001.

JAMAMI, N.; BULL, L.T.; CORREA, J.C.; RODRIGUES, J.D.; Resposta da cultura do milho a aplicação de boro e zinco no solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 1, p. 99-105, 2006.

KABATA PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. Boca Raton: CRC Press, 315p, 1984.

KALBAZI, M.G; RACS, G. J.; LEWEN – RUDGERS, L.A.; Reactions, products and solubility of applied zinc compounds in some manitoba soils. **Soil Science**. Baltimore. V. 1255. 1978.

KAUR, G.; NELSON, K.A.; Effects of foliar boron yielals. **Agronomy**. V.5, TISSUE 1. Columbia. 2015.

KIRKBY, E.A. & ROMHELD, V.; Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. Info: Agron. 2007. **LEITE U. T.; AQUINO, B. F. DE, ROCHA, R. N. C.; SILVA, J. da; Níveis críticos foliares de boro, cobre, manganês e zinco em milho**. Biosci J., Uberlandia, v.19, n.2, 2003.

LEMISKA, A.; PAULETTI, V; LUQUEL, F.L.; ZAWADNEAK, M.A.C.; Produção e qualidade da fruta do morangueiro sob influência da aplicação de boro. **Ciência Rural**, v. 44 n. 4. Santa Maria. 2014.

LONERAGAN, J.F. et al. Phosphorus toxicity as a factor in zinc-phosphorus interactions in plants. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.43, p.966-972, 1979.

LONERAGAN, J.F.; WEBB, M.J. Interactions between zinc and other nutrients affecting the growth of plants. In: ROBSON, A.D. (Ed.). Zinc in soil and plants. Madison: Kluwer Academic, 1993. p.119-134

LOPEZ-LEFEBRE, L. R; RUIZ, J. M; RIVERO, L. R; GARCIA, P. C; SANCHEZ, E; ROMERO,L. Supplemental Bosen stimulates ammonium assimilation in leaves of tobacco plants (*Nicotiana Tabacum L.*). **Plant Growth Regulation**. V.36, n.3, p.231-236, 2002b.

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

MALAVOLTA, E.; GOMES PIMENTEL, F.; ALCARDE, J.C.; Adubos e adubação. São Paulo. Nobel. 2002.

MALAVOLTA, E.; Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo. Ceres. 1980.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A.; Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2 ed, Piracicaba, 1997. P. 319.

MALAVOLTA, E.; Manual de química agrícola – adubos e adubação. 2º ed. São Paulo. 1967.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2. ed. New York: Academic, 1995. p. 379-396.

MARTINEZ, H.E.P.; MENEZES, J.F.S.; SOUZA, R.B.; VENEGAS, V.H.A.; GUIMARÃES, P. T.G.; GUIMARÃES, P.T.G.; Faixas críticas de concentração de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiro em 4 regiões de Minas Gerais; **Pesq. Agrop. Bras.**; Brasília, v. 38, n 36, p. 703- 713. 2003.

MARTINS, C.C.; Potássio: Fontes alternativas, tratamentos térmicos e disponibilidade para plantas de milho (*Zea Mays L.*). (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo. 2014

MELLO, F. A. F.;SOBRINHO, M.O.C.B; ARGZOLHA, S.; SILVEIRA, R.I.; NETTO, A.C.; KIEHL, J.C.; Fertilidade do solo. São Paulo,: Nobel 1985.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. Bern:International Potash Institute, 1987. p.525-536

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; HEINRICHS, R.; TANAKA, R. T. Influência do magnésio na absorção de manganês e zinco por raízes destacadas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Rio de Janeiro, v.38, p.95-101, 2003.

MOZAFAR, A. Boron effect on mineral nutrition of maize. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, p.285-290. 1989.

MUNER, L. H.; RUIZ, H.A.; VENEGAS, V. H. A.; NEVES, J.C.L.; FREIRE, J.F. FREIRE, M. B. G. S.; Disponibilidade de zinco para milho e respostas a localização de fósforo no solo. **Rev. Brasileira Eng. Agrícola e Amb.**, Campina Grande. 2010.

NACKE, H. Produtividade e componentes de produção do milho fertilizado com diferentes doses de zinco e disponibilidade dos metais pesados tóxicos Cd, Pb, Cr. Dissertação de Mestrado. Marechal Cândido Rondon. 2011.

NOGUEIRA, L. M.; Doses e modos de aplicação de boro e adubação com zinco na cultura do milho. Dissertação de Mestrado. UNES. Ilha Solteira. 2016.

OLSEN, S.R. Micronutrients interactions. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. (Ed.). Micronutrients in agriculture. Madison. **Science Society of America**, 1972. p.243-264

PAIVA, C.T.C.; Cultivo de milho em plantio direto e convencional com diferentes doses de adubos nitrogenados em cobertura. Dissertação de Mestrado. Rio Branco – AC. 2011.

PAIVA, H. N. Teor, conteúdo e Índice de translocação de nutrientes em mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) submetidas a doses crescentes de zinco. **Ciência Florestal**, v.13,n.1, p.1-10, 2003.

PENALOSA, J.M.; ZORNOZA, P.; CARPENA, O. Estudios de las deficiencias de boro y manganeso en plantas de tomate. **Anales de Edafología y Agrobiología**, v.56, p.749-58, 1987.

PEREIRA, N.M.Z; ERNANI, P.R.; SANGOI, L.; Disponibilidade de zinco para milho afetada pela adição de Zn e pelo pH do solo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. V.6, n.3. 2007.

PEREIRA, F.R.S; BRACHTVOGEL, E.L.; CRUZ, S.C.S; BICUDO, S.J.; MACHADO, C.G.; PEREIRA, J.C.; Qualidade fisiológica de sementes de milho tratadas com molibdênio. **Revista brasileira de Sementes**. Vol.34. n 3. P 450 – 456. 2012

PIGOZZO, A.T.J.; LENZI, E.; JÚNIOR, J.L.; SCAPIM, C.A.; FILHO, P.S.V; COSTA, A.C.S.; Reação do solo e disponibilidade de micronutrientes, em solo de textura média, tratado com lodo de esgoto e cultivado com milho. **Act. Sci. Agronomica**. v. 30 n. 4, Maringá. 2008.

POSSETI, J.C; VILLELA, F.A; Efeitos do molibdênio aplicado via foliar e via semente sobre o potencial fisiológico e produtivo de sementes de soja. **Revista Bras. Sementes**. Vol. 32, n 4, Londrina, 2010.

PRADO, R.M. Manual de nutrição de plantas forrageiras. Jaboticabal: FUNEP, 2008.

PRADO, R.M.; ROMUALDO, L.M.; ROZANE D.E.; VIDAL, A.A; MARCELO, A.V.; Modos de aplicação de zinco na nutrição e na produção de matéria seca do milho BRS 1001. Uberlândia. v.24 n.1; 2008.

PRADO, R.M.; ROZANE, D.E.; ROMUALDO, L.M.; MOURO, M.M de; Acúmulo de N na parte aérea do milho cv. P30K75 em função da aplicação de fontes de zinco via semente. **Revista de Agricultura**. 2007.

PUGA, A.P.; Modos de aplicação de zinco em milho e sorgo cultivados em latossolo vermelho distrófico. Dissertação de Mestrado. Jaboticabal. 2011.

REINBOOT, T. M.; BLEVINS, D.G.; Response of soybean to foliar-applied boron and magnesium and soil-applied boron. **Journal of Plant Nutrition**. v.18, Pages 179-200 2008.

REIS, H. P. O.; SANTANA, M.J.; SILVEIRA, A.L.; Doses ótimas de boro para o milho forrageiro. Uberaba. In: Seminário Científico. 2009

RESENDE, A.V.; Fertilizantes, agroindústria e sustentabilidade. Cetem, MC. 2009.
ROSANE, D.E.; PRADO, R. M.; NATALE, W.; ROMUALDO, L.M.; Acúmulo de nutrientes pelo arroz em função da aplicação de doses e fontes de zinco nas sementes. **Pesq. Agropec. Trop**. Goiânia. 2009

RODAK, B.W.; MORAES, M.F.; PASCOALINO, J.A.; ALVES, S.J.F.; CASTRO, C.; OLIVEIRA JUNIOR, A.; Níquel no desenvolvimento inicial da soja. In: Reunião Paranaense de Ciência do Solo. Londrina. 2013.

RODAK, B.W.; MORAES, M.F.; PASCOALINO, J.A.L.; OLIVEIRA JÚNIOR, A.; CASTRO, C.; PAULETTI, V.; Methods to quantify nickel in soil and plants tissues. **Rev. Bras. Ciência do Solo**. vol. 39, Viçosa, 2015.

SADANA, U. S.; TAKKAR, P. N. Effect of calcium and magnesium on Zinc absorption and translocation in rice seedling. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.6, n.8, p.705-715, 1983.

SANTANA, C.T.C.; Comportamento do milho e propriedade física do solo no sistema plantio direto, em resposta a aplicação de fertilizante organomineral. Dissertação de Mestrado. Botucatu – 2012.

SALVADOR, J.O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, R.; CABRAL, C.P.; Influência do boro e do manganês no crescimento e na composição mineral de mudas de goiabeira. **Ciência Agrotec.**, LAVRAS, v.27, n.2. 2003.

SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A; MALAVOLTA, EURÍPEDES; CABRAL C. P.; Influência do boro e do manganês no crescimento e na composição mineral de mudas de goiabeira. **Ciênc. agrotec.**, Lavras. 2003.

SANTOS, G.A.; Formas de adição de micronutrientes a um formulado NPK e seu efeito sobre o desenvolvimento do milho. Dissertação de Mestrado. Uberlândia. 2013.

SANTOS, E. A. D. Influência da aplicação foliar de cálcio e boro em pré e pós-floração sobre os componentes de produção e na produtividade da soja. 2013.78 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Do Piauí, Teresina, 2013.

SANTOS, F.H.; Crescimento, nutrição e produção “in vitro” de *gonpherenae laussenini* exposta a zinco e cádmio. Dissertação de Mestrado. Lavras – MG. 2013.

SCHON MK; BLEVINS DG. Foliar boron applications increase the final number of branches and pools on branches of field grown soybeans. **Plant Physiology** **92**: p.602-607. 1990.

SCHON, M.K.; NOVACKY, A.; BLEVINS, D.G. Boron induces hyperpolarization of sunflower root cell membranes and increases membrane permeability to K⁺. **Plant Physiology**. v.93, p.566-571, 1990.

SHARMA, Y.K.; SINGH, H.; MANDAL, N.; Effects of phosphorus and copper levels on yield and nutrients uptake by wheat; **Ann. Pl. Sil. Res.** New Delhi. 2012.

SILVA, F.C.; Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2ed. In: Embrapa Informação Tecnológica. Brasília. 2009.

SILVA, T M. R. DA; PRADO, R DE M.; VALE, D. W DO; AVALHÃES, C. C.; PUGA, A. P.; FONSECA, I. M.; Toxicidade do zinco em milho cultivado em Latossolo Vermelho Distrófico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, n.3, p.336-340, jul.-set. Recife, PE. 2010.

SILVA, T.O.; MENEZES, R.S.C.; Disponibilidade de micronutrientes catiônicos em solos arenosos após adubação orgânica. **Revista Ciências Agrária**. v.5 , n 3. 2010.

SOARES, J.C.; Teores de Fe e Mn e Cu no cafeeiro recepado em função de diferentes doses de P₂O₅. Dissertação de Mestrado. Muzambinho. 2008.

STEVENSON, F.J. & ARDAKANI, M.S.; Organic matter reactions involving micronutrients in soils. IN: MONTVEDT, J.J. 1972.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2004. **Fisiologia vegetal**. ARTMED. 719 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Plant physiology. Belmont: The Benjamin Cummings, 1991. p.426-449.

TEIXEIRA, I.R.; BORÉM, , ARAÚJO, G.A.A.; ANDRADE, M.J.B.; Teores de nutrientes e qualidade fisiológica de sementes de feijão em resposta à adubação foliar com manganês e zinco. **Bragantia**, v.64, n. 1, Campinas. 2005

THOUNAOJAM, T.C.; MAZUMDAR, P.; PANDA, P; KUMAR, D.; SHARMA, G.D.; SAHOO, L.; SANJIB, P.; Excess copper induced oxidative stress and response of antioxidants in rice. **Plant Physiology and Biomistry**, Vol. 83. 2014.

TROEH, F.R.; THOMPSON, L.M.; Soils and soil fertility. 6ed. 2005.

VELOSO, C.A.C.; MURAOKA, T. ; MALAVOLTA, E. CARVALHO, J.C.; Influência do manganês sobre a nutrição mineral e crescimento da pimenteira do reino (*piper nigrum*). **Sci. Agric.** Vol 152. Piracicaba. 1995.

ZUNIGA, A. M. G.; Artificial vision system for plant nutritional state identification. Dissertação de mestrado. São Carlos. 2012.

YAMAUCHI, T.; HARA, T.; SONIDA, Y. Distribution of calcium and boron in the pectin fraction of tomato leaf cell wall. **Plant and Cell Physiology**, v.27, p.729-732, 1986.

.

.

.